

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

第三名

030101

綠豆湯的奧秘---糖水、食鹽水的終極密碼

學校名稱：桃園縣私立六和高級中學(附設國中)

作者： 國二 徐紹樑 國二 洪秉毅 國二 林宜弘 國二 許志騰	指導老師： 王集均 黃雅雯
---	-----------------------------

關鍵詞：煮綠豆、糖水物性、食鹽水物性

壹、摘要

本研究探討影響綠豆湯煮熟所需時間的因素，包括比熱實驗、沸點實驗、綠豆泡水溶液長度變化實驗、滲透實驗及煮綠豆實驗，研究結果可以合理解釋煮綠豆湯前先泡水及後加糖的原因，過程中也得到糖水、食鹽水及海水的各種相關數據。同時為了更瞭解水溶液的結冰狀況，也做了凝固點實驗及結冰實驗。

貳、研究動機

觀察母親煮綠豆湯時，經常是先將綠豆泡水且在煮的過程中最後才加糖，問母親原因也不甚瞭解。為了一探究竟，於是我們利用國中所學的知識，例如：比熱、沸點、膨脹、滲透，設計了一系列可以解釋上述問題的實驗。同時，我們也想對糖水、食鹽水、海水結冰狀況更瞭解，所以也設計相關實驗。

參、研究目的

一、比熱實驗

- (一)找出最佳的比熱計算方式。
- (二)瞭解溶液比熱與重量百分比關係。
- (三)瞭解不同溶液比熱變化。
- (四)解釋煮綠豆湯先後加糖的結果。

二、沸點實驗

- (一)瞭解溶液沸點與重量百分比關係。
- (二)瞭解不同溶液沸點變化。

三、綠豆泡水溶液長度變化實驗

- (一)瞭解綠豆泡在不同溶液長度變化。
- (二)瞭解綠豆在不同水溫下，綠豆泡純水的長度變化。
- (三)解釋綠豆泡水的結果。

四、密度實驗：爲了求出滲透壓。

五、滲透實驗

- (一)瞭解溶液滲透壓與重量百分比關係。
- (二)瞭解不同溶液滲透壓變化。
- (三)解釋煮綠豆湯先後加糖的結果。

六、煮綠豆實驗

- (一)瞭解綠豆有無泡水及先後加糖對煮沸時間影響。
- (二)固定糖水濃度，改變糖水質量，瞭解先後加糖對煮沸時間影響。
- (三)固定糖水質量，改變糖水濃度，瞭解先後加糖對煮沸時間影響。

七、凝固點實驗

- (一)瞭解溶液凝固點與重量百分比關係。
- (二)瞭解不同溶液凝固點變化。

八、結冰實驗

- (一)瞭解水溶液結冰前，上、中、下層溫度變化。
- (二)瞭解結冰過程密度變化。

肆、 研究設備及器材

一、 儀器：

電子秤
加熱磁石攪拌器
電子溫度計
冰箱

二、 器材：

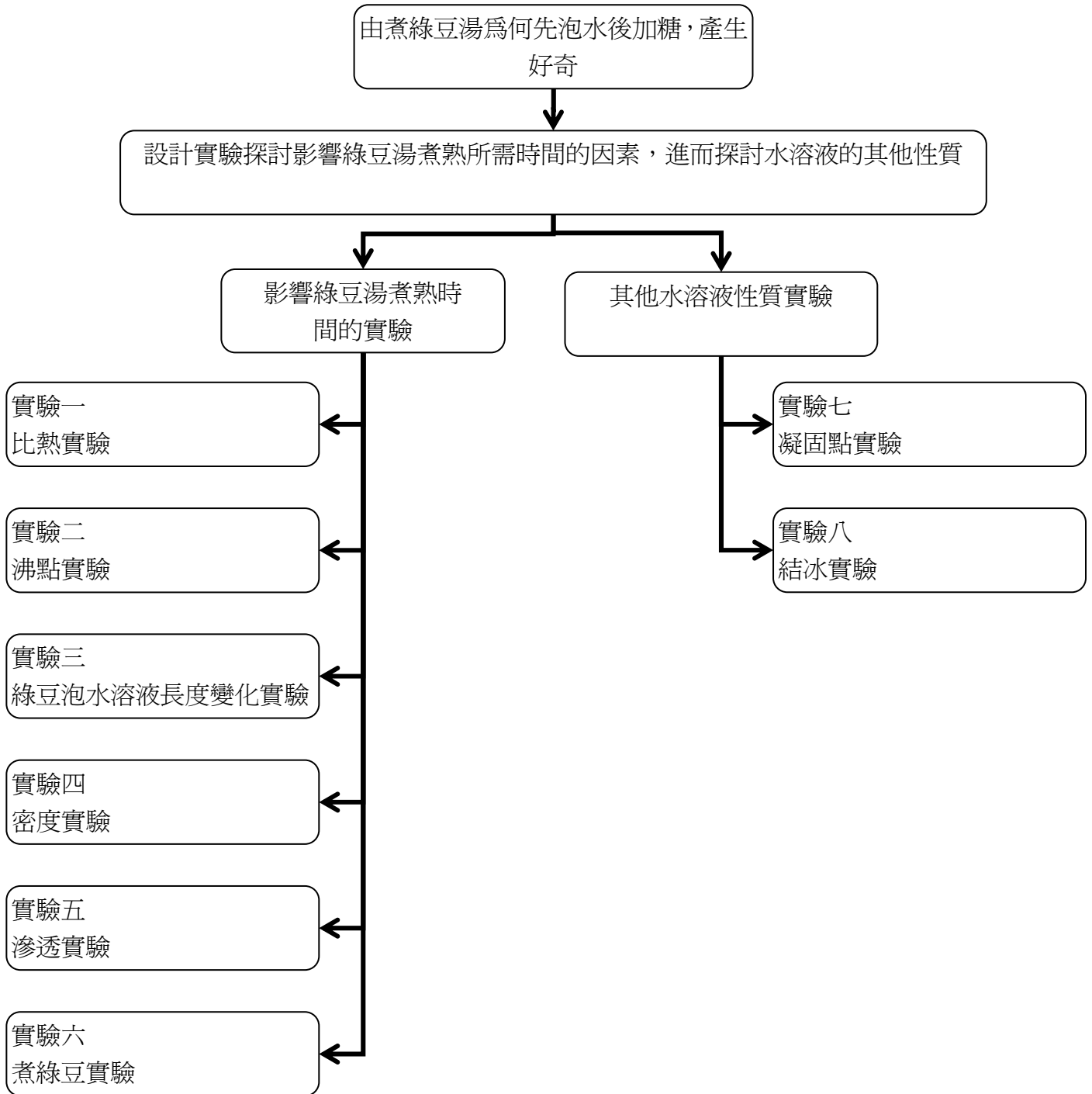
酒精燈
燒杯
玻璃棒
刮勺
滴定管架
磁石
PE 泡棉
玻璃纖維耐熱帶
冷凝管
薊頭漏斗
圓底燒瓶
試管
鐵絲
塑膠盤
玻璃紙
橡皮筋
游標卡尺
碼錶
蒸發皿

