

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

030215

電荷、離子數與滲透作用

學校名稱：臺北縣立頭前國民中學

作者： 國一 黃麒銘 國一 江權恆 國一 林威辰 國二 史正平	指導老師： 黃傳恭
---	------------------

關鍵詞：電荷、滲透、電解質

電荷、離子數與滲透作用

摘要

「滲透作用」是專指水分子通過半透膜的作用，水從水分子濃度高的區域自由通過半透膜到達水分子低濃度區域，此現象與擴散作用相同，本實驗研究主題有(一)就電解質與非電解質，探究影響滲透速率的變因。(二)討論在「強電解質離子溶液」中的離子數、離子所帶電荷數、離子水合程度與滲透作用的關係。(三) 滲透作用在日常生活的應用。

壹、研究動機

國中七年級上學期自然課教到滲透作用，八年級下學期教到電解質溶液，我們很想瞭解影響滲透的變因，像電解質與非電解質的差別，濃度的小大，溫度高低，不同半透膜，不同電解質離子水溶液等等的影響，我們也想把所學的滲透作用運用在日常生活方面，於是我們請老師指導，搜集資料，採用國中實驗室常用的化學藥品，想一些方法，對於不同濃度水溶液，與同濃度的各種水溶液的滲透速率，做深入探討和研究。

貳、研究目的

- 一、探討電解質、非電解質與滲透作用的關係
- 二、研究帶不同電荷的離子與滲透作用的關係
- 三、研究離子水合與滲透作用的關係
- 四、滲透作用在日常生活的應用

參、研究設備及器材

一、化學藥品

表(一) 化學藥品

氯化鈉 (NaCl)	氯化鉀 (KCl)	氯化鈣(CaCl ₂)
醋酸(CH ₃ COOH)	蔗糖(C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	葡萄糖(C ₆ H ₁₂ O ₆)
硝酸鎂Mg(NO ₃) ₂	硝酸鈣Ca(NO ₃) ₂	硝酸鈉NaNO ₃
硫酸鋅ZnSO ₄	鹽酸 (HCl)	RO膜、蛋 膜、小黃瓜

二、

表(二) 實驗器材

名稱	規格	數量	名稱	規格	數量
電子秤	一般實驗用	1	數位相機	Olympus c-360	1
水槽	一般實驗用	1	水族箱加熱器	110V 200W	1
燒杯	250ml、100ml	若干	滴定管架	一般實驗用	3
滴管	一般實驗用	數支	溫度計、量筒	一般實驗用	數支
玻璃棒	一般實驗用	數支	薊頭漏斗	一般實驗用	數支
試管夾	一般實驗用	數支	細玻璃管	一般實驗用	若干

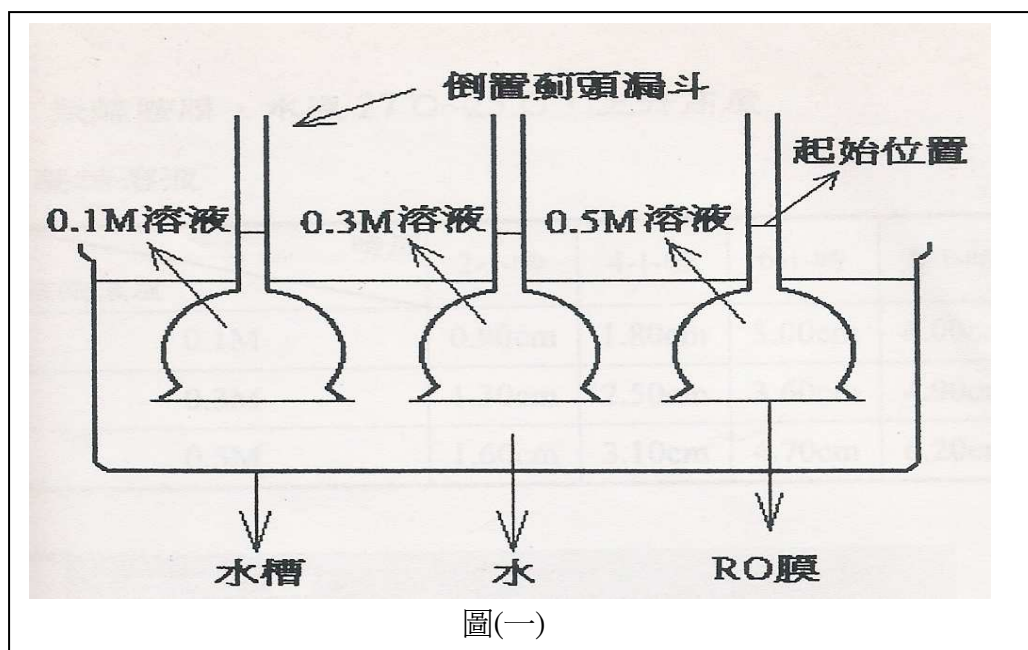
三、參考文獻

- (一) 半透膜：一種因溶質不同而有不同通透性的膜，對小分子的物質(例如：水分子)可允許自由通過，而對大分子的物質(例如：蛋白質分子)則不能通過。
- (二) 逆滲透膜(RO膜)：比半透膜具有較佳的耐壓性、耐高溫、化學性質安定、及足夠的透流率。目前較常見的逆滲透膜有二醋酸纖維膜、三醋酸纖維膜、聚醯胺膜、聚硫胺膜等等。
- (三) 本實驗用的為聚醯胺膜 (RO膜的一種)：清水透過率只有 $40\sim 50\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{Day}$ ，受到氯氣及其他氧化劑之侵害較敏感，pH值之操作範圍介於3~11之間，對溫度容忍程序較強，而且去除率甚佳。

肆、研究過程及方法

實驗一、

- (一) 取口徑相同的薊頭漏斗三個，在開口端分別以 AB 膠黏上 RO 膜，約靜置一小時後，從薊頭漏斗頸分別加入 0.1M、0.3M、0.5M 食鹽溶液 50mL，以漏斗架固定，然後浸入水槽中，三個都浸入水面下 6cm 處，用麥克筆在漏斗頸做水位記號，並以溫度計測量水溫，每兩小時記錄水位上升高度及溫度。如下圖(一)、照片(一) 所示。
- (二) 分別以 0.1M、0.3M、0.5M 的蔗糖溶液、葡萄糖溶液、醋酸溶液、鹽酸溶液重複上述實驗。



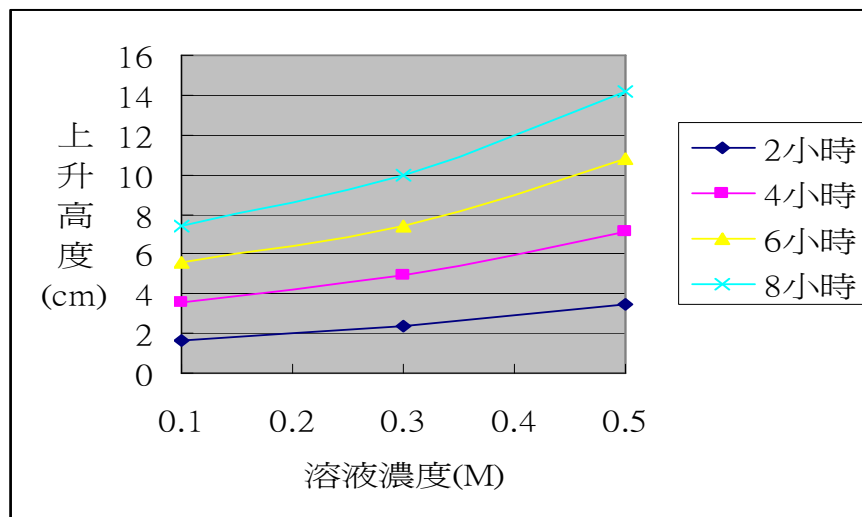
結果: 聚醯胺膜(Ro 膜) 水溫約 27°C

1.

