

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

佳作

040205

參透滲透

學校名稱：南投縣立旭光高級中學

作者： 高二 李昶真 高二 洪袖凌 高二 陳政群	指導老師： 陳英田 陳怡仁
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：滲透壓、蛋膜、半透膜

參透滲透

摘要

我們自製之半 U 型管加 PVC 套管的測量裝置確實可用來觀察兩不同濃度之溶液的滲透壓現象。實驗半透膜之選用，以高分子奈米孔洞半透膜為最佳，玻璃紙容易因水所造成之部分溶解而影響滲透結果。歷屆科展常選用之蛋膜，需注意蛋膜是否真為具有選擇性之生物膜或只是微米級孔洞之半透膜。經由類似化學反應速率公式推算滲透速率依高度變化可分為 n 階滲流階次，而濃度差之趨動力可併到滲流常數 k 之變因中。生物滲透壓滴降法可有效測量與瞭解到溫度愈高，滲透速率愈快。而在植物生長的實驗及細胞顯微鏡觀察中，可知當營養劑濃度較高時，易因滲透壓的關係，造成原生質分離，而無法順利將營養劑運送到植物的頂端，可知在植物世界裡，不是 $\pi = iC_M RT$ 與 $p = hd$ 絕對可換算相等。

壹、研究動機

在科學研究社的討論中，知道在澎湖島裡的自來水是利用逆滲透之原理來純化海水而得到淡水，而剛好家裡的飲用水也是利用逆滲透原理的純水機，我們心裡就很納悶，為什麼是逆滲透？而不是滲透，而高中教科書寫到當溶劑由低濃度溶液通過半膜進入較高濃度溶液的現象就是滲透作用，而為阻止溶劑由半透膜進入溶液，所需施加於溶液的外界壓力就是滲透壓；另外，如果施加一大於滲透壓的外力於溶液，則溶劑將被迫由溶液進入純溶劑中，此過程就稱為逆滲透。92 年指考曾有一個化學科題目，題目中提到如果知道一植物營養劑溶液的濃度，就可以利用滲透壓的公式算出此營養劑可以運送到植物的頂部高度是多高，而決定此植物的成長高度，也就是 $\pi = iC_M RT$ 與 $p = hd$ 可以互相換算成植物生長高度。真的會是如此嗎？我們覺得很不可思議，我們只知道可以代入公式計算，但卻不知道題目所說的是不是真的會發生，所以，我們就決定要自己動手作看看，除了要瞭解什麼是滲透壓之外，也要藉此解決心裡的疑問。

貳、研究目的

- 一、嘗試自製測量滲透壓之實驗裝置，藉由實際觀察瞭解滲透作用與滲透壓。
- 二、選擇玻璃紙、雞蛋膜、大腸膜及高分子膜等周遭常見之半透膜當作兩種不同濃度之溶液間的隔膜，藉此瞭解這幾種半透膜之差異性。
- 三、利用定溫下馬鈴薯、鴨跖草等植物之高張、等張及低張壓力之實驗與觀察，藉此實際體驗滲透壓與植物之緊密關係。
- 四、將梅子、蘿蔔、小蕃茄等泡入不同濃度之鹽水及糖水中，觀察其差異性實際體驗周遭常見利用滲透壓之實例。
- 五、實際將植物泡入不同濃度之營養劑中，長時間觀察其生長現象並記錄其生長高度，

瞭解並確認課本題目所述滲透壓是否真會影響其生長高度。

參、研究設備與器材

- 一、實驗器材：各式量筒、試管、量瓶及燒杯、固定夾、固定座、玻璃管、熱溶膠、快乾、橡皮塞、塑膠管、玻璃紙、橡皮筋、雞蛋、香腸膜、蘿蔔、馬鈴薯、梅子、萬年青、打孔器、滴管、刀片、五金工具、高分子滲透膜。
- 二、實驗藥品：液態肥、蔗糖、食鹽、硫酸鈉、亞甲藍液。
- 三、儀器設備：恆溫水槽、天平、攪拌器、SPARK 測量主機、電子顯微鏡。
- 四、測量工具儀器：直尺、鹽度計、糖度計、溫度計、碼錶、SPARK 滲透壓測量模組。

肆、研究步驟與方法

將我們根據研究目的與所欲探討之問題，設計實驗步驟與流程圖如圖 1。

- 一、嘗試自製幾種測量滲透壓之實驗裝置。

(一) 薊頭漏斗加半透膜倒置裝置。

1. 依據植物細胞的滲透生理書中提到，滲透壓之測量可以將薊頭漏斗套上玻璃紙當半透膜，內裝糖水溶液，再倒置於裝有水之燒杯中。
2. 實驗裝置如圖 2，觀察薊頭漏斗管中糖水溶液之高度變化。

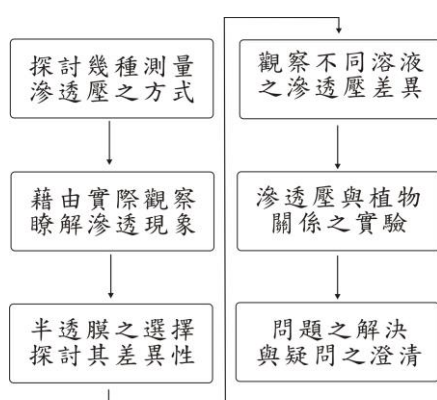


圖1、實驗流程圖。

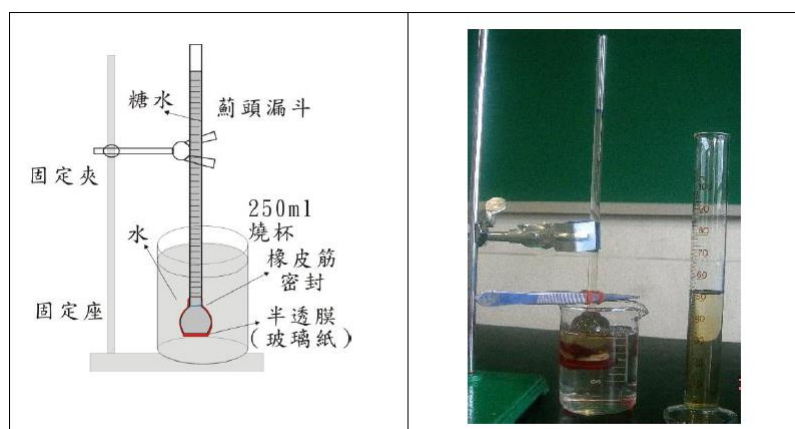


圖 2、以薊頭漏斗測量滲透壓之裝置圖。

(二) 利用吸管固定架及玻璃吸管。

1. 根據第 43 屆中小學科展神奇的滲透現象資料顯示，可以利用吸管密封雞蛋膜當半透膜，將糖水溶液注滿其中，再將裝置放置於以吸管製作之固定燒杯架上。
2. 固定燒杯架上裝定量水，實驗裝置如圖 3，觀察糖水之溶液高度變化。

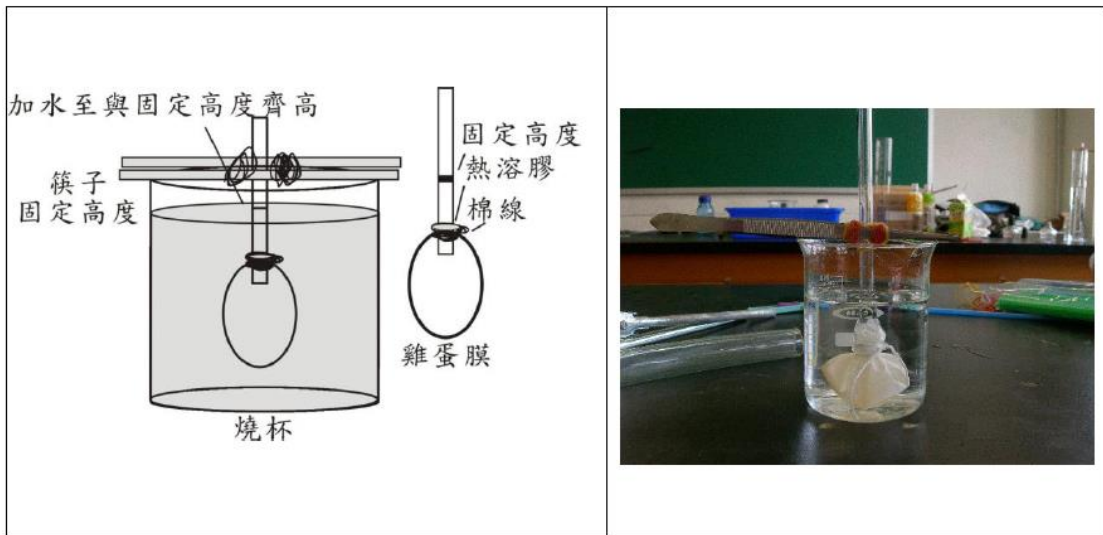


圖 3、利用吸管固定吸管測量滲透壓之裝置圖。

(三) 利用透明玻璃管加橡皮塞。

1. 依據第 45 屆中小學科展蛋求滲解-磁場對滲透壓的影響資料顯示，可以利用透明玻璃管加橡皮塞，橡皮塞鑽孔再以快乾膠水將雞蛋膜黏住當半透膜，將糖水溶液注滿玻璃管，再將裝置放置於固定燒杯架上。
2. 實驗裝置如圖 4，觀察糖水的高度變化。

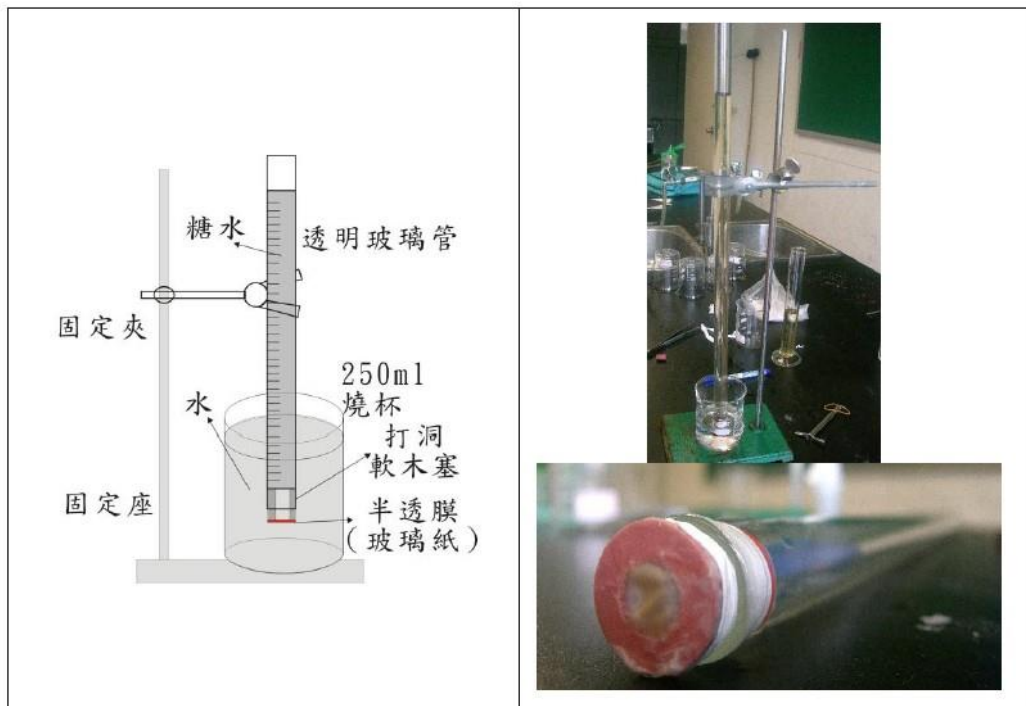


圖 4、利用玻璃管加鑽孔橡皮塞測量滲透壓之裝置圖。

(四) 利用兩個半 U 型 (L 型) 管之結合裝置。

1. 兩個半 U 型 (L 型) 管加一小截透明橡膠水管。
 - (1) 因為前述都是以玻璃管直接導置於燒杯中，會有重力壓差之問題，而課本教科書又都以 U 型為例說明滲透壓之概念，因此我們改以 U 型管裝置來嘗試。

- (2) 為克服必須在 U 型管底部中央部分裝上半透膜，我們首先將 U 型管分成兩個半 U 型管，在其中一個半 U 型管底部開口部分套上玻璃紙當半透膜，在其上纏繞幾層鐵氟龍膠帶防止漏水，再套上一截透明橡膠水管接套另一半 U 型管。
- (3) 在其中一半 U 型管中注入定量 10% 糖水（100ml），在另其中一半 U 型管中注入定量的水（100ml）實驗裝置如圖 5，觀察並記錄水位變化。