三、 藥品：

食鹽：臺鹽精鹽(NaCl 99.5%以上(乾基)，碘酸鉀 20~35ppm)
糖：台糖特號砂白(天然蔗糖，純度 99.7%以上)
純水
綠豆
冰塊
海水(由永安漁港取得)

伍、研究過程或方法

一、思考流程



二、研究原理與實驗步驟

(一) 比熱實驗

1.原理

$H = M \cdot S \cdot \Delta T = R \cdot t$ 其中 H: 加熱盤提供熱量(卡), M: 溶液或水的質量(克), S: 溶液或水的比熱(卡/克 $^{\circ}\text{C}$), ΔT : 加溫過程的前後溫度差, R: 加熱盤供熱速率(卡/秒), t: 加熱時間(秒)

2.實驗步驟: (裝置如圖 5-1)



圖 5-1 比熱實驗裝置

(1)燒杯未包絕熱材, 不考慮燒杯吸熱。

- ①在固定供熱速率下, 開加熱盤熱機至少 10 分鐘。
- ②將 200 克的純水加入燒杯(燒杯未包絕熱材), 杯內置入電子溫度計, 於加熱盤上加熱。
- ③記錄初溫, 每隔 30 秒記錄溫度一次, 直到 300 秒結束, 計算出 ΔT 。
- ④計算加熱盤的供熱速率(假設水的 $S=1$ 卡/克 $^{\circ}\text{C}$)

$$H = M \cdot S \cdot \Delta T = R \cdot t, \quad R = \frac{M \cdot S \cdot \Delta T}{t} = \frac{200 \times 1 \times \Delta T}{300} = \frac{2\Delta T}{3}$$

- ⑤將純水 200 克改為不同濃度的 200g 糖水或鹽水, 混合均勻後, 重覆步驟 ②③, 溫差為 $\Delta T'$ 。

⑥計算溶液的比熱

$$H = M \cdot S \cdot \Delta T' = R \cdot t, \quad S = \frac{R \cdot T}{M \cdot \Delta T'} = \frac{R \cdot 300}{200 \cdot \Delta T'} = \frac{3R}{2\Delta T'}$$

(2)燒杯未包絕熱材, 考慮燒杯吸熱

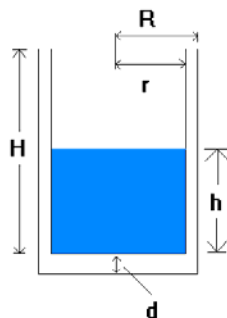


圖 5-2 燒杯相關數據

①以游標卡尺及天平量出下列燒杯數據: (如圖 5-2)

$H=9.338\text{cm}$, $R=3.460\text{cm}$, $r=3.229$, $d=0.162\text{cm}$, 空燒杯質量
 $M=112.6\text{g}$

h(cm)	純水	糖水				食鹽水			
	0%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
	5.638	5.452	5.424	5.236	4.882	5.386	5.202	5.052	4.838

②重覆步驟(1)①②③

③計算加熱盤的供熱速率(假設水的 $S=1$ 卡/克 $^{\circ}\text{C}$)

$$\begin{aligned} \text{燒杯的玻璃體積 } V &= (\pi R^2 - \pi r^2) \cdot H + \pi R^2 \cdot d \\ &= (\pi \cdot 3.460^2 - \pi \cdot 3.229^2) \cdot 9.338 + \pi \cdot 3.460^2 \cdot 0.162 \\ &= 51.422(\text{cm}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{燒杯的玻璃有受熱體積 } V' &= (\pi R^2 - \pi r^2) \cdot h + \pi R^2 \cdot d \\ &= (\pi \cdot 3.460^2 - \pi \cdot 3.229^2) \cdot h + \pi \cdot 3.460^2 \cdot 0.162 \\ &= 4.854h + 6.093 (\text{cm}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{燒杯的玻璃有受熱質量 } M' &= M \times \frac{V'}{V} = \frac{112.6V'}{51.422} \\ &= \frac{112.6(4.854h + 6.093)}{51.422} \\ &= 2.190(4.854h + 6.093) (\text{g}) \end{aligned}$$