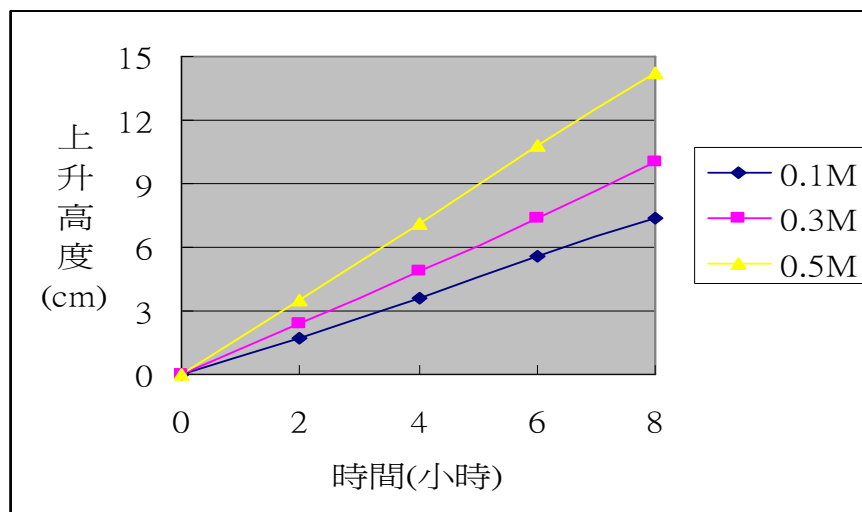
表(三) 食鹽溶液水位上升高度數據

溶液濃度 \ 時間 上升高度	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時
	0.1M	1.68cm	3.60cm	5.60cm
0.3M	2.40cm	4.90cm	7.40cm	10.00cm
0.5M	3.50cm	7.10cm	10.8cm	14.20cm

圖(二)不同時間，食鹽溶液濃度與水位上升高度關係圖



圖(三) 不同濃度食鹽溶液，時間與水位上升高度關係圖

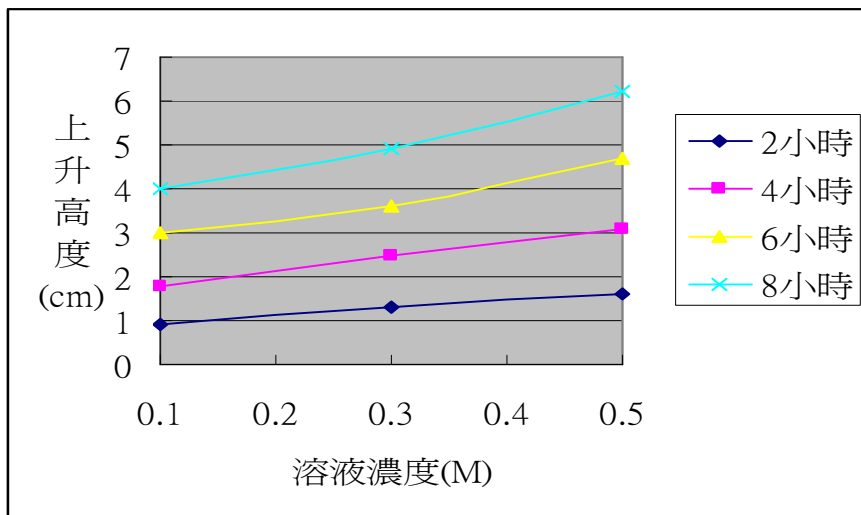


2.

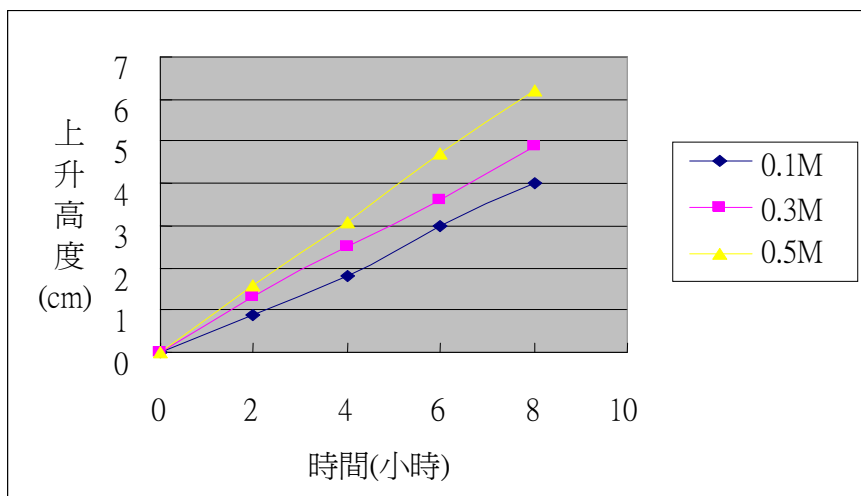
表(四) 蔗糖溶液水位上升高度數據

溶液濃度	時間			
	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時
0.1M	0.90cm	1.80cm	3.00cm	4.00cm
0.3M	1.30cm	2.50cm	3.60cm	4.90cm
0.5M	1.60cm	3.10cm	4.70cm	6.20cm

圖(四)不同時間，蔗糖溶液濃度與水位上升高度關係圖



圖(五)不同濃度蔗糖溶液，時間與水位上升高度關係圖

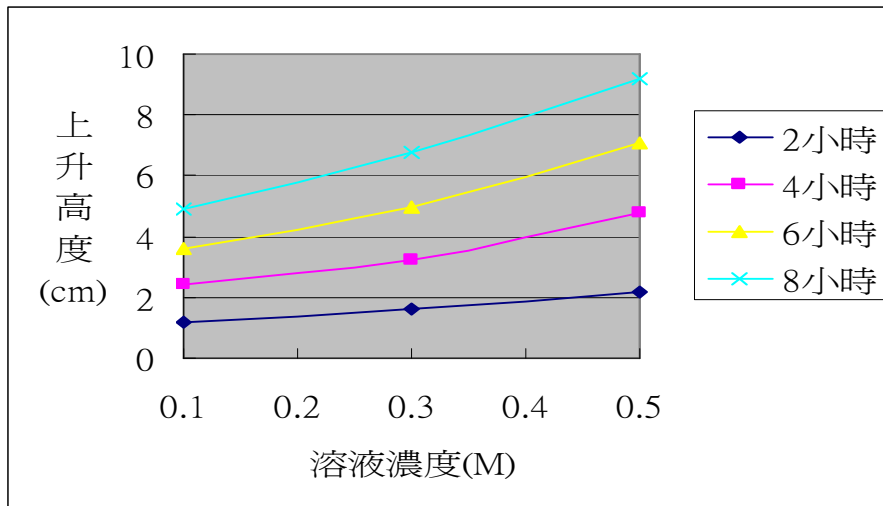


3.