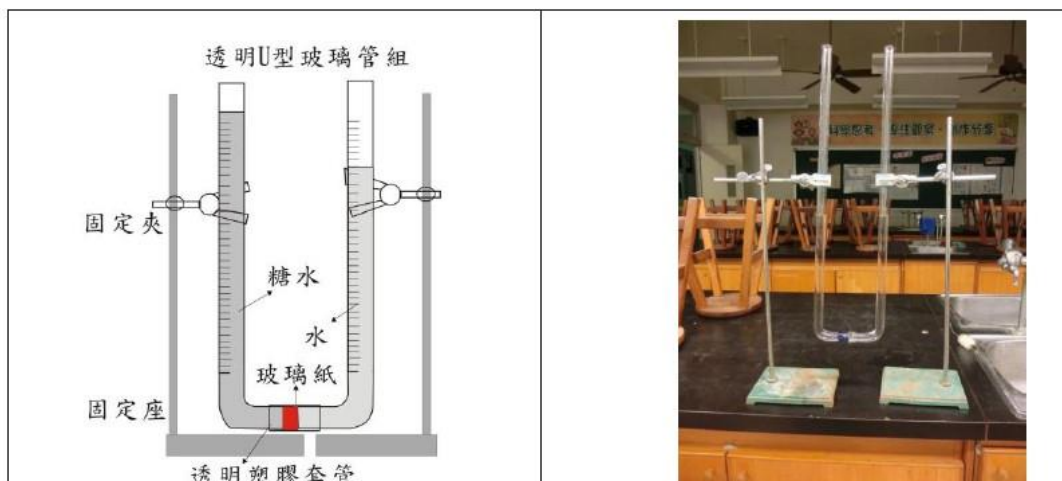


圖 5、利用兩個半 U 型（L 型）管加一小截透明橡膠水管測量滲透壓之裝置圖。

2. 兩個半 U 型（L 型）管加穿孔橡皮塞。

- (1) 為防止漏水，我們將上述 U 型裝置之底部透明橡膠水管改裝成橡皮塞裝置。
- (2) 改裝成在兩個半 U 型管底部開口部分皆套上開口橡皮塞，使用雞蛋膜為半透膜在外部纏繞鐵氟龍膠帶與熱熔膠防止漏水。
- (3) 同上步驟 1，實驗裝置如圖 6，觀察並記錄水位變化。

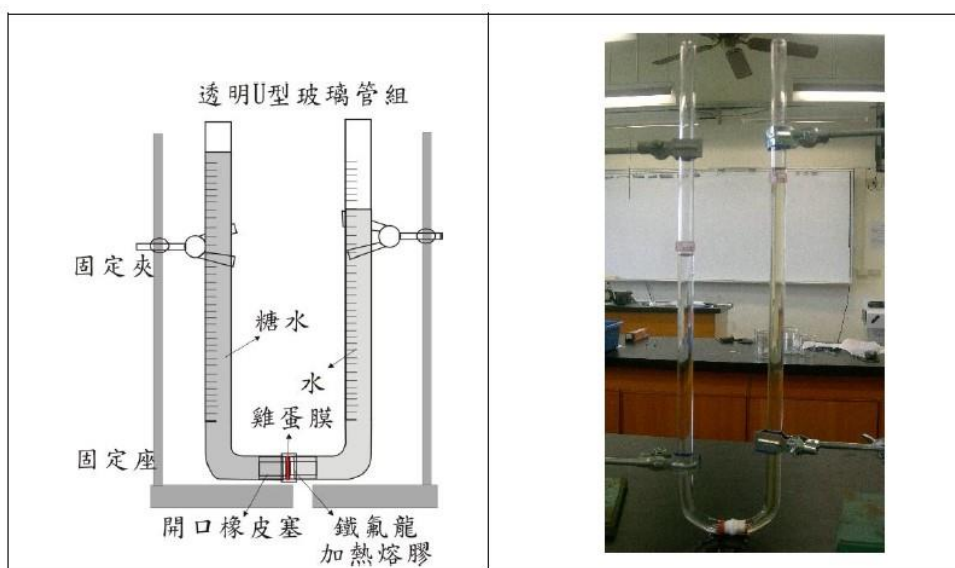


圖 6、利用兩個半 U 型管開口橡皮塞測量滲透壓之裝置圖

3. 半 U 型（L 型）管加 PVC 內外套管結合裝置。

- (1) 為徹底解決漏水問題以及使用上之方便，我們再次將上述 U 型裝置之底部透

明橡膠水管改裝成 PVC 管互套。

(2) 同上步驟 2，裝置如圖 7，觀察並記錄變化。

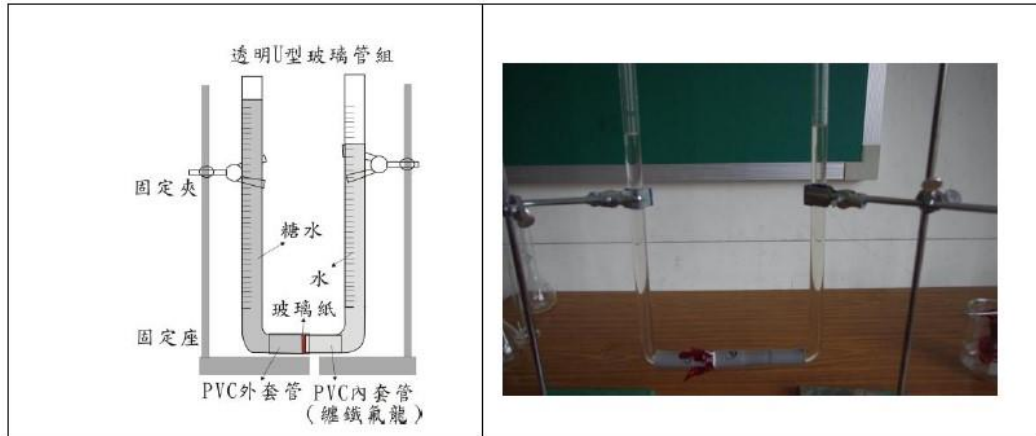


圖 7、半 U 型 (L 型) 管加 PVC 內外套管結合裝置圖。

二、半透膜之選用。

將下列三種半透膜裝入兩個半 U 型 (L 型) 管之結合裝置，其中一管裝入固定濃度之 10% 糖水，另一端裝入蒸餾水。觀察三種半透膜之水位高低變化。

(一) 以一般玻璃紙及豬大腸膜嘗試充當半透膜。

(二) 歷屆科展最常用之蛋膜嘗試。

1. 因必須將蛋殼先以酸腐蝕掉，製作蛋膜實驗用，不知該選用何種酸較佳，又因蛋殼加酸會造成二氧化碳逸失，想到可以精準測量到二氧化碳跑掉之重量損失來定量反應速率，因此可利用電子天平之 RS-232C 連接到電腦之裝置，計算單位時間內雞蛋重量之損失，就知道選用何種酸溶解蛋殼較快 (圖 8)。

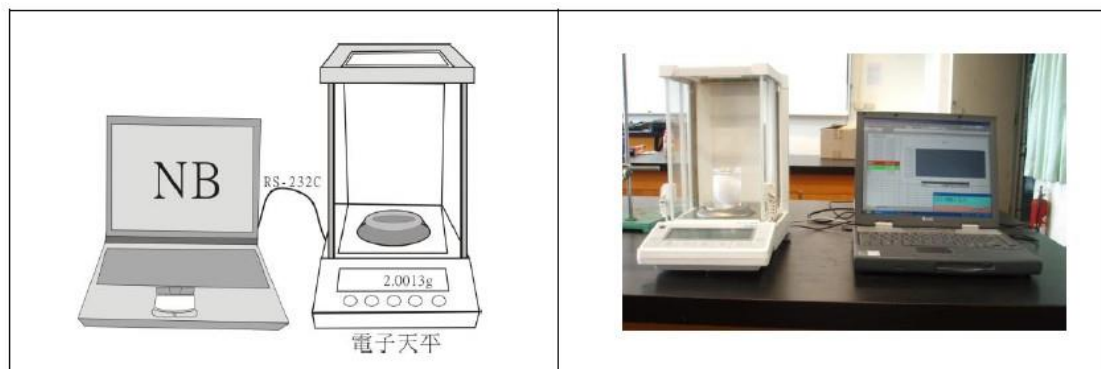
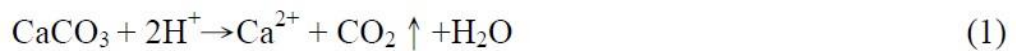


圖 8、電子天平以 RS232C 輸出連接電腦之實驗裝置圖。

2. 將 1 顆雞蛋放在 250ml 燒杯中，內加 100ml 水放在電子天平上，再分別以硫酸、硝酸、鹽酸及醋酸各 1M 10ml 來溶解雞蛋膜，比較何種酸溶解速率較快。

3. 以固定濃度之鹽酸（1M）來溶解雞蛋膜、鴨蛋膜及土雞蛋膜，試比較這幾種蛋殼之溶解速率。
 4. 選擇較佳條件之酸將蛋殼溶解製作蛋膜充當半透膜用。
- (三) 利用 Spark 滲透壓測量模組測試高分子半透膜之滲透率。
1. 利用 Spark 專業級測量滲透壓模組（圖 9），在兩半 U 型管中填充相同體積但不同濃度之糖水，記錄實驗值。
 2. 利用不同實驗值來嘗試計算滲透率。
 3. 討論使用此 Spark 測量儀器模組量測滲透壓之優劣性。



圖 9、以 Spark 滲透壓測量模組測量滲透速率之實驗裝置圖。

三、最常用之半透膜（蛋膜），嘗試幾種不同濃度的溶液，作其滲透壓現象之觀察。

- (一) 分別以 0.29M、0.59M、0.88M 及 1.17M 的蔗糖水與純水各 100ml 於 U 型管兩端作比較，其配法以 0.29M 為例：秤取 10g 蔗糖溶於部分水，再加水至 100ml。

$$C_M = (10/342)/0.1 = 0.29M \quad \text{蔗糖分子量 (C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342$$

- (二) 分別以 0.85M、2.5M 及 3.4M 的食鹽水與純水各 100ml 於 U 型管兩端作比較。

- (三) 以 0.7M、1.4M 及 2.1M 的硫酸鈉 (Na₂SO₄) 與水各 100ml 於 U 型管兩端作比較。

四、滲透壓與植物的關係之瞭解。

- (一) 在生物課本有「滲透作用」的說明，故首先利用簡單的滴降法測量馬鈴薯的滲透

壓，並探究不同溫度下，對植物的滲透壓有何影響。

1. 原理：組織在等張溶液下，組織內的水分與外界水溶液環境可達動態平衡。此時水分進出相等，因此當組織置於高張溶液（濃度高）中，則會失水，使高張溶液降低濃度，若在此溶液中加入染料，再吸一滴至原來相同濃度的溶液中，則可見染料滴上升的現象（低濃度滴到高濃度中）；反之，當組織置於低張溶液（低濃度）中，組織外的水進入組織內，而使低張濃度中糖濃度增加，此時若加染料再吸一滴至同濃度溶液中，則可見染料滴下降（高濃度滴到低濃度中）。如此一連串的實驗，可找出相當濃度的染料滴，在某濃度的溶液中，保持靜止不動時（不升亦不降），則此時溶液中蔗糖濃度即與組織等濃度，可藉此求出組織的滲透壓。

2. 實驗探究步驟：

- (1) 利用 1M 的蔗糖溶液，依序稀釋成 8 種不同濃度(0.5M、0.4M、0.3M、0.25M、0.2M、0.15M、0.1M 及 0.05M) 的蔗糖溶液。
- (2) 分成 3 組測試溫度 (35°C、20°C 及 10°C)。每一組皆各取 16 支試管，並於每 2 支試管中，各盛同濃度糖液 5ml，前後排成二排。
- (3) 用鑽孔器切下 24 條馬鈴薯圓柱體 (2.5cm) (如圖 10)，分別放入每一組的第二排 8 種不同濃度的試管中，同時於加馬鈴薯的試管中各加入一滴亞甲藍液輕輕振盪使均勻。第一排 8 種不同濃度糖溶液留作對照組 (如圖 11)。