M' (g)	純水	糖水				食鹽水			
	0%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
	73.277	71.300	71.002	69.004	65.241	75.098	68.642	67.048	64.773

④計算加熱盤的供熱速率(假設水的 $S=1$ 卡/克 $^{\circ}\text{C}$, 燒杯玻璃的 $S=0.2$ 卡/克 $^{\circ}\text{C}$)

$$\begin{aligned} (M \cdot S \cdot \Delta T)_{\text{水}} + (M' \cdot S \cdot \Delta T)_{\text{燒杯}} &= R \cdot t \\ 200 \cdot 1 \cdot \Delta T + 73.277 \cdot 0.2 \cdot \Delta T &= R \cdot 300 \\ R &= \frac{214.655 \cdot \Delta T}{300} \end{aligned}$$

⑤重覆步驟(1) ⑤

⑥計算溶液比熱

$$\begin{aligned} (M \cdot S \cdot \Delta T)_{\text{溶液}} + (M' \cdot S \cdot \Delta T)_{\text{燒杯}} &= R \cdot t \\ 200 \cdot S \cdot \Delta T' + M' \cdot 0.2 \cdot \Delta T' &= R \cdot 300 \\ S &= \frac{300R - 0.2M'\Delta T'}{200\Delta T'} \end{aligned}$$

(3)燒杯包絕熱材, 不考慮燒杯吸熱

將燒杯外壁上面 4/5 包 PE 泡棉, 下面 1/5 包玻璃纖維耐熱布帶, 其餘步驟同(1)①~⑥

(4)燒杯包絕熱材, 考慮燒杯吸熱

將燒杯外壁上面 4/5 包 PE 泡棉, 下面 1/5 包玻璃纖維耐熱布帶, 其餘步驟同(2)①~⑥

(二)沸點實驗

1.原理

沸點是液體的蒸氣壓等於外界壓力時的溫度。在外界壓力一定時，如 1 大氣壓，向溶劑裡加入非揮發性溶質，由於溶劑的蒸氣壓下降，在該溶劑的正常沸點時，蒸氣壓小於 1 大氣壓，溶液不能沸騰，只有升高溫度(液體的蒸氣壓隨溫度升高而增加)，使溶液的蒸氣壓升高到 1 大氣壓時，才能沸騰，故溶液的沸點高於純溶劑的沸點，而且溶液愈濃，沸點升高也愈大。(如圖 5-3)

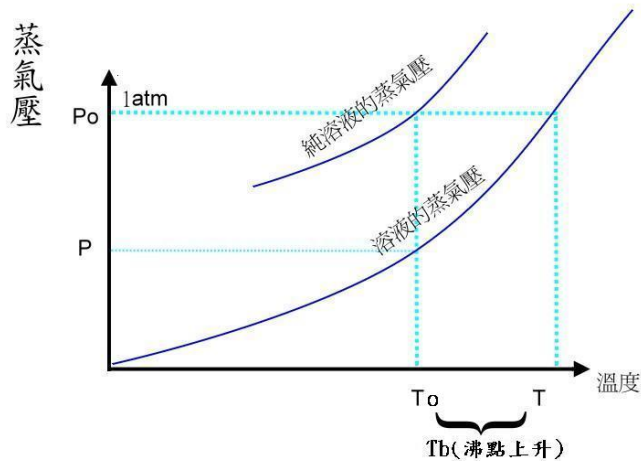


圖 5-3 溶液沸點上升曲線圖

2. 實驗步驟(裝置如圖 5-4)

(1)純水沸點實驗

- ①在 250mL 圓底燒瓶中加入 200g 純水，橡皮塞插入溫度計及冷凝管
- ②冷凝管通冷卻水(下方冷水入口，上方溫水出口)
- ③以酒精燈加熱，蒸氣全部回流入液體中。
- ④50°C 開始計時，並記錄溫度，每 2 分鐘記錄一次。加熱到液體沸騰且溫度在 2 分鐘內不再變化，此時的溫度為純水沸點。

(2)糖水、食鹽水沸點實驗

- ① 200g 純水改為 200g 的各種濃度水溶液，其餘步驟同(1)①~④，此時記錄的溫度為水溶液的沸點。
- ②計算水溶液沸點與純水沸點的差，此值即為沸點上升值。



圖 5-4 沸點實驗裝置

(三)綠豆泡水溶液實驗

1.20°C 下，綠豆泡不同濃度的糖水、食鹽水實驗

實驗步驟：(1)取 3 顆綠豆，以游標尺量出各別的長及寬，算出平均長寬。

(2)將綠豆分別放入 3 杯內裝 20°C 20mL 水溶液燒杯中。

(3)每隔一段時間取出綠豆，測量綠豆的長及寬。直到泡水時間達 200 分鐘，實驗結束。

2.不同水溫下，綠豆泡純水的長度變化實驗

實驗步驟：同上，但(2)改為將綠豆分別投入 3 杯內裝其他溫度的 20mL 純水燒杯中。

(四)密度實驗

1.原理

$$D = \frac{M}{V}$$

D：水溶液密度(g/cm³)