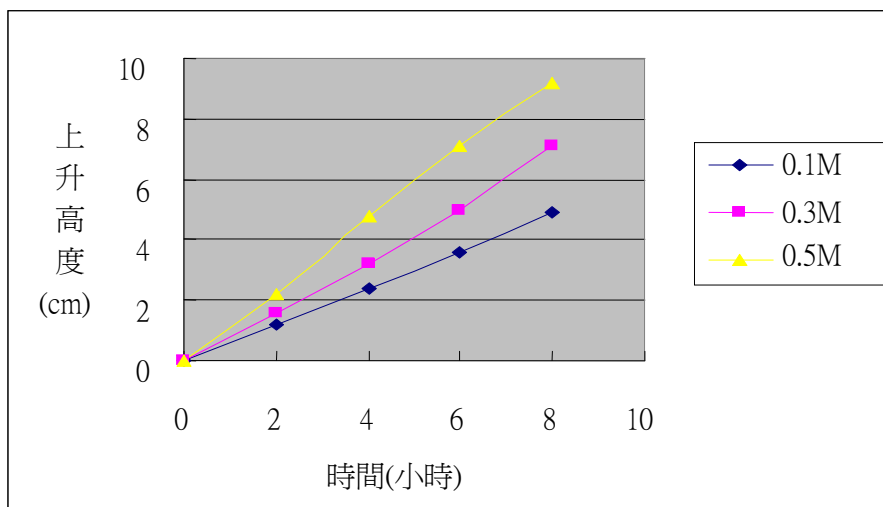
表(五) 葡萄糖溶液水位上升高度數據

溶液濃度	時間	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時
	上升高度				
0.1M		1.20cm	2.40cm	3.60cm	4.90cm
0.3M		1.60cm	3.20cm	5.00cm	6.80cm
0.5M		2.20cm	4.80cm	7.10cm	9.20cm

圖(六)不同時間，葡萄糖溶液濃度與水位上升高度關係圖



圖(七)不同濃度葡萄糖溶液，時間與水位上升高度關係圖

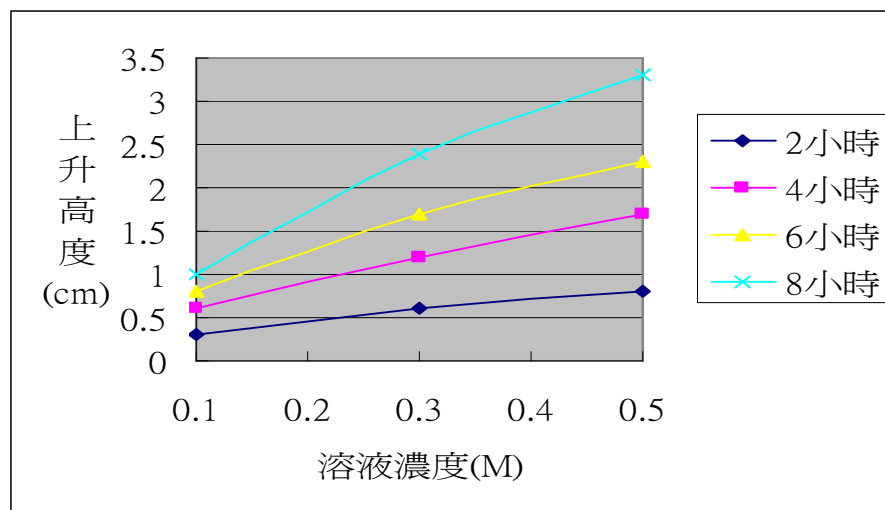


4.

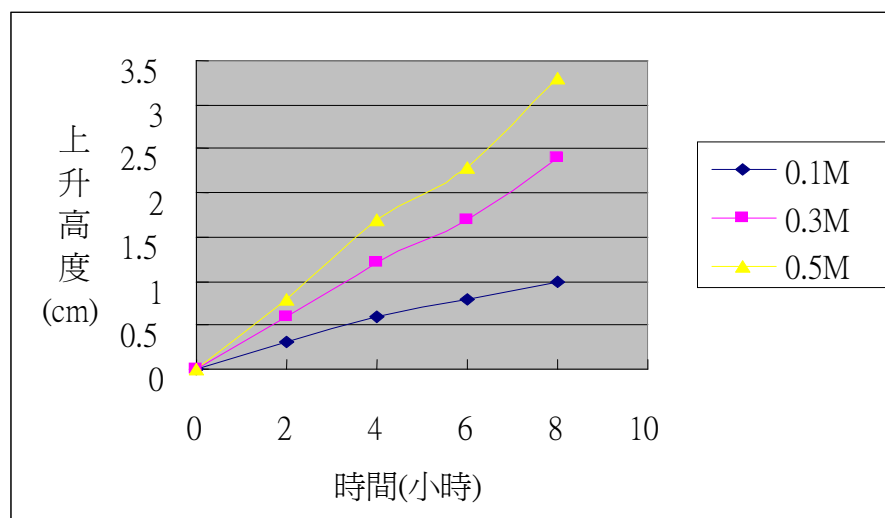
表(六)醋酸溶液水位上升高度數據

溶液濃度 \ 時間 上升高度	時間			
	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時
0.1M	0.30cm	0.60cm	0.80cm	1.00cm
0.3M	0.60cm	1.20cm	1.70cm	2.40cm
0.5M	0.80cm	1.70cm	2.30cm	3.30cm

圖(八)不同時間，醋酸溶液濃度與水位上升高度關係圖



圖(九)不同濃度醋酸溶液，時間與水位上升高度關係圖

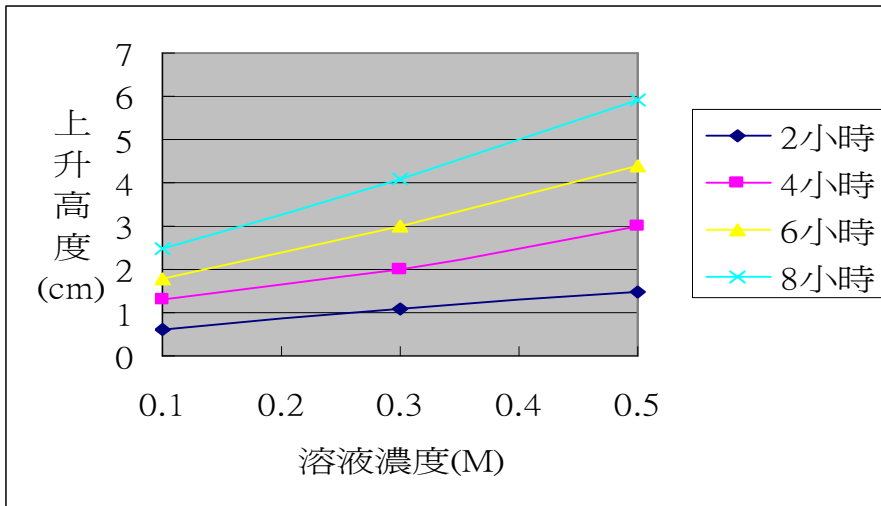


5.