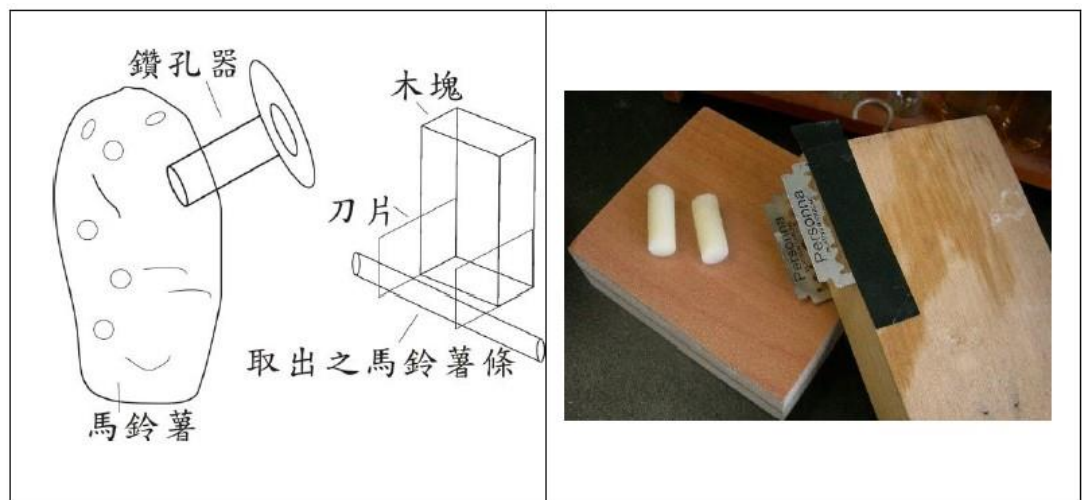


圖 10、利用鑽孔器取圓柱體再切取馬鈴薯圓柱體之方法示意圖。

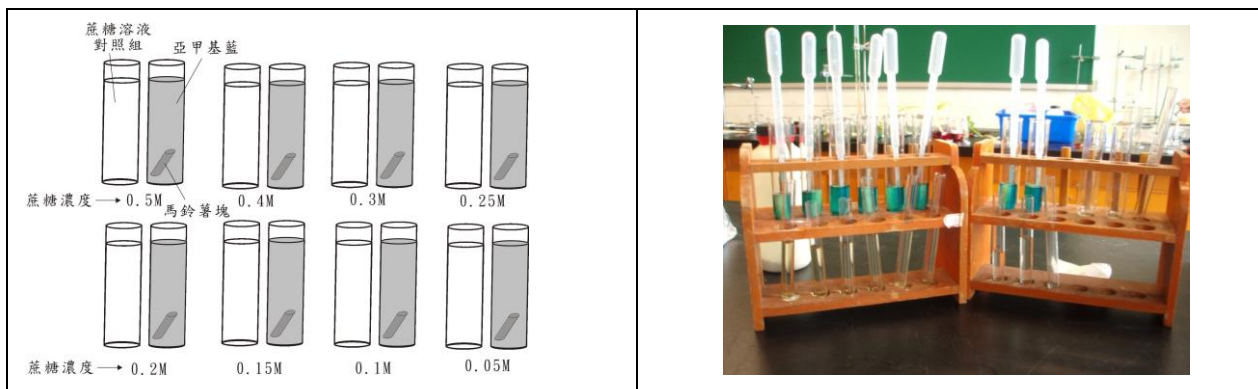


圖 11、測量馬鈴薯滲透壓操作示意圖。

- (4) 每隔 15 分鐘，由第二排（實驗組）試管中吸取一滴溶液輕輕置入第一排對照組中的各相對濃度的糖液內（圖 12）。觀察液滴上升、下降或靜止。

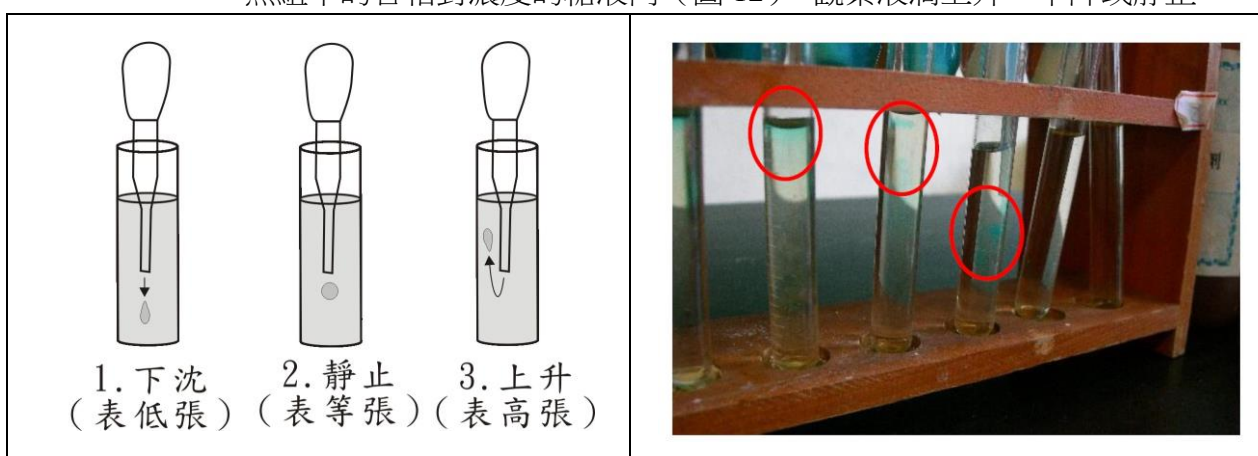


圖 12、觀察染料液滴升降滴管操作示意圖。

- (5) 計算滲透值。

$$\pi = iC_MRT \quad (2)$$

其中： π 為滲透壓，單位為 atm。 i 稱為凡特荷夫因子，表示電解質解離後粒子數改變的變數，“ $i \times C_M$ ” 稱為有效濃度， C_M 為體積莫耳濃度，單位 mole/L。 $R=0.082$ 為常數 (atm · L/mole · K)、 T 為絕對溫度，單位為 K。

(二) 水果食材醃漬實驗。

1. 選用新鮮梅子、白蘿蔔（切塊）及小蕃茄，將水果分成實驗組與對照組。
2. 實驗組中將梅子、白蘿蔔（切塊）及小蕃茄分別放入不同濃度之糖水（10%、20%、30%及 40%）及鹽水（10%、20%、飽和食鹽水）中，密封起來。
3. 對照組中的水果不加任何東西，觀察變化。

(三) 芹菜及萬年青成長實驗。

1. 國小做過芹菜維管束的實驗，因此將調有不同濃度之有染色糖水溶液（10%、20

- ％、30%及 40%) 分成四杯。
2. 把四株同樣大小的芹菜植物體，把芹菜由根部上面約 3 公分處切斷，將葉柄分插在有染色肥料水溶液中，觀測水溶液上升情形 (圖 13A)。
 3. 另外因為萬年青可以泡在水中成長，故準備四棵萬年青植物，將其放置在不同濃度之肥料 (花寶牌_花寶一號：全氮 7.0% (銨態氮 1.2、硝酸態氮 5.8)、水溶性磷酐 6.0%、水溶性氧化鉀 19.0%) 水溶液 (1%、5%、10%及 15%)，每天固定一樣濃度之肥料水至維持一定高度，觀察並記錄其生長情形 (圖 13B)。

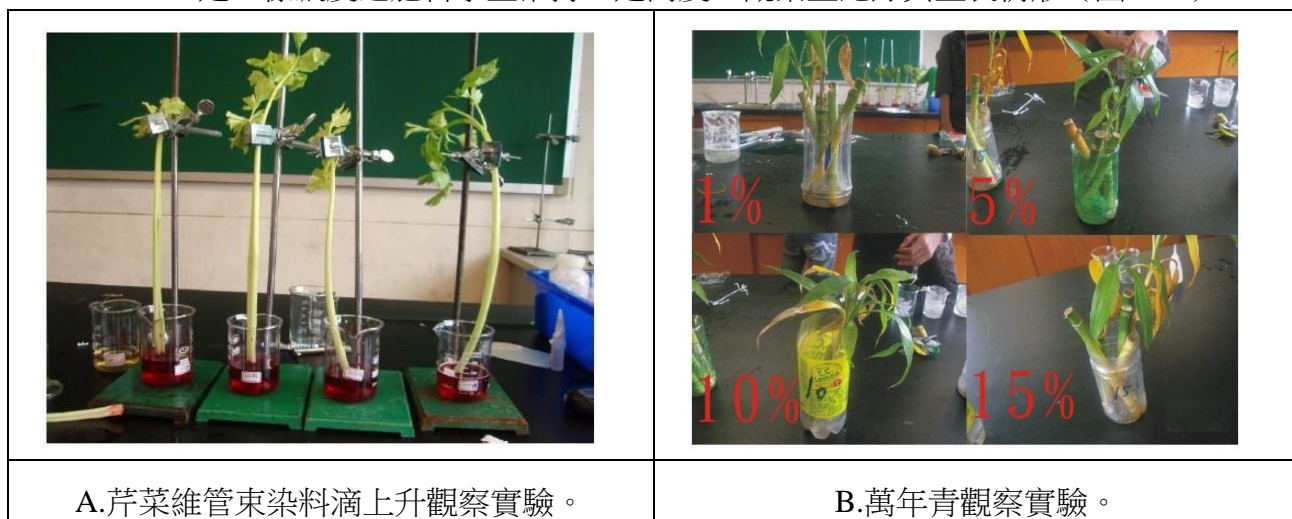


圖 13、芹菜及萬年青成長實驗示意圖。

(四) 鴨跖草細胞的滲透作用觀察。

1. 將鴨跖草葉片向下表皮方向折出一條橫線後往上撕斷，再以鑷子夾取細胞觀察樣本。將下表皮分別置於不同溶液 (純水、0.1M、0.2M、0.3M、0.4M、0.5M、0.6M、0.7M、0.8M、0.9M 及 1.0M) 中浸潤 15 分鐘。
2. 分別夾取不同溶液中的下表皮置於載玻片上，滴入原浸潤溶液，蓋上蓋玻片後以顯微鏡觀察細胞變化(圖 14)。

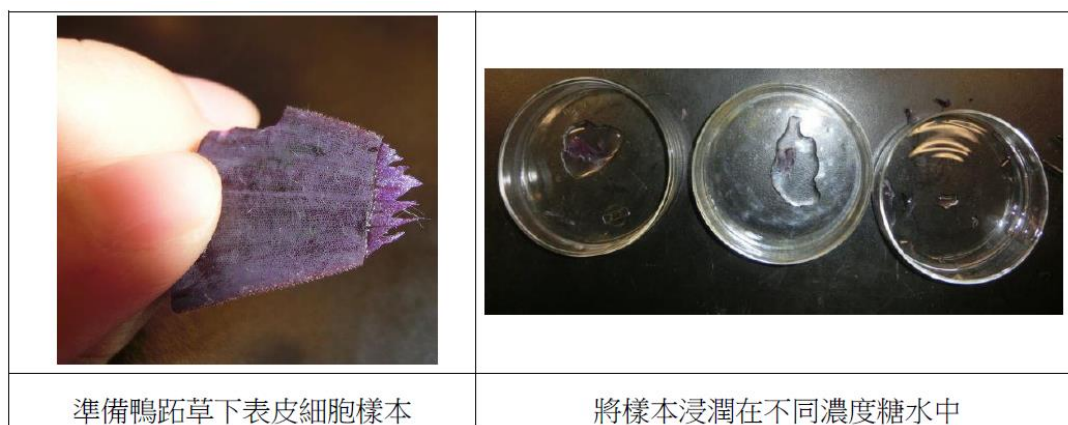


圖 14、鴨跖草表皮細胞顯微鏡觀察。

伍、結果與討論

一、嘗試自製幾種測量滲透壓之實驗裝置。

(一) 薊頭漏斗加玻璃紙半透膜倒置裝置結果如圖 15。



圖 15、薊頭漏斗加半透膜倒置測量滲透壓結果。

1. 漏斗內加 50ml 10% 的糖水半小時後約略增加 2.6cm，在燒杯內發現會有糖水之顏色呈現，而且漏斗內液面高度因玻璃紙部分溶解而下降，故有漏水之情況，且因為重力壓力之關係，如果將漏斗拉起，水位即下降，結果顯示不甚精準。
2. 水溶液以糖水糖度測量及食鹽水導電度之測量結果如表一，實驗結果顯示因玻璃紙易溶解亦可能孔洞太大，致使鹽及糖等溶質易滲漏出玻璃紙外。
3. 玻璃紙甚至出現糖及鹽等溶質結晶，實驗結果顯示玻璃紙非常不適用於要精準測量滲透壓之實驗，充其量只能作現象觀察。

表一、食鹽及糖之滲漏測試結果

項目	純水	燒杯內	玻璃紙內	備註
糖水(甜度) Brix scale	0.2	3.4	13.2	1HR
鹽(導電度) kΩ	36.69	33.62	25.93	1HR

(二) 利用吸管固定架及玻璃吸管之裝置。

1. 結果顯示雞蛋膜除了容易破裂之外，而且不易密封，容易漏水。

2. 雞蛋膜與溶液之接觸面積亦不易定量意即不易控制，結果不精準（圖 16A）。

(三) 利用透明玻璃管加橡皮塞。

1. 發現快乾與蛋膜之黏著性不佳，改在周遭加纏繞鐵氟龍膠帶效果明顯改善。
2. 而且在蛋求滲解之作品中，其管徑較細容易有毛細現象之誤差（圖 16B）。
3. 因為是垂直管，所以還是會有重力壓差或是滲漏的問題，以 10% 100ml 糖水置入其中為例，過了 10 分鐘水位竟然下降 0.8cm。
4. 仍然無法避免漏水之問題，因為蛋膜及橡皮塞緊密是利用快乾膠與熱溶膠來密封效果不佳。

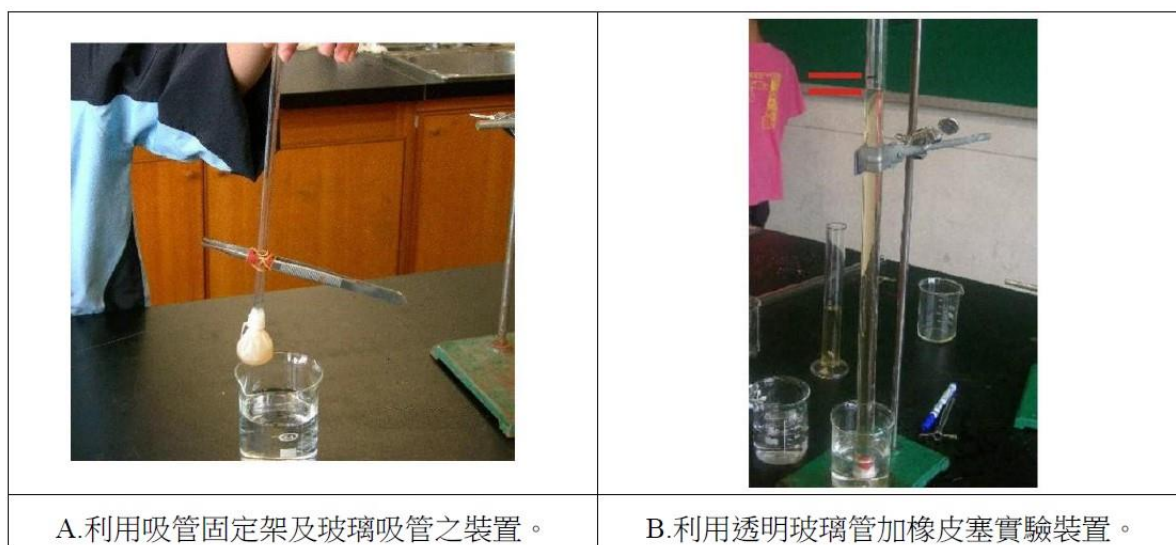


圖 16、測量滲透壓之實驗裝置嘗試結果圖示。

(四) 利用兩個半 U 型（L 型）管之結合裝置。

1. 兩個半 U 型（L 型）管加一小截透明水管。
 - (1) 結果發現密封不易，以玻璃紙當半透膜時，一開始可以進行實驗，但是進行一段時間後容易漏水如圖 17，亦是進行一段時間後玻璃紙浸溼後溶解所致。
 - (2) 因為此法是需利用玻璃管塞緊橡皮管，如改由蛋膜當半透膜時，結果發現一套上塞緊之後，蛋膜即破裂無法進行實驗。