M：水溶液質量(g)

V：水溶液體積(cm³)

2.實驗步驟

以電子天平測量各種溶液質量(M)，以量筒測量各種溶液體積(V)，計算 $\frac{M}{V}$ 即為水溶液密度(g/cm³)。

(五)滲透實驗

1.原理

(1)滲透作用:溶劑由較稀薄的溶液通過半透膜進入較濃溶液的現象。本實驗所採用的半透膜為玻璃紙。

(2)滲透壓:爲了維持溶液與純溶劑之滲透平衡所需之壓力。

滲透壓(P)=滲透高度(h)×溶液密度(D)

2.實驗步驟(裝置如圖 5-5)



圖 5-5 滲透實驗裝置

- (1)將玻璃紙用橡皮筋將薊頭漏斗口包緊。
- (2)以滴管吸取水溶液由薊頭漏斗尖端處滴入適當高度，並做記號 1。
- (3)將薊頭漏斗置入裝水的燒杯中，並調整燒杯中的水面與該號 1 等高。
- (4)靜置一段時間，當液面不再上升，做記號 2。
- (5)計算記號 1 與記號 2 間的距離 h 。
- (6)以 $P=h \times D$ ，算出滲透壓。

(六)煮綠豆實驗

1.綠豆泡水、未泡水，先加糖、後加糖煮沸實驗

(1)泡水先加糖

- ①秤取綠豆 50g、糖（蔗糖）50g、純水 450g(糖水濃度 10%)。
- ②將綠豆泡在 450g 水中 80 分鐘。然後加入糖，再以加熱器加熱至溶液煮沸並記錄沸騰時間，再繼續加熱至 60 分鐘，觀察綠豆外觀變化情形。

(2)不泡水先加糖

將綠豆、水、糖同時加入，再以加熱器加熱至沸騰並記錄沸騰時間，再繼續加熱至 60 分鐘，觀察綠豆外觀之變化情形。

(3)泡水後加糖

將綠豆泡在 450g 水中 80 分鐘後，再以加熱器加熱至溶液煮沸並記錄沸騰時間，再繼續加熱至 60 分鐘，再加入糖並觀察綠豆外觀之變化情形。

(4)不泡水後加糖

將綠豆、水同時加入，再以加熱器加熱至溶液煮沸並記錄沸騰時間，再繼續加熱至 60 分鐘，再加入糖並觀察綠豆外觀之變化情形。

2.固定糖水濃度(10%)、改變糖水質量(250g~750g)，先後加糖煮沸時間實驗

- (1)秤取綠豆 50g 將其泡在 450g 水中 80 分鐘，然後加入糖，再以加熱器加熱至溶液煮沸並記錄沸騰時間。
- (2)同上述步驟，但不加糖。

3.固定糖水質量(500 克)、改變糖水濃度(5%~20%)，先後加糖煮沸時間實驗 實驗步驟同步驟 2。

(七)凝固點實驗

1.原理

純溶劑的凝固點是在一定外壓下(一般是常壓)，其液相和固相達到相對平衡時的溫度。若在溶劑中加入一些溶質形成溶液，當降低溫度時先凝出固態純溶劑，此時固態純溶劑與溶液是兩相平衡，其平衡溫度稱為溶液的凝固點。由於溶液的蒸氣壓降低，此時冰的蒸氣壓高於溶液的蒸氣壓($P_o > P_c$)，故純溶劑不能凝固出，只有溫度降低到使冰的蒸氣壓與溶液的蒸氣壓相等時(由 T_o 降至 T_F)，才能使固態純溶劑與溶液達平衡，故溶液的凝固點要低於純溶劑的凝固點(如圖 5-6)

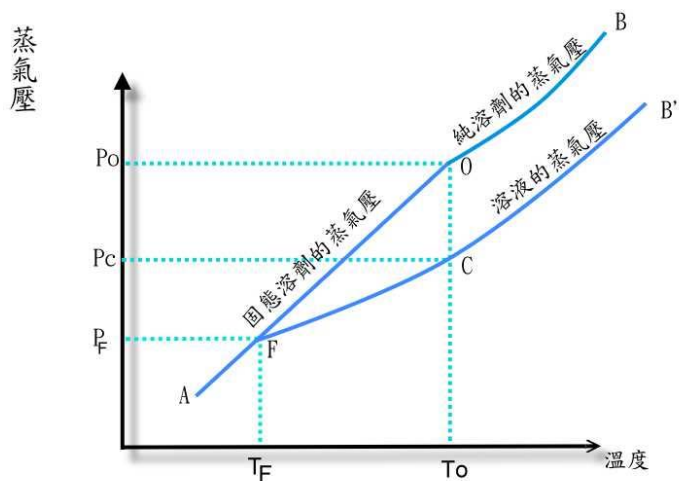


圖 5-6 凝固點下降曲線圖

2. 實驗步驟(裝置如圖 5-7)