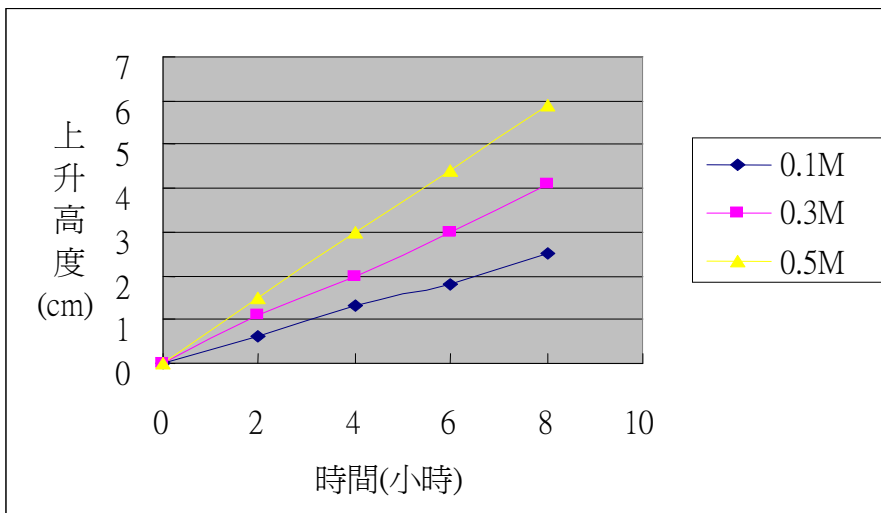
表(七)鹽酸溶液水位上升高度數據

溶液濃度	時間			
	2 小時	4 小時	6 小時	8 小時
0.1M	0.60cm	1.30cm	1.80cm	2.50cm
0.3M	1.10cm	2.00cm	3.00cm	4.10cm
0.5M	1.50cm	3.00cm	4.40cm	5.90cm

圖(十)不同時間，鹽酸溶液濃度與水位上升高度關係圖

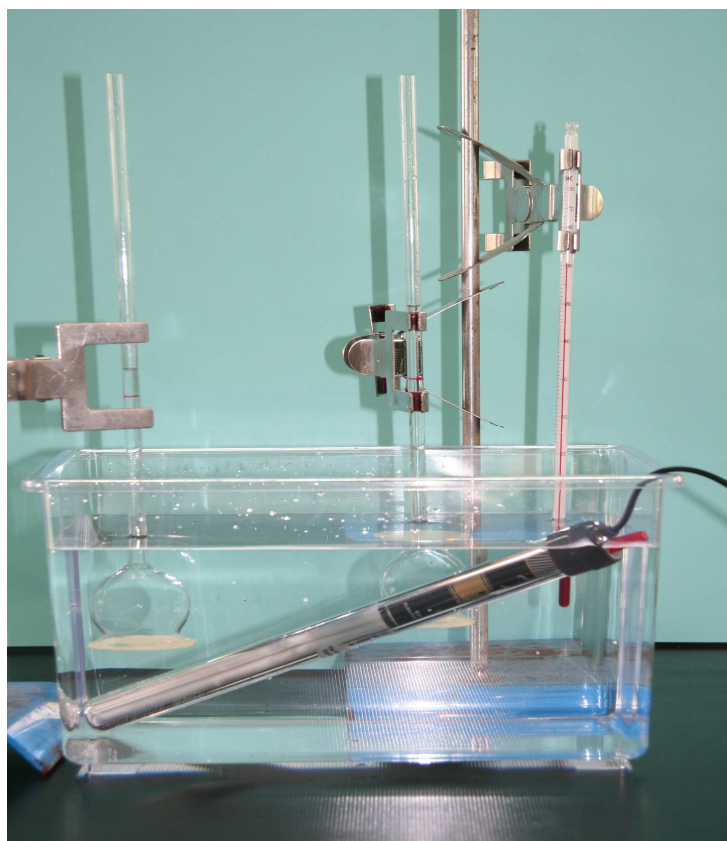


圖(十一)不同濃度鹽酸溶液，時間與水位上升高度關係圖



實驗二、

- (一) 同實驗一的裝置，在水槽中放置水族箱加熱器，溫度調至 25°C，放入分別裝濃度 2M 的食鹽溶液和 2M 濃度葡萄糖溶液的二個薊頭漏斗，以滴定管架固定，然後浸入水槽中，二個都浸入水面下 6cm 處，用麥克筆在漏斗頸做水位記號，並以溫度計觀察水溫，每小時記錄水位上升高度，如照片(二) 所示。
- (二) 將水槽中的水族箱加熱器，溫度分別調至 30°C 與 35°C，重複上述實驗。
- (三) 將水槽中的水族箱加熱器溫度調至 25°C，分別以 1M 硝酸鈣水溶液、1M 硝酸鎂水溶液、1M 硝酸鈉水溶液、1M 硫酸鋅水溶液、1M 氯化鈉水溶液、1M 氯化鉀水溶液、1M 氯化鈣水溶液重複上述實驗，測量兩小時後的水位上升高度。



照片(二)

結果: (一)因爲水族箱加熱器的溫控範圍在17°C~35°C，溫度變化範圍不大，所以改用濃度 2M的溶液，較能明顯觀察到水位上升差異。

表(八) 25°C 水位上升高度數據

2M 溶液	時間	1 小時	2 小時	3 小時
	上升高度			
氯化鈉水溶液		3.20cm	6.50cm	9.10cm
葡萄糖水溶液		1.20cm	2.80cm	4.30cm

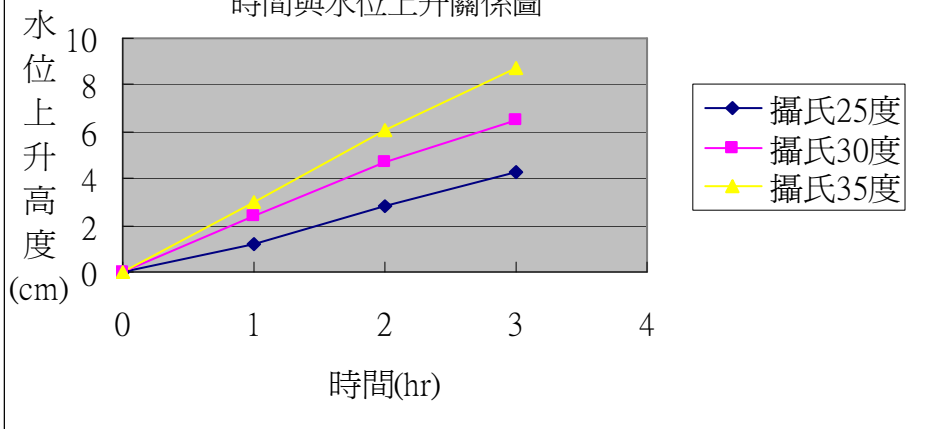
表(九) 30°C 水位上升高度數據

2M 溶液	時間	1 小時	2 小時	3 小時
	上升高度			
氯化鈉水溶液		4.10cm	7.80cm	11.10cm
葡萄糖水溶液		2.40cm	3.60cm	5.10cm