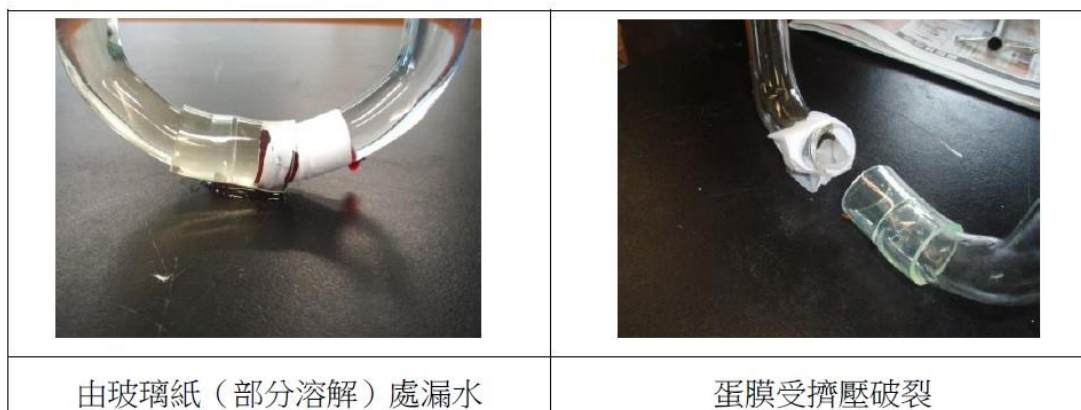


圖 17、兩個半 U 型管加一小截透明水管之缺點。

2. 兩個半 U 型 (L 型) 管加穿孔橡皮塞。

(1) 以玻璃紙當半透膜時，兩橡皮塞接縫處密封不易，容易漏水，儘管使用鐵氟龍膠帶纏繞與熱溶膠包覆，時間一久，水仍由接縫處漏出。

(2) 蛋膜與橡皮塞黏著不易，快乾與熱溶膠皆不容易使半透膜黏著於兩橡皮塞之間，縱使黏上，因為半透膜是位於兩橡皮塞之間，一旦浸水受溼，水分很容易從兩橡皮塞之間漏出 (圖 18A)。

3. 兩個半 U 型 (L 型) 管加 PVC 內外套管結合裝置。

狀況良好，經過一天的時間，水都不易漏出，爾後之實驗皆選擇此裝置進行後續之實驗，這也是我們首次因不同濃度之蔗糖水而造成滲透壓的實驗現象觀察。而我們知道液體壓力之算法為 $p=hd$ ，因此兩端的壓差，就可由糖水之密度乘於高度差即是壓差 (圖 18B)。

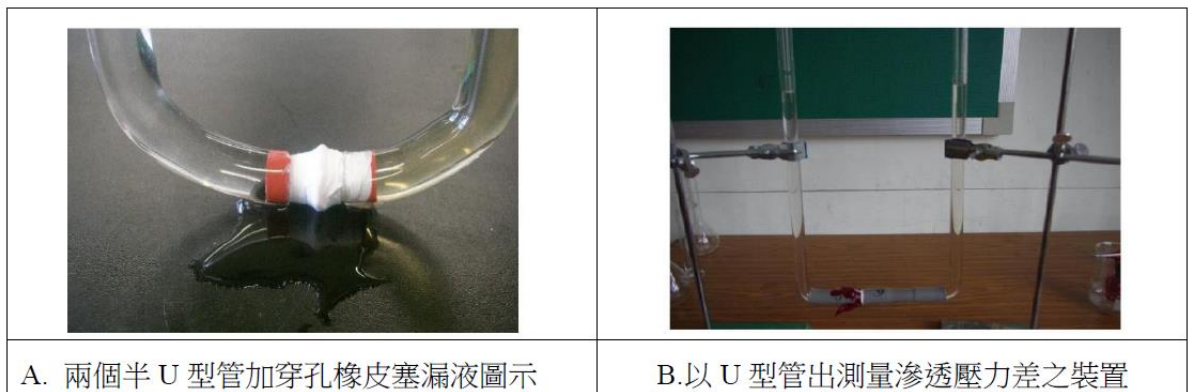


圖 18、測量滲透壓力差之實驗裝置圖示。

二、半透膜之選用。

(一) 以玻璃紙與豬大腸膜當作半透膜經過一小時之後，發現效果不佳，易漏水。

(二) 蛋膜之選用。

1. 不同酸 (硫酸、硝酸、鹽酸及醋酸) 對雞蛋殼之溶解速率結果如圖 19，發現同樣條件下，以硫酸效果最好溶解速率約是 0.000195g/秒，醋酸最慢約是 0.000112g/秒，顯然即是與酸的強弱與濃度有關，且皆是正相關。
2. 以固定濃度之鹽酸 (1M) 來溶解雞蛋膜、鴨蛋膜及土雞蛋膜，結果如圖 20。發現土雞蛋膜最容易溶解，而鴨蛋膜最難溶解，故一般相信每一品種之蛋殼之組成成分不相同，其蛋膜亦不相同。
3. 綜合以上，我們選用較安全之 1 M 的 HCl 來溶解較常用之雞蛋，取其雞蛋膜來當半透膜。

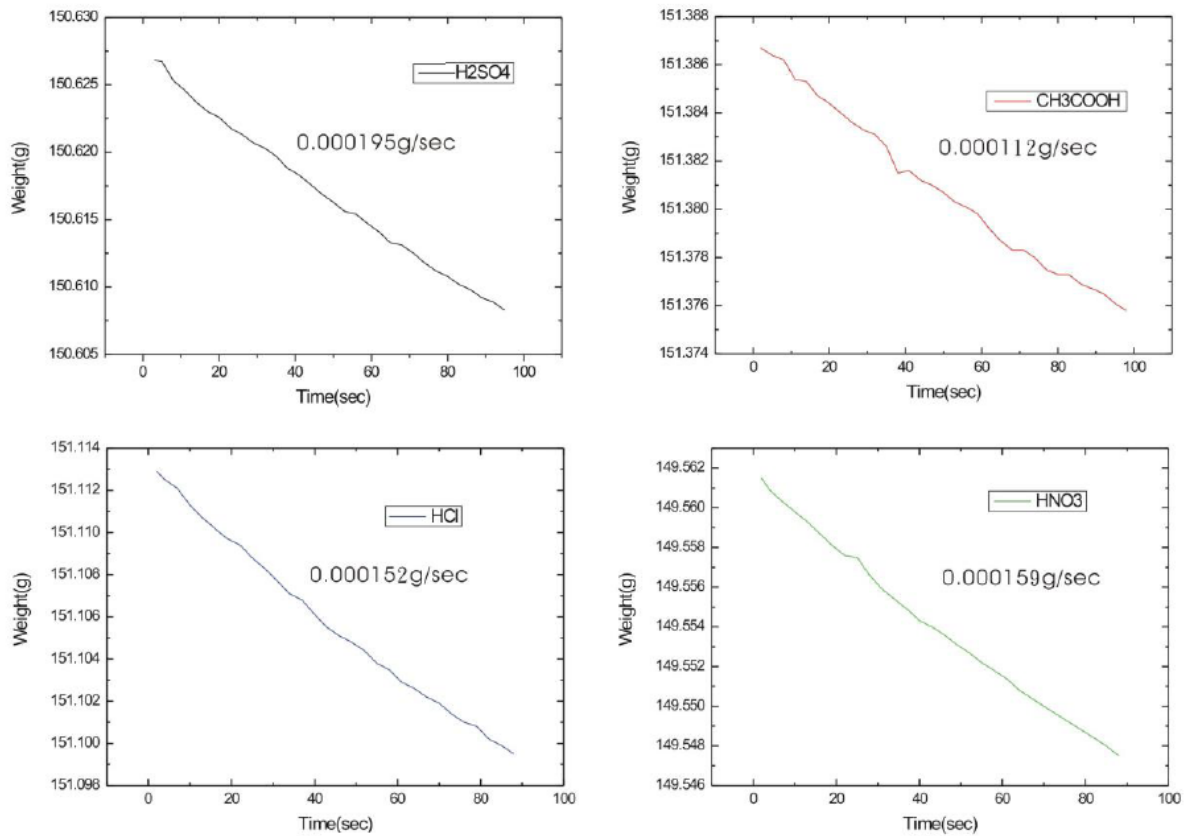


圖 19、不同酸對雞蛋殼之溶解速率。

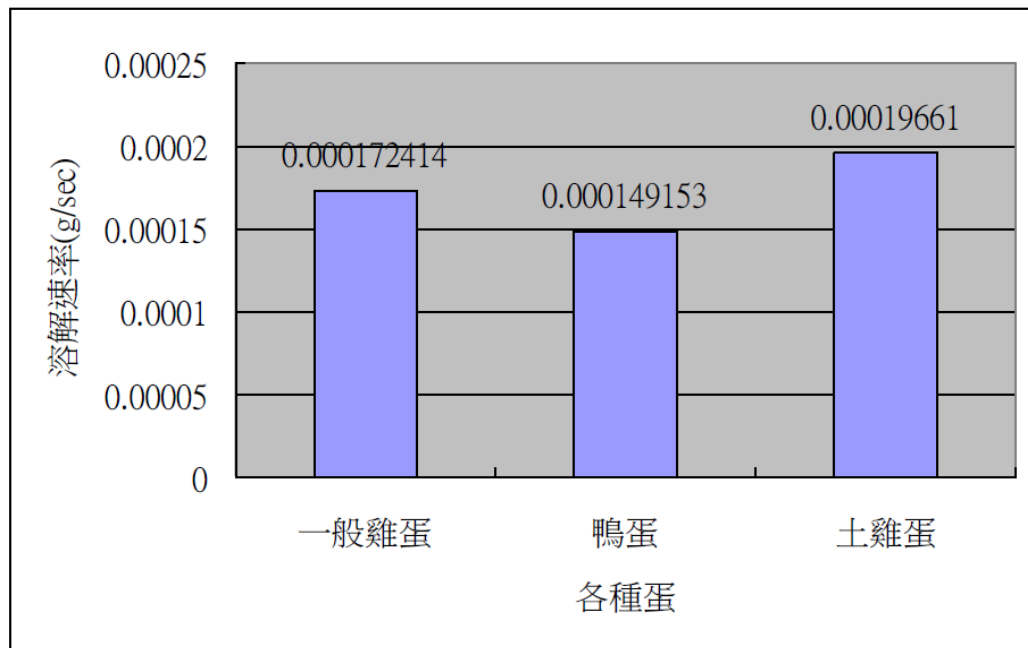


圖 20、不同種類蛋殼之溶解速率。

(三) 利用 Spark 測量儀器模組測量滲透壓。

1. 利用 1M 與 0.8M 之糖水實驗經過 4 天的長時間測量結果如圖 21，發現壓力計上壓力差紀錄顯示為 2.33 KPa，而實際滲透壓值卻應為目視之高度 h 所造成之壓力

($P=h*d$) 再加上 2.33 Kpa，如此顯得此所謂貴重精密儀器測量滲透壓多此一舉且空氣柱氣壓值更阻礙溶劑之滲透而影響滲透速率，故此測量模組顯然只是觀察滲透壓差現象無法標準量化，故擬放棄此測量儀器之使用。