圖 5-7 凝固點實驗裝置

(1) 純水凝固點實驗

- ① 將碎冰、食鹽以質量 3:1 方式調成冷劑置入 1000mL 燒杯中，燒杯以 PE 泡棉包裹，以防止熱量散失。
- ② 以量筒盛裝 12mL 純水倒入內試管中，再以橡皮塞塞住試管口，橡皮塞插入鐵絲(攪拌用)及電子溫度計。
- ③ 將內試管套入外試管中，再將其置入冷劑內，每 30 秒記錄一次，記錄同時以鐵絲攪拌內部純水，使內試管內水溫平均。
- ④ 當水溫持續 3 分鐘溫度不再改變，實驗結束。
- ⑤ 畫出溫度-時間圖形，找出純水凝固點。

(2) 糖水、食鹽水凝固點實驗

- ① 12mL 純水改為 12mL 的各種濃度水溶液，其餘步驟同(1)①~⑤，找出水溶液的凝固點。
- ② 計算出純水、凝固點與水溶液凝固點的差，此值即為凝固點下降值。

(八)結冰實驗

1.水溶液結冰前，上、中、下層溫度變化實驗步驟。

(1)準備純水、海水、5%、10%、15%、20%糖水、食鹽水溶液各 200mL。

(2)將上述裝有 200mL 各水溶液的燒杯，放入冰箱內。

(3)靜置 10 分鐘後，取出燒杯以電子溫度計測試燒杯溶液上、中、下層溶液的溫度。記錄完後，再將燒杯放回冰箱。

(4)重覆步驟(3)直到溶液結冰。

2.結冰過程密度變化實驗步驟(裝置如圖 5-8)



圖 5-8 結冰實驗

(1)準備純水、海水、5%、10%糖水、食鹽水溶液各 150mL，分別放入燒杯中。

(2)調配冷劑(碎冰:食鹽質量比 3:1)裝入塑膠盒中。

(3)燒杯放入冷劑中，當溶液結冰達 1/3 時，將燒杯由冷劑中取出。

(4)將結冰固體與未結冰液體分離(未結冰液體倒入另一燒杯中)。

(5)測量未結冰液體質量及體積，並算出密度。

(6)待結冰固體完全熔化後，測量其質量及體積，並算出密度。

陸、研究結果

一、比熱實驗

表 6-1 純水、10%糖水、食鹽水，加熱時間與溶液溫度的關係(燒杯未包絕熱材)

溫度(°C)	加熱時間(秒)											ΔT	R(卡/秒)不考慮燒杯吸熱	R(卡/秒)考慮燒杯吸熱
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300			
純水(0%)	27.5	30.5	33.4	36.6	39.8	43.4	46.2	48.7	51.1	54.0	56.2	28.7	19.13	20.54
10%糖水	26.1	28.3	34.1	37.4	40.8	43.4	47.2	50.7	52.2	55.2	58.0	31.9	19.13	20.54
10%食鹽水	26.1	29.9	34.2	38.1	41.1	45.0	48.1	50.5	53.3	56.1	59.5	33.4	19.13	20.54

表 6-2 不同濃度的糖水，加熱時間與溶液溫度的關係(燒杯有包絕熱材)

溫度(°C)	加熱時間(秒)											ΔT	R(卡/秒)不考慮燒杯吸熱	R(卡/秒)考慮燒杯吸熱
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300			
純水(0%)	18.9	21.1	25.0	29.1	33.1	36.4	39.2	42.5	45.4	45.2	51.3	32.4	21.60	23.18
5%	19.6	22.3	27.4	31.3	35.3	38.6	41.5	44.4	47.5	50.0	52.5	32.9	21.60	23.18
10%	19.7	22.8	27.2	32.1	35.5	38.9	42.2	44.5	47.6	50.3	53.6	33.9	21.60	23.18
15%	19.7	23.2	28.4	34.3	36.8	40.8	43.7	46.5	49.4	52.0	55.1	35.4	21.60	23.18
20%	22.3	25.7	31.0	35.8	39.1	43.6	46.8	49.9	53.0	56.7	59.1	36.8	21.60	22.54

表 6-3 不同濃度的食鹽水，加熱時間與溶液溫度的關係(燒杯有包絕熱材)

溫度(°C)	加熱時間(秒)											ΔT	R(卡/秒)不考慮燒杯吸熱	R(卡/秒)考慮燒杯吸熱
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300			
純水(0%)	22.0	25.1	29.1	33.2	36.6	39.9	42.9	45.8	48.6	51.5	53.5	31.5	21.00	22.54
5%	22.4	25.8	30.4	34.1	37.7	40.8	43.9	47.3	49.9	52.6	55.3	32.9	21.00	22.54
10%	22.2	26.4	31.2	34.7	38.5	41.5	44.7	48.3	50.8	53.7	56.4	34.2	21.00	22.54
15%	22.8	26.7	31.8	35.7	39.6	43.1	46.6	49.9	52.9	55.8	58.6	35.8	21.00	22.54
20%	22.6	27.1	32.5	37.7	42.1	46.0	50.4	53.6	57.7	60.9	64.4	41.8	21.00	22.54

表 6-4 不同濃度的糖水、食鹽水在不同狀態下所計算出的比熱值

比熱(卡/克°C)	糖水				食鹽水			
	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
不包隔熱材, 不考慮燒杯吸熱	—	0.900	—	—	—	0.859	—	—
不包隔熱材, 考慮燒杯吸熱	—	0.895	—	—	—	0.854	—	—
包隔熱材, 不考慮燒杯吸熱	0.985	0.956	0.917	0.856	0.957	0.921	0.880	0.753
包隔熱材, 考慮燒杯吸熱	0.986	0.955	0.915	0.854	0.957	0.920	0.877	0.743