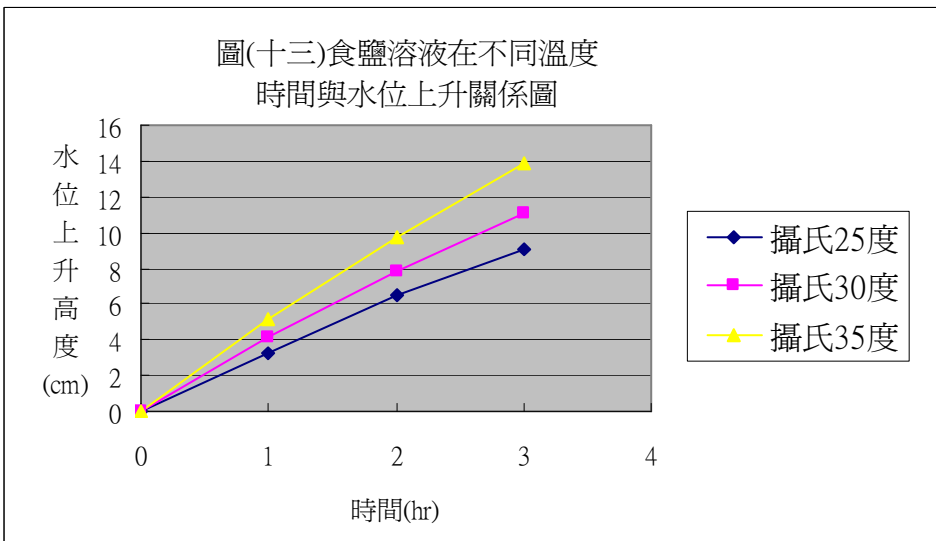
表(十) 35°C 水位上升高度數據

2M 溶液	時間	1 小時	2 小時	3 小時
	上升高度			
氯化鈉水溶液		5.10cm	9.70cm	13.90cm
葡萄糖水溶液		3.00cm	6.10cm	8.70cm

圖(十二) 蔗糖溶液在不同溫度
時間與水位上升關係圖



圖(十三) 食鹽溶液在不同溫度
時間與水位上升關係圖



(三) 水溫 25°C

表(十一)Ro 膜、兩小時、各溶液水位上升高度數據

1M 水溶液	硝酸鈉	硝酸鈣	硝酸鎂	硫酸鋅	氯化鈣	氯化鉀	氯化鈉
上升高度	2.90cm	5.90cm	8.80 cm	9.10 cm	6.70 cm	3.80cm	4.10cm

實驗三、

- (一)、取大小約相同新鮮雞蛋，再較尖的一端，用十字型起子打一直徑約 1 cm 的小洞，倒掉蛋白及蛋黃，用水沖洗內部，浸入稀鹽酸，直到蛋膜從蛋殼脫落，用清水清洗蛋膜，以衛生紙擦拭，然後於打洞處以 AB 膠黏上直徑 0.5cm 的細玻璃管(細玻璃管插入蛋膜少許即可)。
- (二)、取三個上述蛋膜，分別裝入 1M 氯化鈉水溶液、氯化鉀水溶液、氯化氫水溶液各 45mL，如照片(三)，並將它們分別置於 250mL 燒杯中，加水至 200mL 處，用試管夾固定，用麥克筆在細玻璃管做水位記號，每 20 分鐘 記錄水位上升高度。如照片(四)所示。
- (三)、取上述蛋膜一個裝入 1M 硝酸鈉水溶液，重複上述實驗，30 分鐘後記錄水位上升高度。倒出溶液並清洗裝置，同一個蛋膜分別以 1M 硝酸鈣水溶液、1M 硝酸鎂水溶液、1M 硫酸鋅水溶液、1M 氯化鈉水溶液、1M 氯化鈣水溶液及 2M 氯化鈉水溶液重複上述實驗。
- (四)、用不同蛋膜，重複上述(三)實驗兩次。



照片(三)



照片(四)

結果: (一)水溫約 20°C

表(十二)蛋膜、不同溶液的水位上升高度數據

1M 溶液	時間		
	20 分	40 分	60 分
氯化鈉水溶液	2.10cm	3.00cm	3.50cm
氯化鉀水溶液	2.00cm	2.60cm	3.00cm
氯化氫水溶液	0.60cm	1.20cm	1.60cm

由上面蛋膜的實驗數據發現，各種不同溶液在 20 分鐘後，滲透速率(高度/時間)差距不大，所以我們下面的實驗以 30 分鐘的水位上升高度，來比較各溶液滲透的差異。

(二)

表(十三)蛋膜、30 分鐘時，各溶液水位上升高度數據

實驗次數	1M 溶液						
	硝酸鈉水溶液	氯化鉀水溶液	氯化鈉水溶液	硝酸鈣水溶液	氯化鈣水溶液	硝酸鎂水溶液	硫酸鋅水溶液
第一次	1.20cm	2.40cm	2.70cm	5.60cm	7.40cm	7.80cm	9.20cm
第二次	1.20cm	2.40cm	2.80cm	5.90cm	7.40cm	7.90cm	9.60cm
第三次	0.90cm	1.70 cm	2.40cm	5.10cm	6.10cm	6.60cm	8.20cm
平均	1.10cm	2.17 cm	2.63cm	5.53cm	6.97cm	7.43cm	9.00cm

表(十四) 30分鐘時，2M溶液水位上升高度數據

實驗次數	溶液名稱 上升高度	2M 氯化鈉 水溶液
第一 次		6.30cm
第 二 次		6.50cm
第 三 次		5.60cm
平 均		6.13cm

實驗四、生活上的應用

- (一) 準備 100ml 燒杯 6 個，分別在燒杯內各加入，濃度 0%、5%、10%、15%、20%、25% 等六種不同濃度的食鹽溶液 100ml。
- (二) 取直徑約相同的小黃瓜，去除兩端，再切成長 3 cm 的圓柱體，迅速以電子秤稱重後，分別放入各種溶液中，浸 2 小時後，取出用濾紙吸乾附著於表面的溶液，秤其質量，並求出小黃瓜的質量變化。取同的小黃瓜重複
- (三) 以同濃度的蔗糖溶液、葡萄糖溶液重複上述實驗。如照片(五)所示。



照片(五)

結果:

1. 表(十五) 食鹽溶液濃度與重量變化百分比數據

(除浸在濃度 0%外，其餘小黃瓜皆軟化，濃度愈大愈明顯)

表(十五)之1 第一次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	20.44	21.33	+0.89	+4.35%
5%	20.71	19.48	-1.23	-5.94%
10%	20.81	19.53	-1.28	-6.15%
15%	20.50	19.13	-1.37	-6.68%
20%	20.78	19.13	-1.65	-7.94%
25%	20.54	18.65	-1.89	-9.20%

表(十五)之2 第二次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	15.63	16.30	+0.67	+4.29%
5%	15.05	14.16	-0.89	-5.91%
10%	15.18	14.27	-0.91	-5.99%
15%	15.27	14.34	-0.93	-6.09%
20%	15.43	14.39	-1.04	-6.74%
25%	15.48	14.19	-1.29	-8.33%

表(十五)之3 第三次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	13.05	13.65	+0.60	+4.60%
5%	13.98	13.24	-0.74	-5.29%
10%	13.67	12.83	-0.84	-6.14%
15%	13.67	12.76	-0.91	-6.66%
20%	13.82	12.74	-1.08	-7.81%
25%	13.73	12.36	-1.37	-9.98%

表(十五)之4

食鹽溶液的三次實驗數據與平均值

實驗次數 濃度 重量變化百分比	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	平均值
0%	+4.35%	+4.29%	+4.60%	+4.41%
5%	-5.94%	-5.91%	-5.29%	-5.71%
10%	-6.15%	-5.99%	-6.14%	-6.09%
15%	-6.68%	-6.09%	-6.66%	-6.48%
20%	-7.94%	-6.74%	-7.81%	-7.50%
25%	-9.20%	-8.33%	-9.98%	-9.17%

2. 表(十六) 蔗糖溶液濃度與重量變化百分比數據

表(十六)之1

第一次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	21.86	22.77	+0.91	+4.16%
5%	21.63	21.83	+0.20	+0.92%
10%	21.98	21.79	-0.19	-0.86%
15%	21.41	20.46	-0.95	-4.44%
20%	21.98	20.72	-1.26	-5.73%
25%	21.88	20.30	-1.58	-7.22%