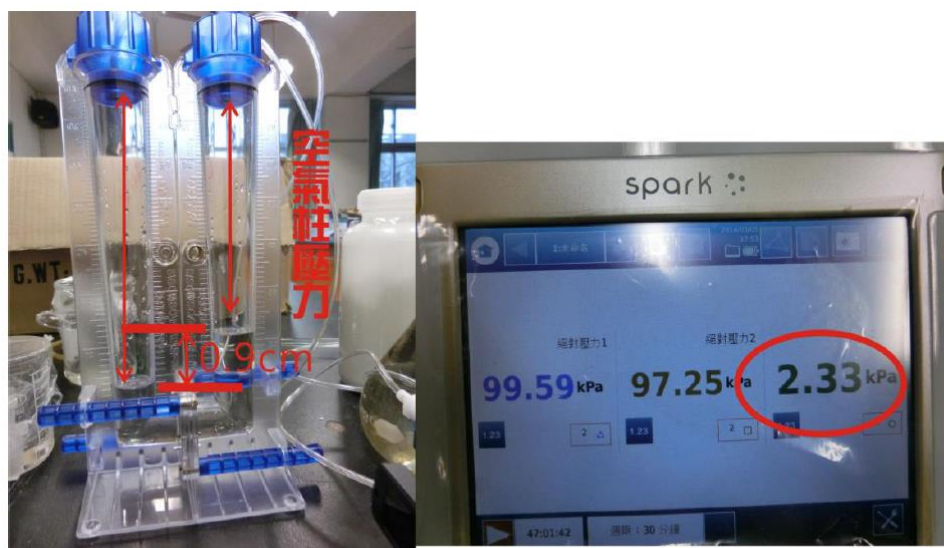


圖 21、利用 Spark 測量滲透壓值。

2. 此測量儀器所使用之滲透膜標示為高分子材質，孔洞大小為 $50 \mu m$ ，阻擋分子量為 6000 以上之高分子，顯然在糖水與食鹽水之實驗上皆不適用。
3. 另選擇目前所能採購之高分子滲透膜最小孔洞為 2.4 nm 使用為半透膜，驗證化學課本上兩不同濃度之滲透壓差造成固定量之溶劑流動之題目及解答。

(四) 利用 2.4nm 高分子膜驗證化學課本題目分析。

1. 利用 U 型管中間夾有孔洞 2.4nm 高分子滲透膜，U 型管兩端分別裝有等體積(100 毫升)之 1.5M 與 1M、0.8M 與 1M、0.4M 與 1M 以及 0.2M 與 1M 等四組蔗糖水溶液如圖 22A 圖之裝置，分別計算與實驗驗證在平衡（以 5 天後為基準）後會有多少水量應從低濃度流向高濃度造成高度差。濃度差造成滲透水量之結果如表二。因為只有水通過故濃度隨時間而變動依水量之變化，假設是每次滲流一點水由低濃度到高濃度，則如圖 23 所示到最後滲透壓差阻擋了水之滲透造成向左向右滲透速率相等(滲透平衡)。而如果溶質會滲透過去則會繼續回到兩邊等高。

表二、濃度差造成滲透水量之實驗結果。

糖水比重約 1.2 計算

項次	1.5M、1M	0.8M、1M	0.4M、1M	0.2M、1M	說明
理論值 1 (cm)	10594.4	4237.76	12713.28	16951.04	ΔM 與純水比
理論值 2 (cm)	9.4	4.95	20.04	31.12	ΔM 隨 Δt 變動
實驗值 (cm)	5.5	2.8	9.7	14.7	高度差換算成 ΔM
備註說明：水量皆由低濃度流向高濃度。($\pi = iC_M RT$ 與 $p = hd$ 換算理論值)					

2. 裝有不同濃度之食鹽水作空白對照組，結果如圖 22B 圖，食鹽水經過 5 天後，沒有高度差，顯然離子夠小一定能夠滲透半透膜。理論上如果蔗糖分子與鈉離子、氯離子一般皆可通過滲透膜，則糖水兩邊最後高度應一樣高，因此可能為孔洞堵塞或溶質滲透造成濃度變動等，尤其多天之後亦常見糖水有發霉之問題，孔洞堵塞在參考文獻膜材結構對蛋白質微過濾反覆操作程序影響之探討亦提到過。

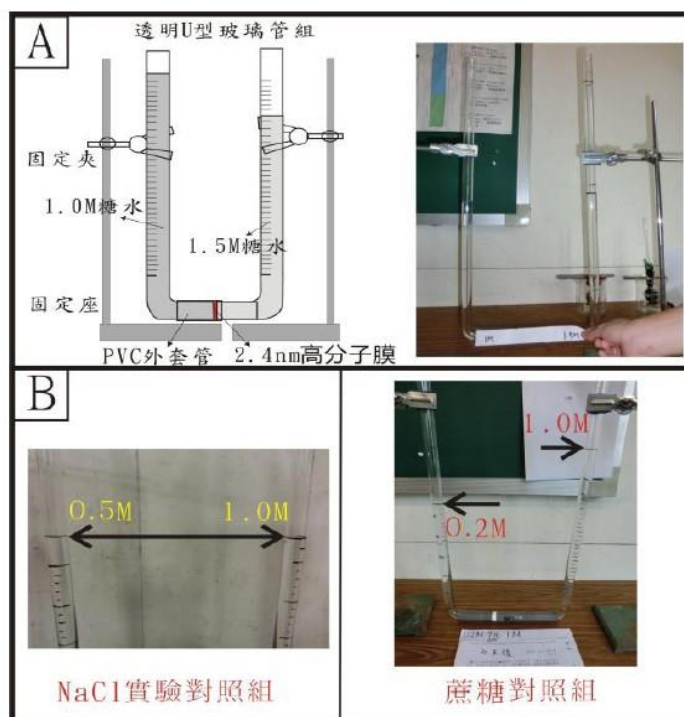


圖 22、利用 2.4nm 高分子膜驗證化學課本題目分析實驗示意圖。

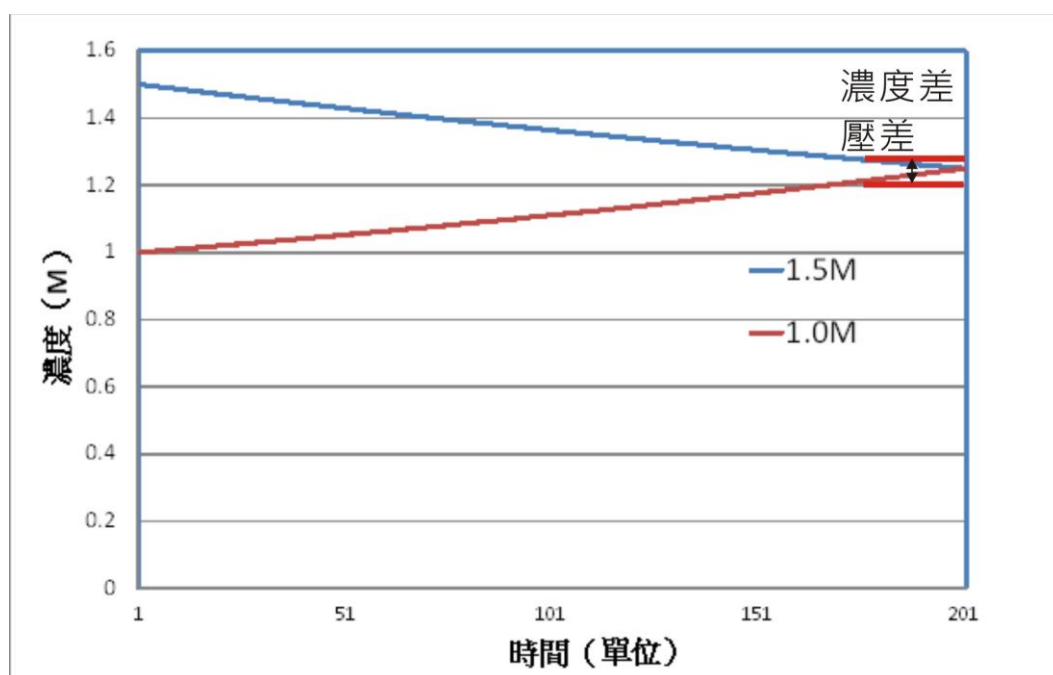


圖 23、高分子膜驗證濃度差(高度差)隨時間變化之關係 (滲透平衡)。

3. 採高分子滲透膜孔洞為 2.4 nm 為半透膜，驗證化學課本題目如果有一端 10cm 之水柱高，則另一端 0.002M 之稀薄糖水比重 1 需加多少 ml ($A=1\text{cm}^2$)? 參考答案為 50.8cm，而高分子膜實驗經過 1 天後實驗結果相符(圖 24)，但是雙層蛋膜卻是出現一開始有高度差，再 3 天後兩邊即等高，顯示溶質穿透過蛋膜。知 2.4nm 奈米高分子膜確實可用，而蛋膜一開始之高度差顯然只是離子漂移速率之不同所造成之短暫結果。

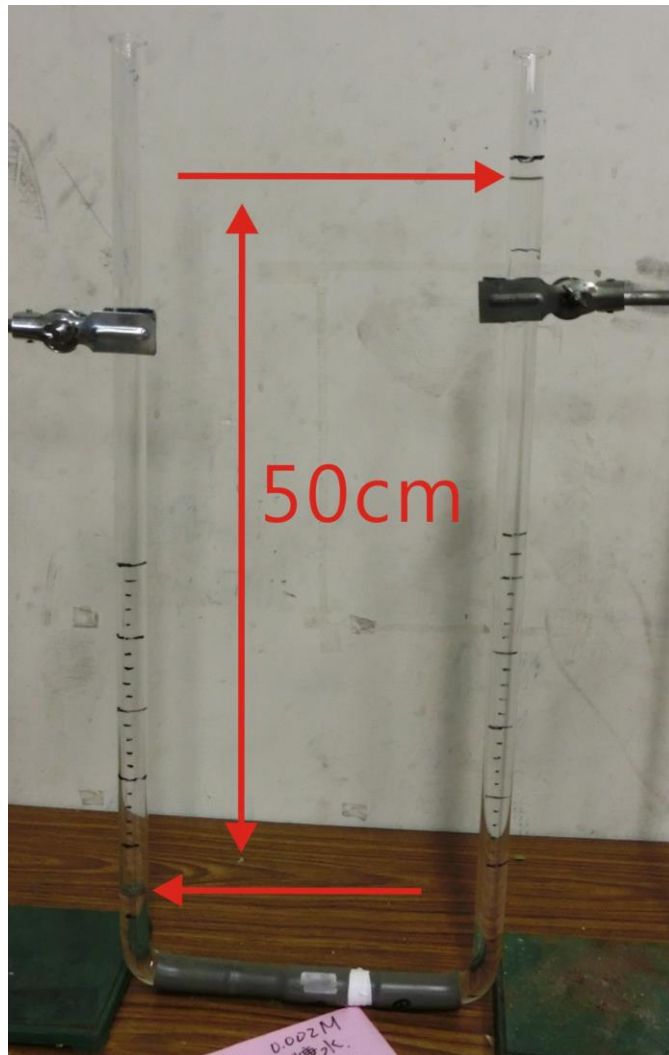


圖 24、課本題目驗證結果相符。

4. 滲透速率動力學提到資訊(文獻 6)如下頁公式所推導，滲流速率與相對高度階次及時間之變化如圖 25 所示。

滲透速率定律推導公式：

滲透速率定律 $V = k \times h_0^n$ 並延伸到滲透平衡定律式 $K = \frac{h_{of}^n}{h_{or}^n} = \frac{k_r}{k_f}$

假設滲流速率 V 滲流 Q 高度後 $h_0 \rightarrow h'_0$ 且 $h'_0 = h_0 - 2Q$

$$V = -\frac{dh_{ot}}{dt} = k \times h_0^n$$

設 n 為滲流階次 (order)

當 $n=0$

$$V = -\frac{dh_{ot}}{dt} = k \times h_0^0 = k$$

$$\text{即 } -dh_{ot} = k dt \quad \text{積分得到 } h_{ot} = h_0 - kt \quad (\text{a})$$

以 $h_{ot} = \frac{1}{2}h_0$ 代入 上式 (a) 得到 $\frac{1}{2}h_0 = h_0 - kT$

T 即為滲流至一半所需之時間

$$\text{且 } T = \frac{h_0}{2k}$$

當 $n=1$

$$V = -\frac{dh_{ot}}{dt} = k \times h_0^1 = kh_0$$

$$\text{即 } -\frac{dh_{ot}}{h_0} = k dt$$

積分得到 $h_{ot} = h_0 \times e^{-kt}$

$$\text{即是 } \ln h_{ot} = \ln h_0 + \ln e^{-kt} = \ln h_0 - kt \quad (\text{b})$$

以 $h_{ot} = \frac{1}{2}h_0$ 代入上式 (b) 得到 $\frac{1}{2} = e^{-kT}$

T 即為滲流至一半所需之時間且 $T = \frac{0.693}{k}$

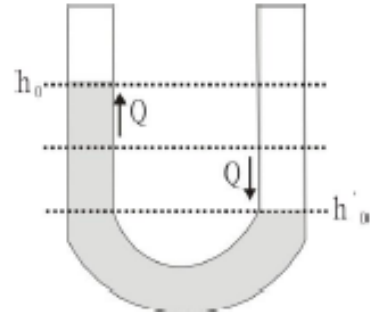
當 $n=2$

$$V = -\frac{dh_{ot}}{dt} = k \times h_0^2 \quad \text{即} \quad -\frac{dh_{ot}}{h_0^2} = k dt$$

$$\text{積分得到 } \frac{1}{h_{ot}} = \frac{1}{h_0} + kt \quad (\text{c})$$

以 $h_{ot} = \frac{1}{2}h_0$ 代入上式 (c) 得到 $\frac{2}{h_0} = \frac{1}{h_0} + kT$

T 即為滲流至一半所需之時間 且 $T = \frac{1}{kh_0}$



實驗結果如圖 26，裝置量測氣壓值是為高度變化造成壓力值的改變，因此以壓力變化表示為高度隨時間之變化關係，曲線參照圖 25 顯示滲透速率為 0 階之變化，且濃度差之影響非為階次關係而是應該併到滲流常數 k 值中（即圖 26 斜率）。