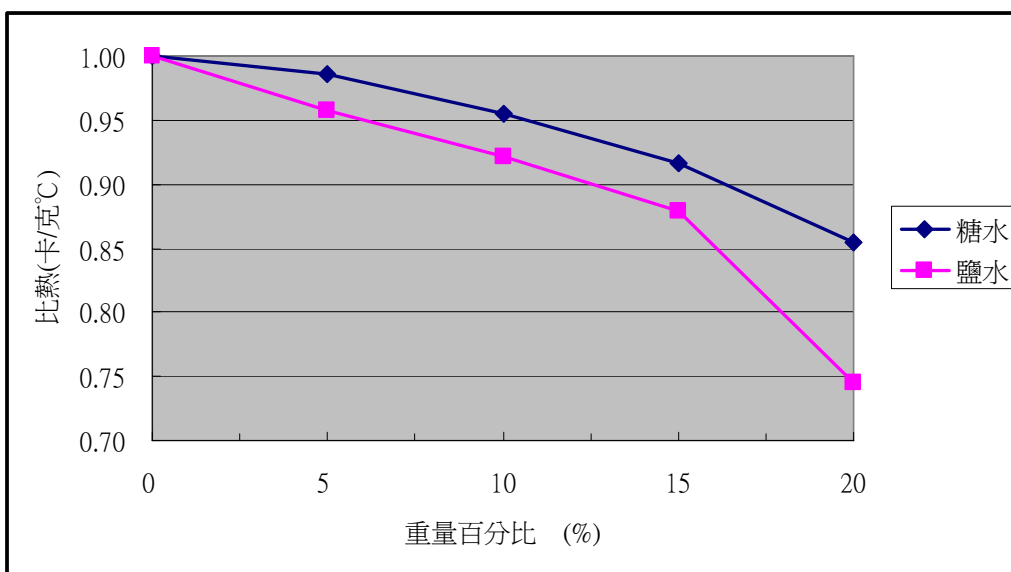


圖 6-1 糖水、食鹽水於不同濃度的比熱變化圖(包隔熱材，考慮燒杯吸熱)

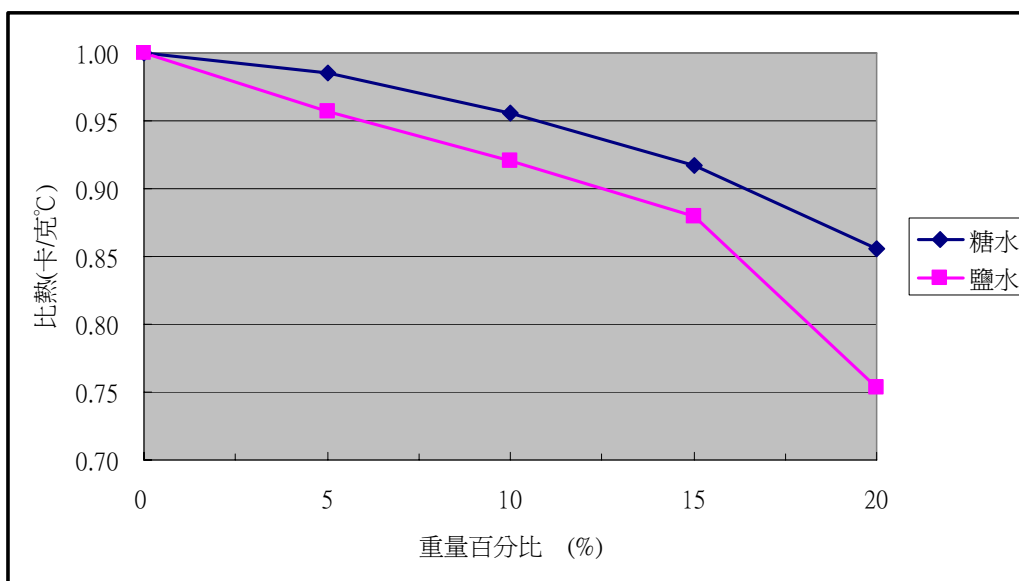


圖 6-2 糖水、食鹽水於不同濃度的比熱變化圖(包隔熱材，不考慮燒杯吸熱)

表 6-5 以不同方式求出 10%糖水、食鹽水比熱的誤差百分比

比熱 (卡/克°C)	不包隔熱材，不 考慮燒杯吸熱	不包隔熱材， 考慮燒杯吸熱	包隔熱材，不考 慮燒杯吸熱	包隔熱材，考 慮燒杯吸熱	文獻理 論值
10%糖水	0.900	0.895	0.956	0.955	0.930
與理論值誤 差百分比	3.22%	3.76%	2.80%	2.69%	0
10%食鹽水	0.859	0.854	0.921	0.920	0.920
與理論值誤 差百分比	6.63%	7.17%	0.11%	0%	0

二、沸點實驗

表 6-6 10%食鹽水以全回流方式加熱至沸點的溫度變化

加熱時 間(分)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
溫度(°C)	50.0	58.0	67.1	74.6	81.9	88.7	94.7	100.1	101.5	102.5	103.0	103.1	103.1