表(十六)之2

第二次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	17.30	18.09	+0.79	+4.57%
5%	17.21	17.40	+0.19	+1.10%
10%	17.13	16.86	-0.27	-1.58%
15%	17.29	16.54	-0.75	-4.34%
20%	17.26	16.34	-0.92	-5.33%
25%	17.41	16.28	-1.13	-6.49%

表(十六)之3

第三次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	13.60	14.23	+0.63	+4.63%
5%	13.59	13.74	+0.15	+1.10%
10%	13.14	12.89	-0.25	-1.90%
15%	13.58	12.96	-0.62	-4.57%
20%	13.63	12.87	-0.76	-5.58%
25%	13.46	12.51	-0.95	-7.06%

表(十六)之4

蔗糖溶液的三次實驗數據與平均值

實驗次數 濃度 重量變化百分比	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	平均值
0%	+4.16%	+4.57%	+4.63%	+4.45%
5%	+0.92%	+1.10%	+1.10%	+1.04%
10%	-0.86%	-1.58%	-1.90%	-1.45%
15%	-4.44%	-4.34%	-4.57%	-4.45%
20%	-5.73%	-5.33%	-5.58%	-5.55%
25%	-7.22%	-6.49%	-7.06%	-6.92%

3. 表(十七) 葡萄糖溶液濃度與重量變化百分比數據

表(十七)之1

第一次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	20.32	21.14	+0.82	+4.03%
5%	20.89	21.03	+0.14	+0.67%
10%	20.13	19.15	-0.98	-4.87%
15%	20.21	18.99	-1.22	-6.04%
20%	20.59	19.08	-1.51	-7.33%
25%	20.76	18.96	-1.80	-8.67%

表(十七)之2

第二次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	17.58	18.31	+0.73	+4.15%
5%	16.51	16.67	+0.16	+0.97%
10%	16.48	15.75	-0.73	-4.43%
15%	17.42	16.45	-0.97	-5.57%
20%	17.19	16.07	-1.12	-6.52%
25%	17.47	16.05	-1.42	-8.13%

表(十七)之3

第三次實驗數據

濃度	初重(g)	末重(g)	重量變化(g)	重量變化百分比
0%	13.42	13.98	+0.56	+4.17%
5%	13.57	13.69	+0.12	+0.88%
10%	13.67	12.95	-0.72	-5.27%
15%	13.04	12.15	-0.89	-6.83%
20%	13.93	12.86	-1.07	-7.68%
25%	13.48	12.34	-1.14	-8.46%

表(十七)之4

葡萄糖溶液的三次實驗數據與平均值

實驗次數 濃度 重量變化百分比	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	平均值
0%	+4.03%	+4.15%	+4.17%	+4.12%
5%	+0.67%	+0.97%	+0.88%	+0.84%
10%	-4.87%	-4.43%	-5.27%	-4.86%
15%	-6.04%	-5.57%	-6.83%	-6.15%
20%	-7.33%	-6.52%	-7.68%	-7.18%
25%	-8.67%	-8.13%	-8.46%	-8.42%

伍、研究與討論

一、滲透是因薊頭漏斗(蛋膜)內水分子濃度較低，所以水從水分子濃度高的外部不斷地由滲透進入漏斗(蛋膜)內，漏斗頸上(細玻璃管)的水位不斷上升，直到水位不再升高，此時RO膜(蛋膜)所形成內外壓力差，就叫滲透壓。本實驗測量時間不夠長，所以用滲透速率來比較各溶液滲透的差異。

二、由步驟(一)實驗結果發現，不管是電解質溶液或非電解質溶液，薊頭漏斗管內外濃度相差愈大，滲透速率愈大。因濃度愈大，溶液中所含離子數或分子愈多，愈能與水結合，所以滲透速率愈大。

三、步驟(一)實驗結果，同濃度的溶液滲透速率

食鹽溶液 > 葡萄糖溶液 > 蔗糖溶液 > 鹽酸溶液 > 醋酸溶液

氯化鈉水溶液 > 氯化鉀水溶液 > 氯化氫水溶液

我們可以把這些溶液分為電解質溶液和非電解質溶液來討論：

(一) 氯化鈉水溶液解離為 Na^+ 離子、 Cl^- 離子，氯化氫水溶液解離為 H^+ 離子、 Cl^- 離子，因同濃度、同體積，所含 Cl^- 離子莫耳數相同，滲透速率不同是 Na^+ 、 H^+ 與 H_2O 結合能力不同所造成。實驗結果：滲透速率 氯化鈉水溶液 > 氯化氫水溶液，表示 Na^+ 比 H^+ 易與 H_2O 結合，所以薊頭漏斗外的水較易滲透進入漏斗內，漏斗頸水位上升較快。同理，滲透速率 氯化鈉水溶液 > 氯化鉀水溶液，表示 Na^+ 比 K^+ 易與 H_2O 結合，(表十二)的實驗結果： H^+ 滲透速率特別小，推測因氯化氫水溶液中， H^+ 已與水結合形成 H_3O^+ ，而 H_3O^+ 水合的能力較 K^+ 、 Na^+ 小。

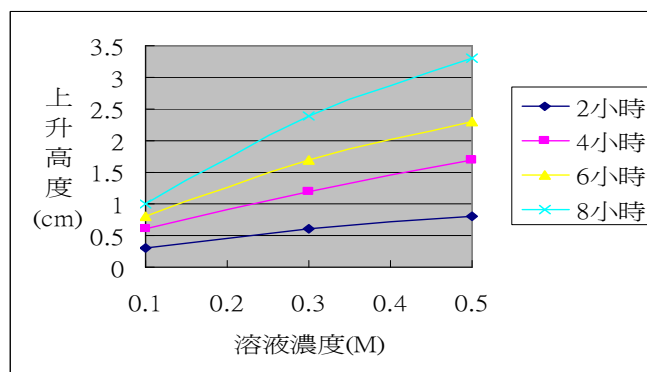
※與參考資料相符，離子半徑愈小，水合能力愈強，如附表(一)、附表(二)

(二) 同樣的比較鹽酸溶液與醋酸溶液，鹽酸溶液解離出 H^+ 、 Cl^- ，醋酸溶液解離出 H^+ 、 CH_3COO^- 雖然都解離出 H^+ ，但醋酸溶液是弱電解質，只有部分解離，而且 Cl^- 、 CH_3COO^- 與 H_2O 結合的能力也不同，實驗結果：

鹽酸溶液滲透速率 > 醋酸溶液滲透速率

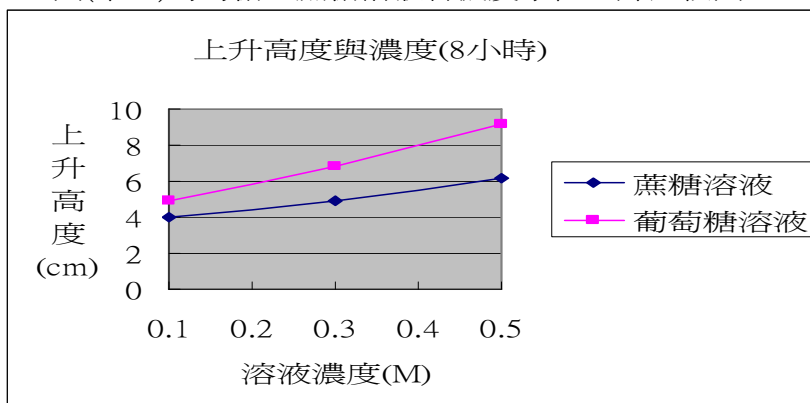
此外、我們觀察到所有濃度與上升高度關係圖形中，只有醋酸溶液的圖形凹口向下(如圖八)，推測是因濃度變大導致醋酸的解離度下降。