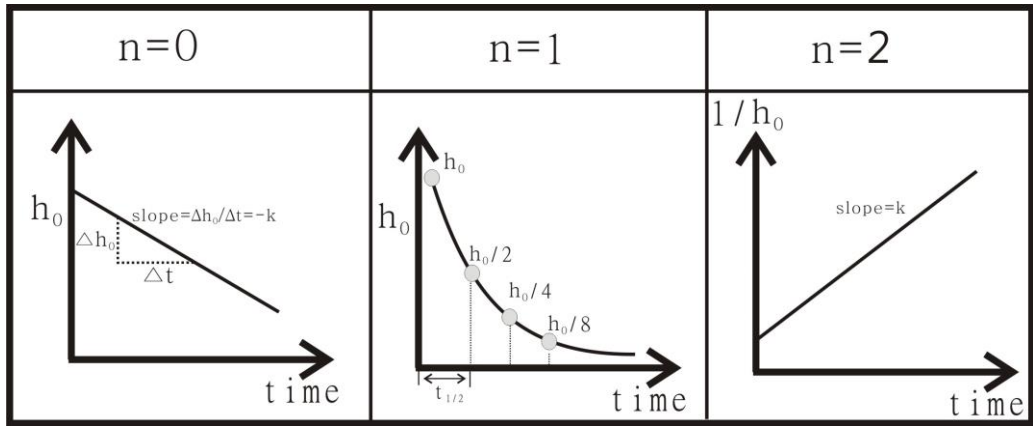


圖 25、滲透速率與高度 n 級次及時間變化之關係。

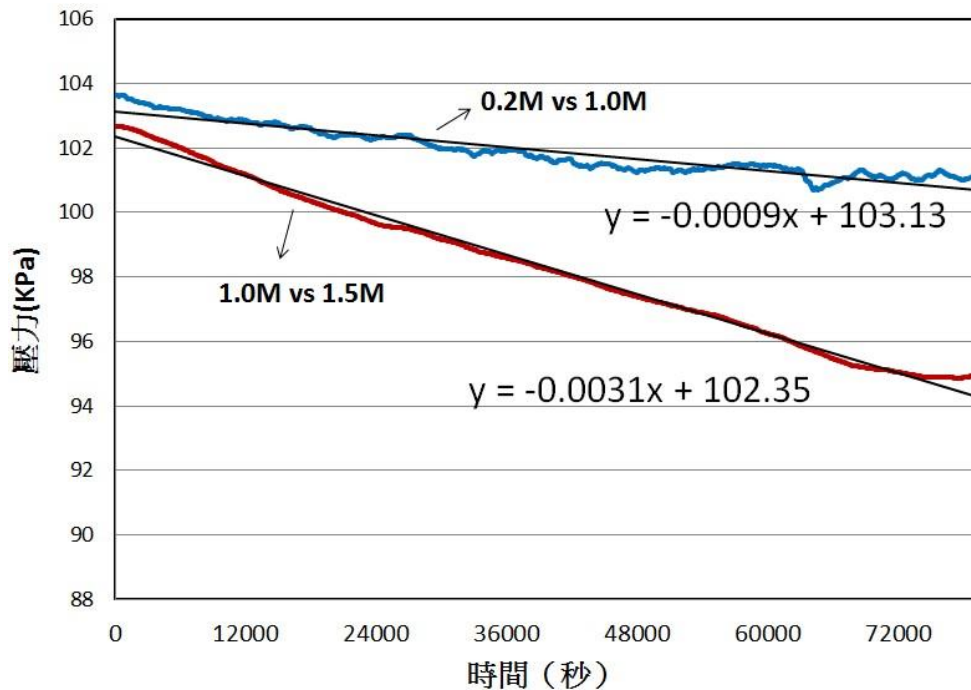


圖 26、以 SPARK 測量滲透速率之實驗結果。

(五) 滲透膜與粒子大小分析

1. 就半透膜滲透部分及一般粒子大小分析如表三。資料明顯顯示各所謂半透膜或滲透膜或透析膜孔洞都大於一般小粒子（或離子）之大小。
2. 水分子非常小可以利用直接擴散的方式進出細胞膜或半透膜，但葡萄糖或蔗糖分子除非有生物選擇性或孔洞更小之半透膜中才可滲透。我們相信玻璃紙或一般大孔洞高分子膜非生物膜等均可以使葡萄糖分子、蔗糖分子或離子透過，而僅能阻擋澱粉分子等大分子，而這些半透膜對於離子是沒有如生物膜般具有選擇性。

表三、一些粒子半徑、離子水合物半徑與半透膜孔洞大小。 單位:nm

名稱	H ₂ O	C ₆ H ₁₂ O ₆	蔗糖	Cl ⁻	Na ⁺	SO ₄ ²⁻
粒子大小	0.28	1	0.6~1.06	0.33	0.36	0.38
名稱	玻璃紙	蛋膜	大腸膜	高分子膜 1	高分子膜 2	
孔洞大小	1000~45000	20~130	250~35000	4000~5000	2.4	

三、綜合以上，先選用 U 型管加 PVC 套管當作測量滲透壓之實驗裝置，並小心選用一般科展各校常用之生物半透膜（雞蛋膜）當作半透膜觀察以下各項滲透壓之變化。

(一) 以 0.29M、0.59M、0.88M 及 1.17M 的蔗糖水與純水各 100ml 作比較，結果如表四。可以清楚發現蔗糖濃度愈高，高度差愈大。依據 $\pi = iC_MRT$ 及 $p=hd$ ，或許可知 $\pi \propto C_M \propto h$ 意即滲透壓與濃度成正比，且與高度成正比（圖 27）。

表四、不同濃度 (M) 的蔗糖水溶液其滲透壓測量值。 單位：cm

經過時間	0.29M	水	0.58M	水	0.88M	水	1.17M	水
0 小時	35.3	35.1	35.2	34.6	37.2	34.9	38.8	34.1
6 小時	35.8	34.9	35.4	34.3	38	34.2	39.6	33
24 小時	36.8	33.7	37.1	32.4	40.4	32	41	31.4
30 小時	37	33.6	37.4	32.2	40.7	31.5	41.4	30.9
最後高度差	3.4		5.2		9.2		10.5	

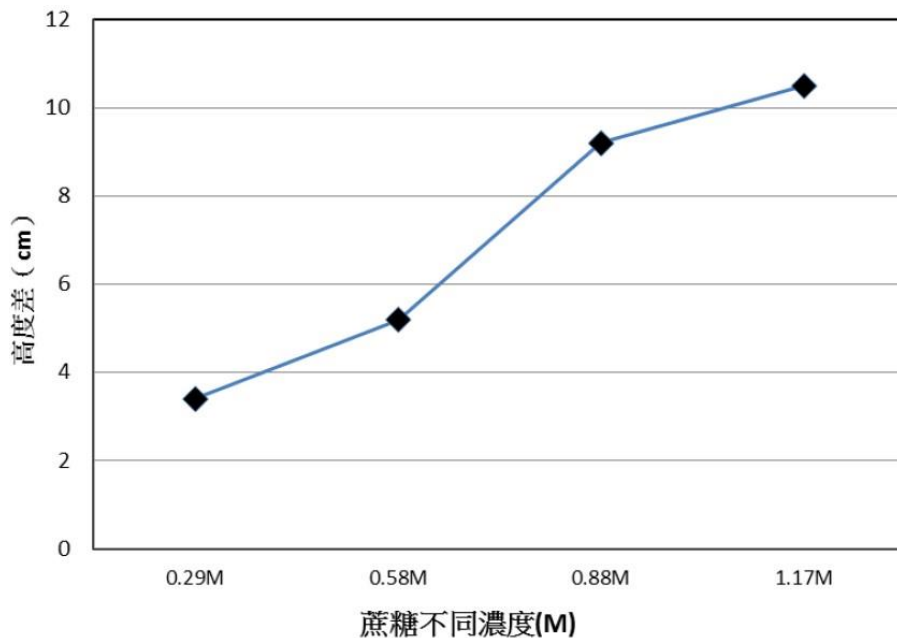


圖 27、不同濃度 (M) 的蔗糖水溶液，其高度差之線性關係。

(二) 以 0.85M、2.5M 及 3.4M 的食鹽水與純水之比較結果如表五，發現結果不如預期，研判蛋膜不具有生物半透膜之選擇性又或許氯與鈉離子可以穿透雞蛋膜。

表五、不同濃度 (M) 的食鹽水溶液其滲透壓測量值。 單位：cm

經過時間	0.85M	水	2.5M	水	3.4M	水
2 小時	36.8	33	37	33.6	36.7	36
12 小時	37.7	32.1	37.2	33.3	36.8	35.9
24 小時	38.3	31.5	37.5	33.2	36.9	35.6
30 小時	38.6	31.2	37.6	33.1	36.9	35.6
最後高度差	7.4		4.5		1.3	

(三) 以 0.7M、1.4M 及 2.1M 的硫酸鈉 (Na_2SO_4) 與純水作比較，結果如表六，其四天高度差更接近線性 (圖 28)，滲透壓與濃度之相互關係亦趨明顯，或許可知滲透壓需要長時間慢慢達到平衡。亦可觀察發現到其高度差明顯與 “ $i \times C_M$ ” 有效濃度有正比關係。

表六、不同濃度 (M) 的硫酸鈉溶液其滲透壓測量值。 單位：cm

經過時間	0.7M	水	1.4M	水	2.1M	水
2 小時	37.6	31.9	38.6	31.9	41.9	29.4
12 小時	38	31.4	39.4	31.1	43	28.4
24 小時	39	30.3	41.6	28.8	45.5	25.9
30 小時	39.8	29.6	43.7	26.7	47.7	23.7
48 小時	40	29.3	44.6	25.8	48.4	22.8
96 小時	40.5	28.9	46.2	24.2	49.9	21.5
最後高度差	11.6		22		28.4	

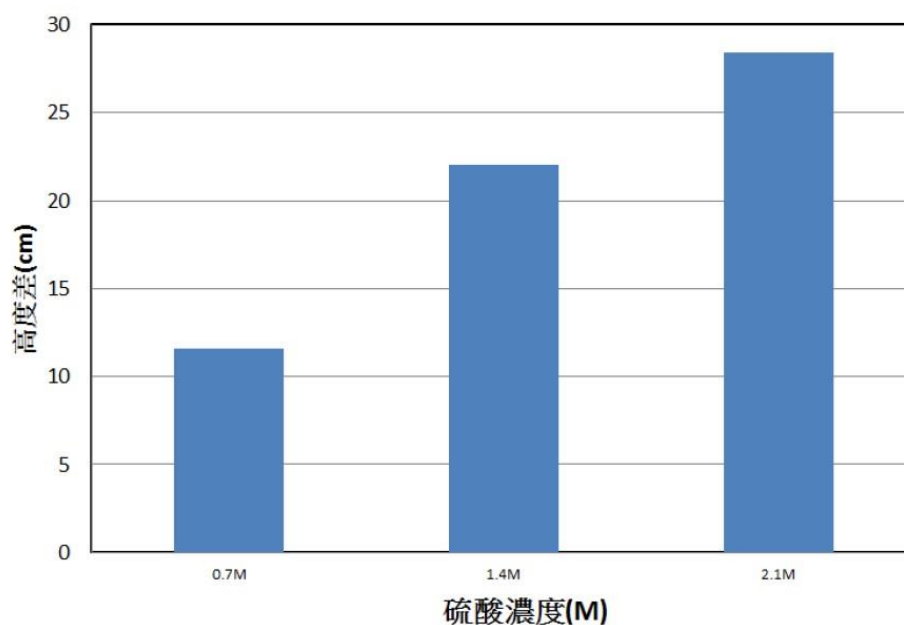


圖 28、不同濃度 (M) 的硫酸鈉水溶液，其高度差之線性關係。

(四) 以選用蛋膜充當生物半透膜之總結。

1. 蛋膜是否為生物膜而具有通過粒子之選擇性是我們最大之疑問，而蛋膜之孔洞大小可供參考資料甚少，但是歷屆科展常選用雞蛋膜，但我們選用後卻發現問題甚多，包含易破、不易黏著、不易固定、品質不一、無法長時間使用易發霉等等問題，最重要的是實驗再現性真的不高，資料可信度欠缺。
2. 國外網站關於蛋殼及蛋膜之研究，蛋殼孔洞參考資料如圖 29 (文獻 9)，顯示蛋殼孔洞約在 $3.5 \mu\text{m}$ (3500nm) 左右，另一篇蛋膜研究報告 (圖 30，文獻 10) 亦顯示蛋膜為纖維結構，纖維之間的通道大小約為 $20 \sim 130\text{nm}$ ，報告亦指出蛋膜應不屬於生物半透膜。因此，對於小分子蔗糖或離子應可通過蛋殼、蛋膜孔洞才對。