註:同天測試的純水沸點為 101.0°C，故沸點上升=103.1°C-101.0°C=2.1°C

表 6-7 不同濃度的糖水、食鹽水之沸點及沸點上升變化

	純水	糖水							食鹽水				
	0%	5%	10%	15%	20%	40%	50%	60%	5%	10%	15%	20%	40%
沸點 (°C)	101.0	101.0 ~ 101.4	101.0 ~ 101.4	101.0 ~ 101.4	101.0 ~ 101.4	101.5	101.7	飽和	102.4	103.1	104.0	105.1	飽和
沸點上 升(°C)	0	0~0.4	0~0.4	0~0.4	0~0.4	0.5	0.7	—	1.4	2.1	3.0	4.1	—
沸點上 升理論 值(°C)	0	0.08	0.17	0.27	0.38	0.45	0.7	—	0.94	1.98	3.14	4.44	—

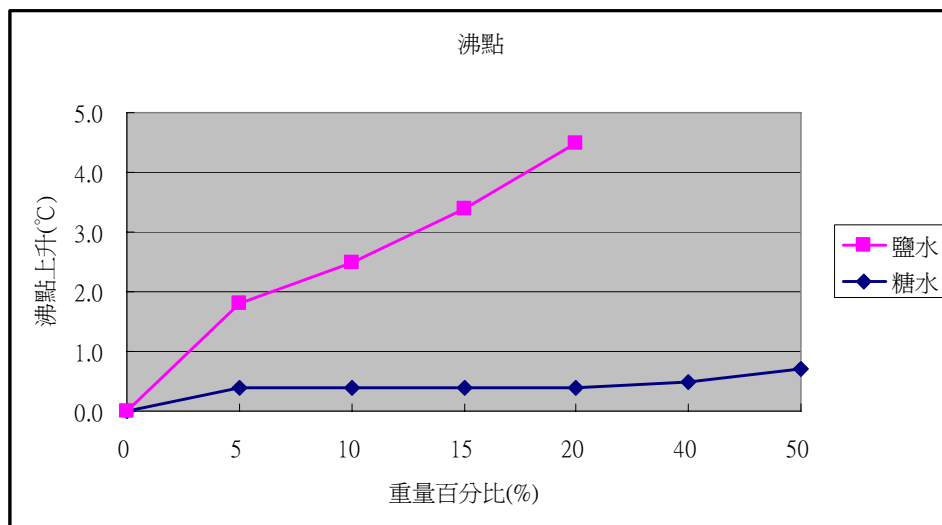


圖 6-3 糖水、食鹽水於不同濃度的沸點上升變化圖

三、綠豆泡水溶液長度變化實驗

表 6-8 綠豆泡 5%糖水，泡水時間與長度變化率(水溫 20°C)

泡水時間(分)	第一顆綠豆		第二顆綠豆		第三顆綠豆		平均長寬(cm)	長度變化率(%)
	長(cm)	寬(cm)	長(cm)	寬(cm)	長(cm)	寬(cm)		
0	0.310	0.168	0.420	0.210	0.250	0.176	0.256	0
10	0.308	0.166	0.428	0.212	0.254	0.182	0.258	0.78
20	0.308	0.168	0.432	0.200	0.250	0.174	0.255	-0.39
30	0.308	0.154	0.420	0.214	0.254	0.170	0.253	-1.17
40	0.300	0.156	0.420	0.200	0.254	0.184	0.254	-0.78
50	0.306	0.167	0.430	0.201	0.251	0.175	0.255	-0.39
80	0.308	0.160	0.432	0.202	0.262	0.180	0.257	0.39
170	0.308	0.160	0.430	0.204	0.270	0.164	0.256	0
200	0.314	0.150	0.448	0.208	0.268	0.174	0.260	1.56

表 6-9 綠豆泡不同濃度的糖水、食鹽水，泡水時間與長度變化率(水溫 20°C)

長度變化率(%)	純水	糖水			食鹽水	
		0%	5%	20%	5%	20%
0	0	0	0	0	0	0
10	1.43	0.78	1.25	1.72	0.3	
20	1.79	-0.39	1.57	2.06	0.95	
30	1.79	-1.17	0.63	2.75	-0.95	
40	3.04	-0.78	0.63	1.72	-0.32	
50	3.32	-0.39	1.25	0.69	1.26	
80	5.58	0.39	0	1.72	0.63	
170	7.99	0	1.05	1.37	0.32	
200	11.43	1.56	0.94	1.37	-2.21	