圖(八)不同時間，醋酸溶液濃度與水位上升高度關係圖



(三) 葡萄糖分子與蔗糖分子雖不會解離，但兩種分子都易與水分子結合，所以濃度愈大，滲透速率愈快，至於滲透速率 葡萄糖溶液 > 蔗糖溶液，且濃度愈大，滲透速率相差愈多(如圖十三)，是因蔗糖分子的分子量較大，使得蔗糖溶液水柱上升速率較慢，隨著濃度增大，分子愈多，分子的分子量大小產生的影響就更顯著。

圖(十三)葡萄糖、蔗糖溶液各濃度水位上升比較圖



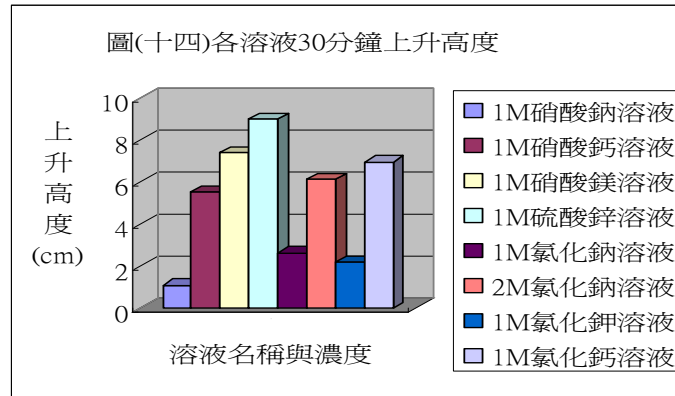
(四) 步驟(二)實驗結果，食鹽溶液與葡萄糖溶液的滲透速率，都隨著溫度升高而變快，因溫度升高粒子運動愈激烈，所以滲透速率變快。

綜合上述，影響滲透速率的因素有濃度，解離度，離子水合能力，分子的分子量大小、溫度。

四、表(十一)~ 表(十四)是分別以RO膜和蛋膜，對幾種強電解質溶液的滲透速率測量，所得實驗結果RO膜和蛋膜滲透速率都是

1M硫酸鋅水溶液 > 1M硝酸鎂水溶液 > 1M氯化鈣水溶液 > 2M氯化鈉水溶液
> 1M硝酸鈣水溶液 > 1M氯化鈉水溶液 > 1M氯化鉀水溶液 > 1M硝酸鈉水溶液

五、步驟(三)之三的實驗結果，如圖(十四)



(一) **同離子數、同電荷數**溶液中，強電解質氯化鈉水溶液、硝酸鈉水溶液中，所含 Na^+ 離子莫耳數相同，溶液中負離子數相同，所帶電荷也相同，滲透速率不同是 Cl^- 、 NO_3^- 與水結合的能力不同所造成。

實驗結果滲透速率 氯化鈉水溶液 > 硝酸鈉水溶液

表示離子水合能力 $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$

就 Cl^- 與 NO_3^- 來說，兩者電荷數相同， Cl^- 離子半徑 < NO_3^- 離子半徑

所以 Cl^- 的離子電荷密度 > NO_3^- 的離子電荷密度，因此我們可以說離子的電荷密度愈大水合能力愈強，滲透速率愈快。

※ (參考資料(六)，化學大辭典中查閱得知，離子的帶電量以 q 表示，半徑以 R 表示，則離子電荷密度即為 q/R)

同理實驗結果滲透速率 硝酸鎂水溶液 > 硝酸鈣水溶液

Mg^{2+} 與 Ca^{2+} 兩者電荷數相同， Mg^{2+} 離子半徑 < Ca^{2+} 離子半徑

所以 Mg^{2+} 的電荷密度 > Ca^{2+} 的離子電荷密度

因此離子水合能力 $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ，滲透速率 $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ，與實驗結果相符。

(二) **同離子數、不同電荷數**溶液中，強電解質氯化鈉水溶液、硫酸鋅水溶液中，溶液中離子數相同，但所帶電荷不相同，實驗結果滲透速率 硫酸鋅水溶液 > 氯化鈉水溶液
推測可能是 Zn^{2+} 、 SO_4^{2-} 帶兩個電荷，而 Na^+ 、 Cl^- 只帶一個電荷，所以 Zn^{2+} 、 SO_4^{2-} 對水分子吸引力大於 Na^+ 、 Cl^- 對水分子吸引力，造成滲透速率不同。

表(十八)由參考資料所得離子半徑，計算出離子電荷密度

離子	離子半徑(nm)	離子電荷密度(電荷/nm)	離子	離子半徑(nm)	離子電荷密度(電荷/nm)
Na ⁺	0.095	10.5263	Zn ²⁺	0.074	27.0270
K ⁺	0.133	7.5188	Cl ⁻	0.181	5.5249
Mg ²⁺	0.065	30.7692	NO ₃ ⁻	0.264	3.7879
Ca ²⁺	0.099	20.2020	SO ₄ ²⁻	0.244	8.1967

就化合物離子電荷密度來說，可計算出硫酸鋅水溶液：Zn²⁺離子電荷密度+SO₄²⁻離子電荷密度=35.2237 > 氯化鈉水溶液：Na⁺離子電荷密度+Cl⁻離子電荷密度=16.0511 與實驗結果相符。

(三) **總電量相同，但離子數、電荷數不同**溶液中，實驗結果滲透速率

1M硫酸鋅水溶液 > 1M硝酸鎂水溶液 > 1M氯化鈣水溶液 > 2M氯化鈉水溶液

計算化合物離子電荷密度(計算過程：正離子數×正離子電荷密度+負離子數×負離子電荷密度)，其中1M ZnSO₄=35.2237 < 1M Mg(NO₃)₂=38.3450

2M NaCl=32.1024 < 1M CaCl₂=31.2517

計算數據與實驗結果不符。

得知以離子電荷密度來比較離子水合能力，只適用在同離子數溶液。

離子數不同時，所含離子數為

1M硫酸鋅水溶液 < 1M氯化鈣水溶液 < 2M氯化鈉水溶液

但硫酸鋅水溶液中正、負離子都帶兩個電荷，氯化鈣水溶液中正離子帶兩個電荷，負離子帶一個電荷，氯化鈉水溶液中正、負離子都帶一個電荷，實驗結果表示，一個帶兩個電荷的離子對水分子吸引力，大於兩個帶一個電荷的離子對水分子吸引力。

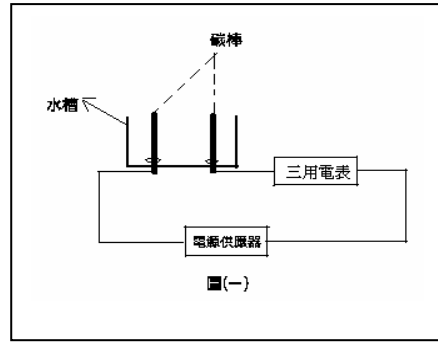
綜合上述，強電解質離子溶液中，離子電荷較大者，對水分子吸引力大，滲透速率愈快。同電荷之離子，離子半徑愈小者，水合能力愈強，滲透速率愈快。同離子數溶液，可直接以離子電荷密度來判斷離子水合能力。