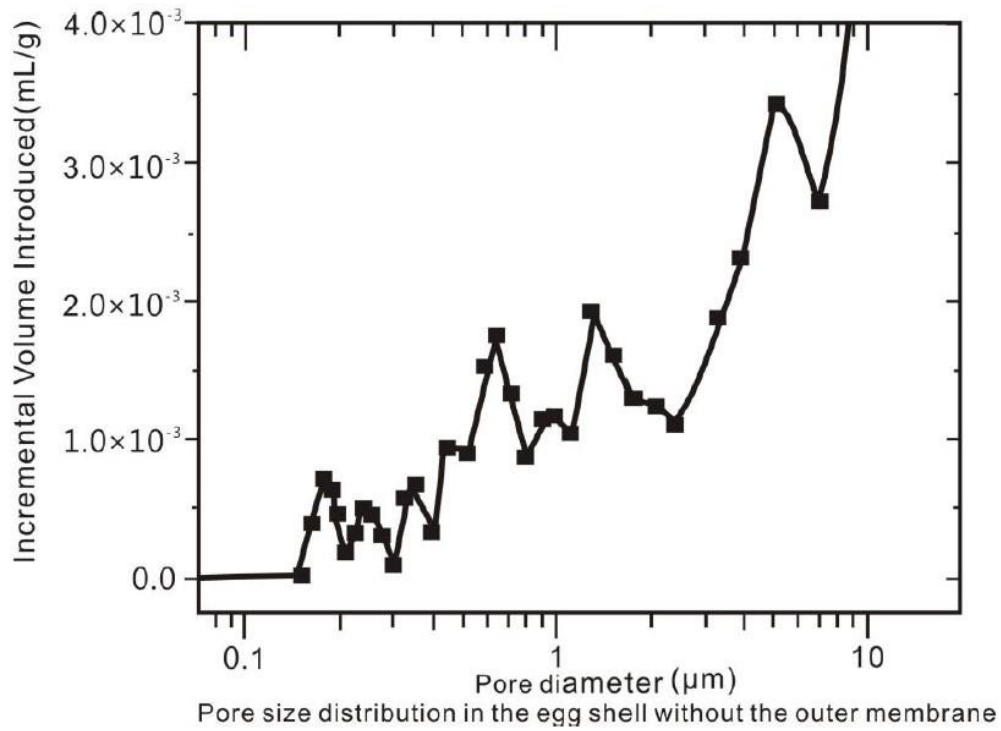


圖 29、蛋殼孔洞大小分佈圖。(參考文獻 9)

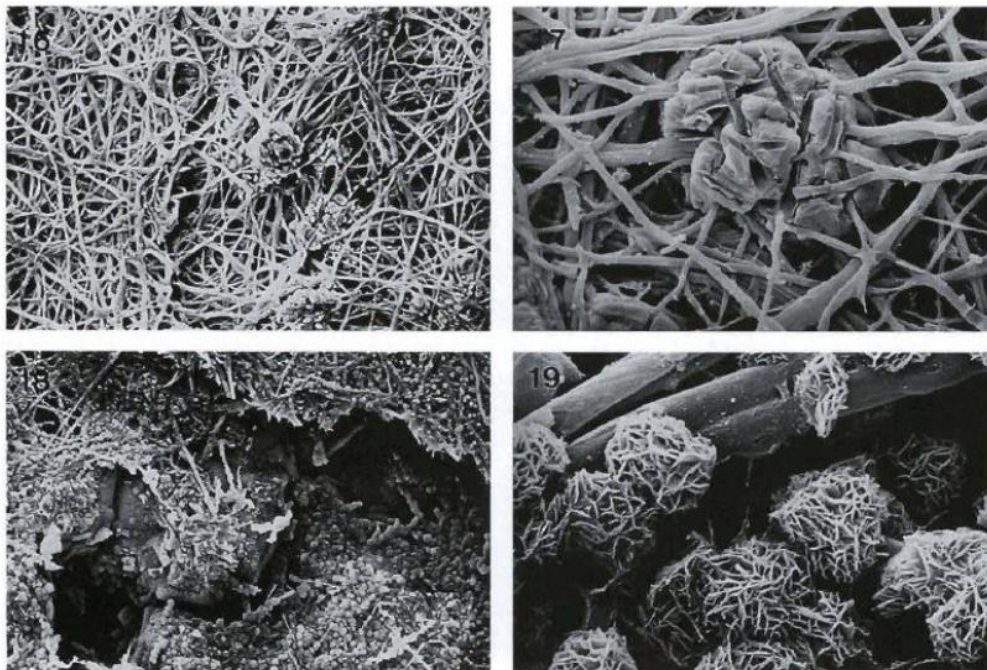


圖 30、蛋膜表面結構型態 SEM $\times 125 \sim \times 390$ 。(參考文獻 10)

3. 因沒有 SEM 或 TEM 等電子顯微鏡貴重儀器可以一窺蛋膜究竟，但為了解除疑問，突想到皮蛋、茶葉蛋等亦都沒破壞蛋殼蛋膜，但是溶液中的味道與離子亦可以穿透蛋殼（不管有無外膜）及蛋膜。因此決定利用完整生雞蛋放入純水中、鹽水中及醬油中低溫(60°C)蒸煮約 1 小時再看看導電度及嘗試鹹度，不要破壞蛋殼及蛋膜結構，看看離子是否能穿過這些微米 (μm) 孔洞 (圖 31)。

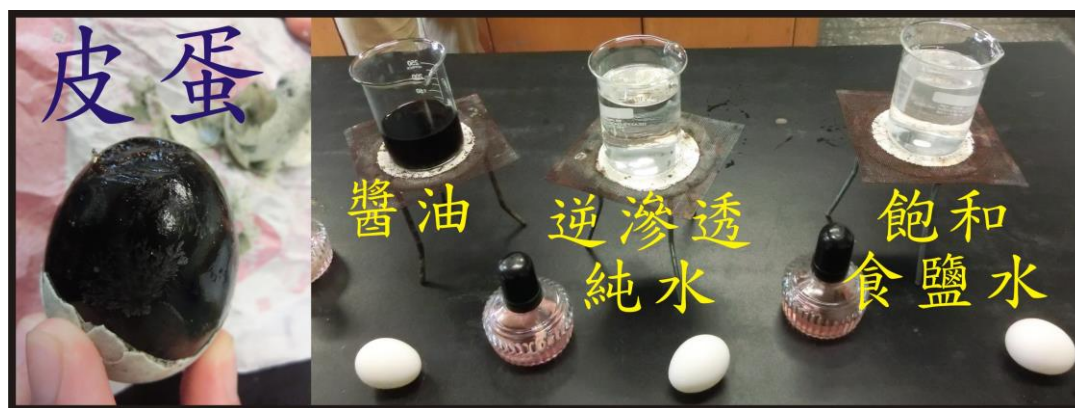


圖 31、溶液離子及小分子通過雞蛋微米孔洞實驗。

4. 蒸煮完畢剝蛋殼時可發現蛋膜皆完整無破壞，其導電度結果如表七所示。嚐起來結果鹽水與醬油的泡蛋亦都有入味，顯示鈉離子及醬油亦都可以穿過這些蛋殼蛋膜微米孔洞，顯然蛋膜真的不是具有選擇性之生物半透膜，而只是具有微米孔洞之半透膜罷了。

表七、完整蛋泡在各溶液中之後之導電度（電阻值）。

項次	純水	食鹽	醬油	泡鹽水後再蒸煮
電阻值 ($\text{k}\Omega$)	31.28	21.56	12.88	15.96
備註說明	淡而無味	有鹹度	茶葉蛋味道	有鹹度

5. 另外我們嘗試以糖水蒸煮雞蛋，亦發覺雞蛋竟是甜的 (圖 32)，顯然蛋膜在歷屆科展中被廣泛選用真的是有待商榷及更嚴格之實驗來驗證了。

四、滲透壓與植物的關係之實驗結果。

(一) 測量馬鈴薯滲透壓之實驗結果。

1. 以 10°C 、 20°C 及 30°C 作馬鈴薯滲透壓滴降法之觀察結果如表八、表九及表十。



圖 32、嚐糖水泡蛋圖示。

表八、在 10°C 時，馬鈴薯滴降法之觀察結果。

10°C 試管編號	蔗糖濃 度(M)	染料移動觀察				滲透壓值 (atm)
		15 分	30 分	45 分	60 分	
1	0.05	下降	下降	下降	下降	1.287933
2	0.10	下降	下降	下降	下降	2.575866
3	0.15	下降	下降	下降	下降	3.863799
4	0.20	不動	不動	不動	不動	5.151732
5	0.25	上升	上升	上升	上升	6.439665
6	0.30	上升	上升	上升	上升	7.727598
7	0.40	上升	上升	上升	上升	10.30346
8	0.50	上升	上升	上升	上升	12.87933

表九、在 20°C 時，馬鈴薯滴降法之觀察結果。

20°C 試管編號	蔗糖濃 度(M)	染料移動觀察				滲透壓值 (atm)
		15 分	30 分	45 分	60 分	
1	0.05	下降	下降	下降	下降	1.333443
2	0.10	下降	下降	下降	下降	2.666886
3	0.15	下降	下降	下降	下降	4.000329
4	0.20	不動	不動	不動	不動	5.333772
5	0.25	上升	上升	上升	上升	6.667215
6	0.30	上升	上升	上升	上升	8.000658
7	0.40	上升	上升	上升	上升	10.66754
8	0.50	上升	上升	上升	上升	13.33443

表十、在 30°C 時，馬鈴薯滴降法之觀察結果。

30°C 試管編號	蔗糖濃 度(M)	染料移動觀察				滲透壓值 (atm)
		15 分	30 分	45 分	60 分	
1	0.05	下降	下降	下降	下降	1.378953
2	0.10	不動	下降	下降	下降	2.757906
3	0.15	上升	不動	不動	不動	4.136859
4	0.20	上升	上升	上升	上升	5.515812
5	0.25	上升	上升	上升	上升	6.894765
6	0.30	上升	上升	上升	上升	8.273718
7	0.40	上升	上升	上升	上升	11.03162
8	0.50	上升	上升	上升	上升	13.78953

2. 由結果可以看出馬鈴薯的滲透壓在 10°C 時約為 5.1atm，20°C 時約為 5.3atm，30°C 時約為 4.1atm。所以溫度明顯會影響滲透壓值，可能因為溫度愈高，溶劑黏度減少，而滲透速率愈快，意即滲透速率影響到滲透壓值。
3. 以植物量測計算得到之滲透壓值顯然比利用 U 型管等方法所得到之滲透壓值大許多且能快速觀察得到不必等多天後滲透平衡之結果。

(二) 水果食材醃漬實驗結果。

1. 梅子醃漬結果如圖 33，可明顯看出濃度愈高，水果食材愈是乾扁。尤其鹽水更是效果明顯，可以清楚瞭解滲透壓在此所扮演之角色，就是讓水果食材的水分跑出來。



圖 33、梅子醃漬結果：空白樣本與(A)10%鹽水、(B) 20%鹽水、(C)飽和鹽水，(甲) 10%糖水、(乙)20%糖水、(丙) 30%糖水及(丁) 40%糖水。

2. 蕃茄及蘿蔔之醃漬結果如圖 34，蕃茄可能因為外皮之關係，醃漬七天效果不甚明顯，但在鹽水中仍能明顯觀察到濃度對其醃漬效果的正比關係，同樣因為蘿蔔一開始取樣粒徑太小，效果不甚明顯，但仍能窺探出濃度愈大，醃漬效果愈好。



圖 34、蕃茄及蘿蔔之醃漬結果。

(三) 芹菜與萬年青之實驗結果。

1. 芹菜實驗結果。

(1) 觀察結果如圖 35，我們每經過半小時或一小時就將芹菜之莖部一小段切除觀察其紅色染料上升之高度（如圖 35 左圖），結果發現無論是經過半小時或 1 小時，都是 20% 的糖水高於 10% 的糖水，但是 30% 及 40% 的糖水都沒有上升的跡象。



圖 35、芹菜維管束實驗之觀察圖。

(2) 於是我們就再以西洋芹重作一次實驗，發現結果還是一樣（表十一），而且 10% 及 20% 的高度幾乎維持一樣。

(3) 經過一天後，10% 及 20% 葉子上的維管束亦都佈滿紅色染料（圖 35 右圖）。

(4) 所以高濃度之溶液，植物細胞的水分都跑出來，所以維管束失去它的作用了。

表十一、芹菜維管束之實驗觀察。

	10%糖水	20%糖水	30%糖水	40%糖水
芹菜(半小時)	2.0cm	2.5cm	0cm	0cm
芹菜(1 小時)	2.9cm	3.1cm	0cm	0cm
西洋芹菜 (1 小時)	23cm	24cm	0cm	0cm

2. 萬年青成長實驗結果。

萬年青之成長實驗結果發現濃度大於 10%之肥料水，第三天開始葉子開始變黃，第五天後就枯萎了，顯然肥料水濃度太高植物吸收不了營養，或許與芹菜一樣，濃度太高，營養素及水分根本上不去（圖 36）。



圖 36、濃度 10%以上，萬年青很快就枯萎。

(四) 鴨跖草細胞的滲透作用觀察。

1. 鴨跖草置於不同濃度意即不同滲透壓之溶液的植物細胞觀察如圖 37 所示，可以輕易觀察到濃度愈高細胞原生質分離愈明顯。
2. 藉由實驗觀察，我們更可以清楚瞭解糖水濃度與表皮細胞之關係如圖 38 所示，亦可知道植物之養分濃度、運送與生長高度無法呈現絕對公式的關係，意即無法利用滲透壓的公式算出營養劑可以運送到植物的頂部高度是多高，而決定此植物的成長高度，也就是 $\pi = iC_M RT$ 與 $p=hd$ 無法計算出高度結果。