(四) 討論(三)中提到同離子數溶液，可用離子電荷密度來比較離子水合能力，

計算化合物離子電荷密度 1M KCl=13.0436 < 1M NaNO₃=14.31412，但實驗結果我們發現滲透速率 KCl > NaNO₃，與計算數據不符。於是我們做了有兩溶液解離度(導電度)的實驗，如表(十九)所示，結果我們發現1M NaNO₃的解離度比1M KCl要來的小很多(由電流值判斷)。從滲透壓(水柱高)的公式 $\pi = i \times C_M \times R \times T$ 可知在同溫、同濃度的狀況下，總離子數是唯一的變因。所以實驗結果會得到 KCl > NaNO₃應是因解離度相差太大所致。

表(十九)

實驗裝置如右圖(一)所示，碳棒直徑 1cm，兩碳棒距離 4cm，配製 1M 氯化鈉水溶液 400 ml 倒入水槽中，此時碳棒在溶液中的高度 3.5cm，打開電源供應器，電壓調至 7V，測量電流。



結果：

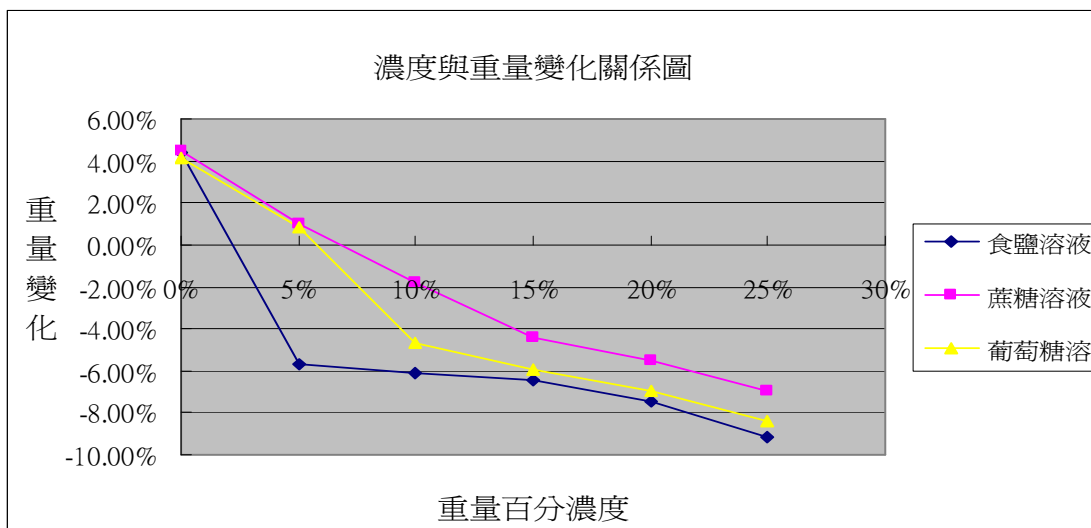
溶液	水溫	電流 (mA)	電阻 (Ω)
1M KCl	19~20°C	1280	5.47
1M NaNO ₃	19~20°C	840	8.33

(本實驗除 NaNO₃ 外，其他藥品經量測後電阻值均在 5Ω~6Ω 間)

六、步驟(四)的實驗結果，如圖(十五)

- (一) 蔬果的醃漬就是利用滲透原理，以較高濃度的食鹽溶液、蔗糖溶液等添加物來延長食品的保存期。由步驟(三)的實驗結果發現：相同重量百分濃度的食鹽溶液對小黃瓜的滲透效果較蔗糖溶液、葡萄糖溶液好，所以就單一添加物的醃漬食鹽比蔗糖、葡萄糖有較好的效果。
- (二) 實驗發現濃度5%到25%的食鹽溶液對小黃瓜的滲透能力相差不大，而且食鹽過量攝取容易引起高血壓等症狀，因此低濃度食鹽醃漬小黃瓜時，濃度以5%較為適當。
- (三) 實驗發現，同重量百分濃度的葡萄糖溶液使小黃瓜滲透的效果大於蔗糖溶液，且葡萄糖溶液滲透速率較高，可節省糖漬時間，所以糖漬食物應選用葡萄糖較佳。

圖(十五)



陸、結論

- 一、溶液濃度影響滲透作用，半透膜內外濃度相差愈大，滲透速率愈大。因膜內濃度愈大，表示溶液中所含粒子數多，能與水結合的粒子較多，所以滲透速率愈大。
- 二、同離子數電解質溶液中，離子所帶電荷數愈大，對水分子吸引力愈大，滲透速率也愈大。同電荷之離子，離子半徑愈小者，水合能力愈強，滲透速率愈快。同離子數溶液，可直接以離子電荷密度來判斷離子水合能力。
- 三、離子數不同電解質溶液中，實驗發現一個帶兩個電荷的離子對水分子吸引力，大於兩個帶一個電荷的離子對水分子吸引力。
- 四、影響滲透速率的因素有濃度、解離度、離子水合能力、分子的分子量大小、溫度等。食物的醃漬就是滲透作用的應用。

柒、參考資料及其他

- 一、國中自然康軒版第一冊第二章、翰林版第四冊第三章。
- 二、大學普通化學 Keenan.Wood.Kleinfelter著 陶雨台 譯
- 三、電解質水溶液之性質碩士論文 郭春億 撰
- 四、何謂RO逆滲透(ReverseOsmosis) 美國水質協會WQA
- 五、果蔬加工 賴滋漢 柯文慶編著
- 六、英中日化學大辭典修訂版 林敬二 著
- 七、

Ion	Mass (atomic mass units)	Charge	Ionic radius (picometers)	Hydrated Radius (picometers)
Sulfate	96.06	-2	244	379

取自：Nonthermal Technologies for Salinity Removal

作者：Christopher J. Gabelich

八、

原子序數	元素名稱	元素符號	離子半徑 pm
30	鋅	Zn	+2 74

取自：維基百科

["http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A6%BB%E5%AD%90%E5%8D%8A%E5%BE%84](http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A6%BB%E5%AD%90%E5%8D%8A%E5%BE%84)

九、下面附表(一)、附表(二)

取自：奈米粉體的分散及表面改性

高濂 孫靜 劉陽橋編著

附表(一)

離子	離子半徑 (nm)	水合半徑 (nm)
H ₃ O ⁺	—	0.28
Li ⁺	0.068	0.38
Na ⁺	0.095	0.36
K ⁺	0.133	0.33

附表(二)

離子	離子半徑 (nm)	水合半徑 (nm)
Cs ⁺	0.169	0.33
Be ²⁺	0.031	0.46
Mg ²⁺	0.065	0.43
Ca ²⁺	0.099	0.41
Al ³⁺	0.050	0.48
OH ⁻	0.176	0.30
F ⁻	0.136	0.35
Cl ⁻	0.181	0.33
Br ⁻	0.195	0.33
I ⁻	0.216	0.33
NO ₃ ⁻	0.264	0.34
N(CH ₃) ₄ ⁺	0.347	0.37

【評語】 030215

雖是滲透壓的實驗，但作者嘗試各種參數的變化，體驗滲透壓公式的真實性與可能之誤差，求知精神可嘉。若朝向速度或速率的變化方向，則實驗的創新性更佳。