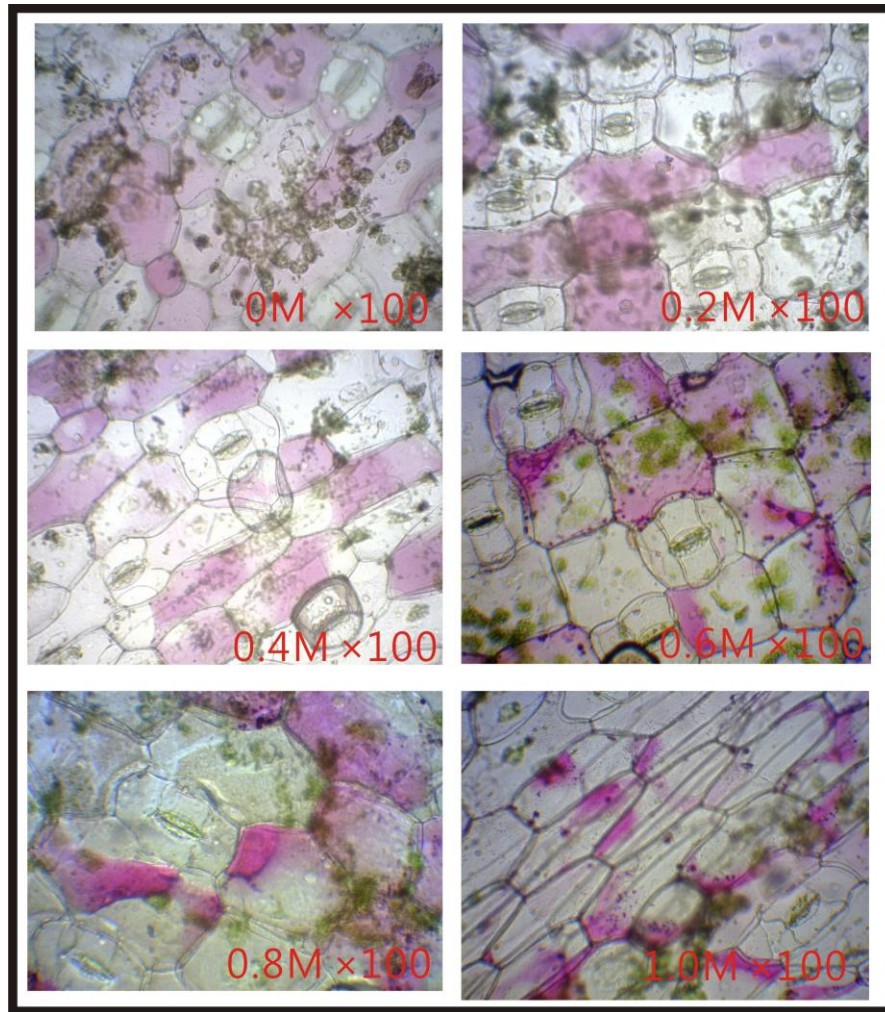


圖 37、不同蔗糖溶液濃度下鴨植草的表皮細胞顯微鏡觀察。

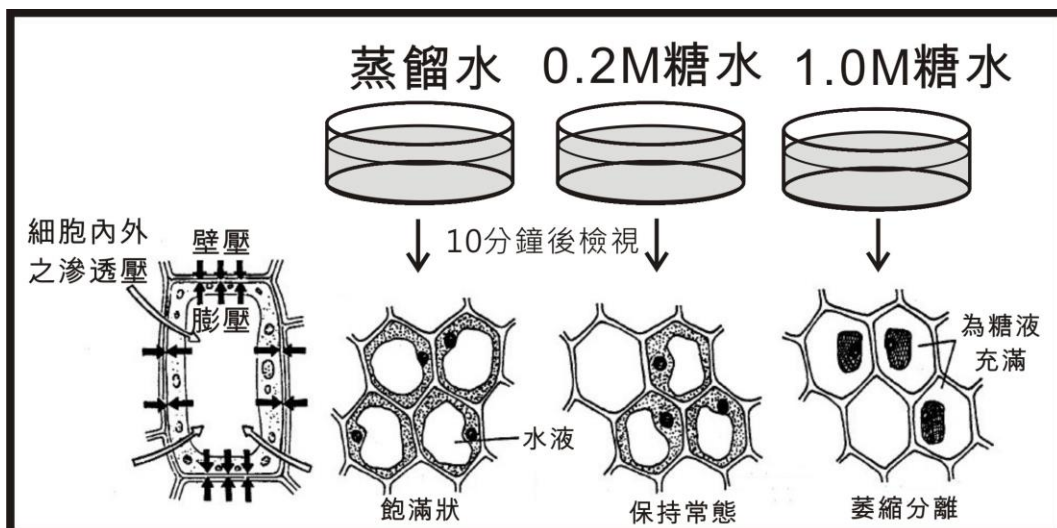


圖 38、糖水濃度與表皮細胞之關係圖。

(五) 植物實驗之總結。

由植物之實驗可以瞭解，營養劑或肥料之濃度與植物生長高度的關係是不存在絕對正相關的。藉由實驗資料觀察與分析，我們更可以清楚瞭解植物細胞滲透壓、膨壓與體積之變化如圖 39。而且如果由滲透壓的觀念來看，肥料水濃度愈高，植物的水確實會跑出來稀釋掉高濃度的溶液，意即會造成原生質分離而造成乾扁（即醃漬效果），因此，可以大膽的說，在植物成長的世界裡 $\pi = iC_M RT$ 與 $p = hd$ 兩者應該不是絕對相關的，故 92 年化學指考考科第 8 題的題目述說：植物細胞內的電解質總濃度，相當於 0.1 M 的 KCl 水溶液，密度約為 1.033 g/cm^3 ，若土壤中的電解質濃度極低，則熱帶雨林區內的植物高度最高可達幾公尺？答案 50 公尺。此題條件只是假設，或許真實條件是難存在的。

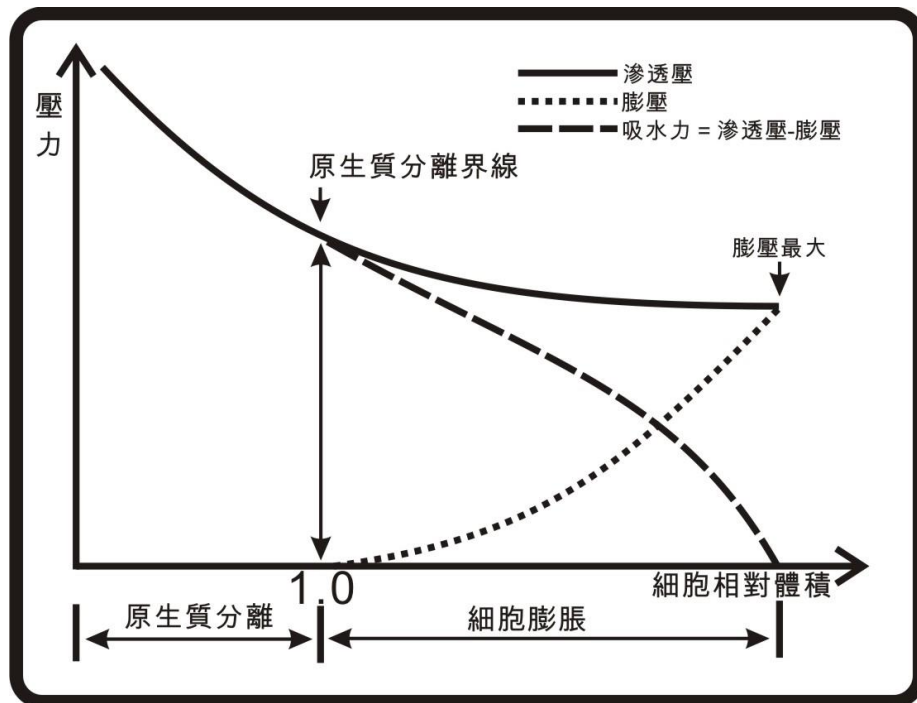


圖 39、植物細胞滲透壓、膨壓與體積之關係圖。

陸、結論

- 一、經過幾次的試驗，發現歷屆學長姐所利用之測量滲透壓之裝置以及坊間所選購之滲透壓觀察裝置，皆有其使用上之缺點，尤其是滲透膜選用、水蒸氣壓測量與垂直壓力差的問題皆有，我們所製備簡易之兩個半 U 型管加 PVC 套管之測量裝置確實可以用來觀察兩不同濃度之溶液的滲透壓之現象。
- 二、而實驗裝置半透膜之選用，還是以高分子奈米孔洞半透膜為佳，玻璃紙容易因水之部分溶解而影響滲透率，而歷屆科展最容易選用蛋膜，選用蛋膜卻不知是否真為具有生物選擇性之半透膜或注意孔洞大小而影響實驗結果卻不自知。我們的實驗結果及參考文獻報告明確指出，如果不考慮生物選擇性之作用，小分子物質（蔗糖、葡萄糖）及一般陰陽離子應皆可透過蛋膜，所以，歷屆中小學科展常利用蛋膜充當半透膜之實驗結果應該需要重新驗證或更客觀之檢驗。
- 三、利用正確之 U 型管實驗裝置與半透膜之正確選用，可以大概測量出溶液濃度與滲透壓之關係，驗證教科書 $\pi \propto iC_M$ 的關係，但是要正確算出跟題目假設一般之理想值有其困難度。
- 四、由滲透速率動力學之推導結論以壓力對時間之階次變化之實驗結果，可知滲透速率對高度變化應為 0 階之關係，而濃度差參數所造成之影響可併到滲流常數 k 之中。
- 五、以植物量測計算得到之滲透壓值顯然比利用 U 型管等方法所得到之滲透壓值大許多，且可快速觀察得到滲透壓所造成之結果差異，不像 U 型管需等多天後滲透平衡之結果，而利用滲透壓滴降法可以有效測量馬鈴薯在不同溫度之滲透壓，瞭解到溫度愈高，滲透速率愈快。
- 六、在簡單植物生長的實驗裡及植物細胞顯微觀察中，可以知道當營養劑濃度高時，容易因為滲透壓的關係，讓植物細胞的水分跑出來，意即造成原生質分離，而無法順利將營養劑運送到植物的頂端，尤其在營養劑的一定濃度之下，維管素之運送水分跟營養劑之濃度沒有絕對的關係。
- 七、經由簡單的實驗裝置與植物成長觀察，可以很清楚的知道在植物世界裡，不是 $\pi = iC_M RT$ 與 $P = hd$ 絕對相等，亦就是無法經由知道營養劑的濃度，就可以知道植物可以長多高，課本上題目之假設應該需更嚴謹才是。

柒、參考資料

1. 植物細胞滲透生理，坂村徹，養賢堂出版社，昭和 9（1934）。
2. 神奇的滲透現象，第四十三屆中小學科展，國小組化學科，桃園縣中壢市中壢國民小學，李秉珊、鄭如宜、柯俊旭、葉雲喬、呂理翔、王振羽，民國 92 年。
3. 蛋求滲解-磁場對滲透壓的影響，第四十五屆中小學科展，高中組化學科，國立新竹女子高級中學，陳羿如、林詩華、凌昱昀，民國 94 年。
4. 做透透，玩透透，第 52 屆中小學科展，劉議琦、黃丞偉、馬晟晏，國中化學科，民 101 年，臺南市私立興國高級中學(附設國中)。
5. 膜粒通道---蛋膜粒子通道滲透速率之研究，第 49 屆中小學科展，李馥安、黃玟瑜，民 99 年，高中化學科國立宜蘭高級中學。
6. 藉土壤以探討滲透平衡定律，第 19 屆中小學科展化學科，台南女中，葉文鶴。
7. 圖解生物實驗手冊（上），羅伊廷、謝慧齡等，2012 年 7 月 31 日，國立台灣師範大學科學教育中心。
8. 高中選修化學，葉名倉，南一書局，民國 97 年。
9. Pore Size Distribution in Chicken Eggs as Determined by Mercury Porosimetry, Rev. Bras. Cienc. Avic. vol.2 no.2 Campinas May/Aug. 2000
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-635X2000000200007&script=sci_arttext
10. A scanning and transmission electron microscopic study of the membranes of chicken egg, C.K. Tan, T. W. Chen, H.L. Chan and L.S.Ng, Histol Histopath (1 992) 7: 339-34, Histology and Histopathology.
11. 大腸膜孔洞大小，民國 103 年 2 月 4 日查詢。
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3824239/>
12. 葡萄糖分子大小，民國 103 年 2 月 4 日查詢。
http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_size_of_a_glucose_molecule#ixzz2xj3jdWFI
13. 玻璃紙孔洞大小，民國 103 年 2 月 4 日查詢。
<http://translate.google.com.tw/translate?hl=zh-TW&sl=en&u=http://www.importershub.com/cellophane-membrane-of-pore-size-45-micron-buyers/&prev=/search%3Fq%3Dcellophane%2Bmembrane%2Bpore%2Bsize%26biw%3D1440%26bih%3D753>
14. 蔗糖大小，民國 103 年 2 月 4 日查詢。
<https://jahschem.wikispaces.com/non-dissociating+solute>
15. 膜材結構對蛋白質微過濾反覆操作程序影響之探討，碩士論文，王筱菁，中原大學，化學工程研究所，民國 91 年 6 月。

【評語】 040205

題目涵蓋的範圍很廣，由實驗裝置、半透膜的選擇到植物與滲透壓之關係。各部分也都有相當的數據。但因範圍較廣，不易顯現重點，各部分間之關係亦宜有更好的關聯性。