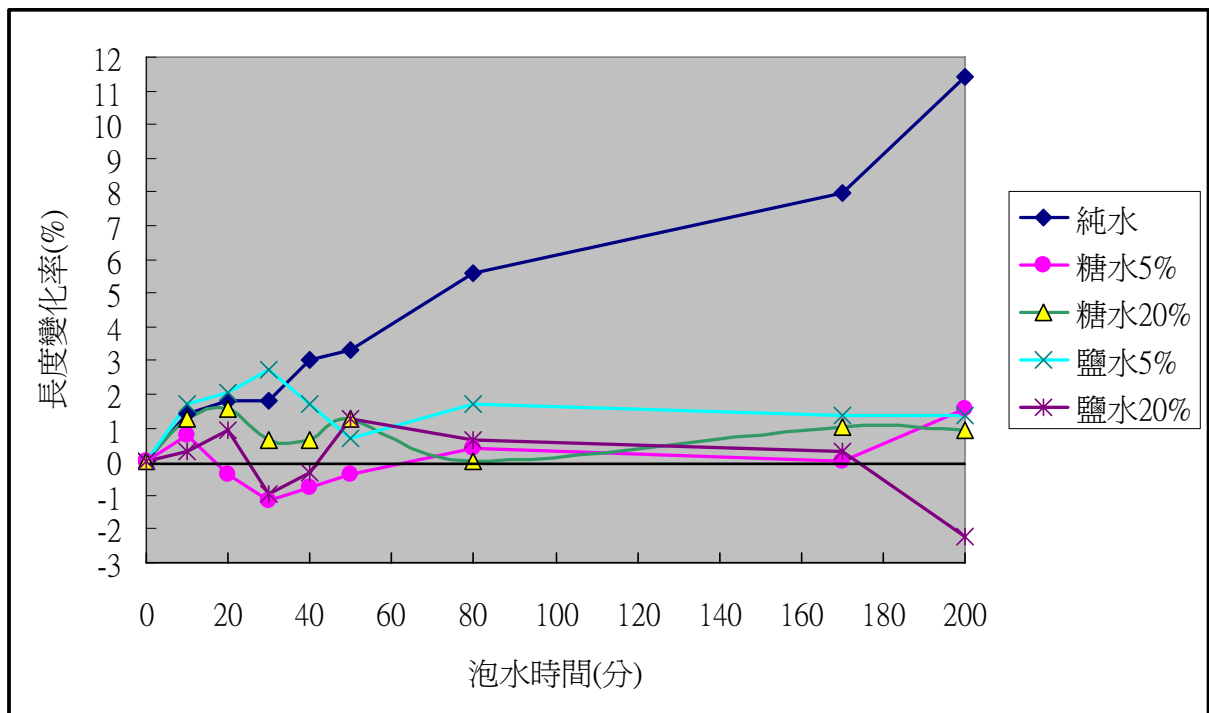


圖 6-4 綠豆泡不同濃度的糖水、食鹽水，泡水時間與長度變化率圖(水溫 20°C)

表 6-10 綠豆泡不同溫度純水，泡水時間與長度變化率

長度變化率 (%)		20°C	60°C	100°C	備註
泡水時間 (分)	0	0	0	0	
	10	1.43	1.01	19.30	
	20	1.79	2.21	44.44	
	30	1.79	8.83	57.78	
	40	3.04	13.48	—	
	50	3.32	17.14	—	
	80	5.58	44.87	—	
	170	7.99	49.53	—	
	200	11.43	54.80	—	

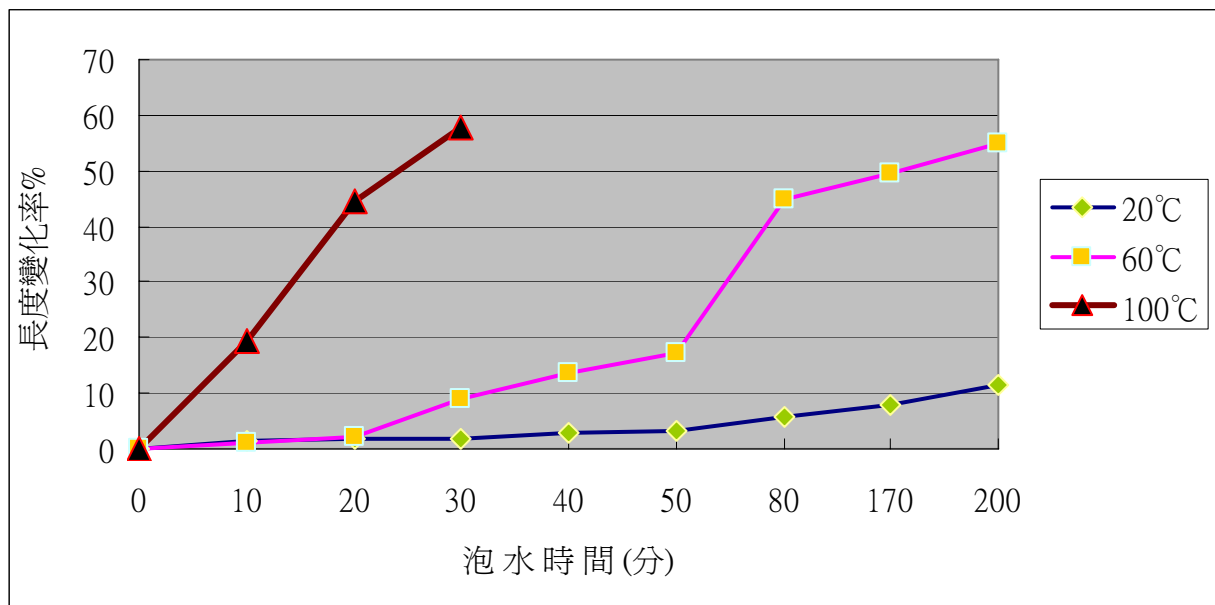


圖 6-5 綠豆泡不同溫度純水，泡水時間與長度變化率圖

四、密度實驗

表 6-11 不同濃度的糖水、食鹽水密度變化

	純水	糖水				食鹽水				海水
	0%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	
密度 (g/cm ³)	0.99	1.00	1.01	1.03	1.05	1.02	1.04	1.08	1.12	1.02

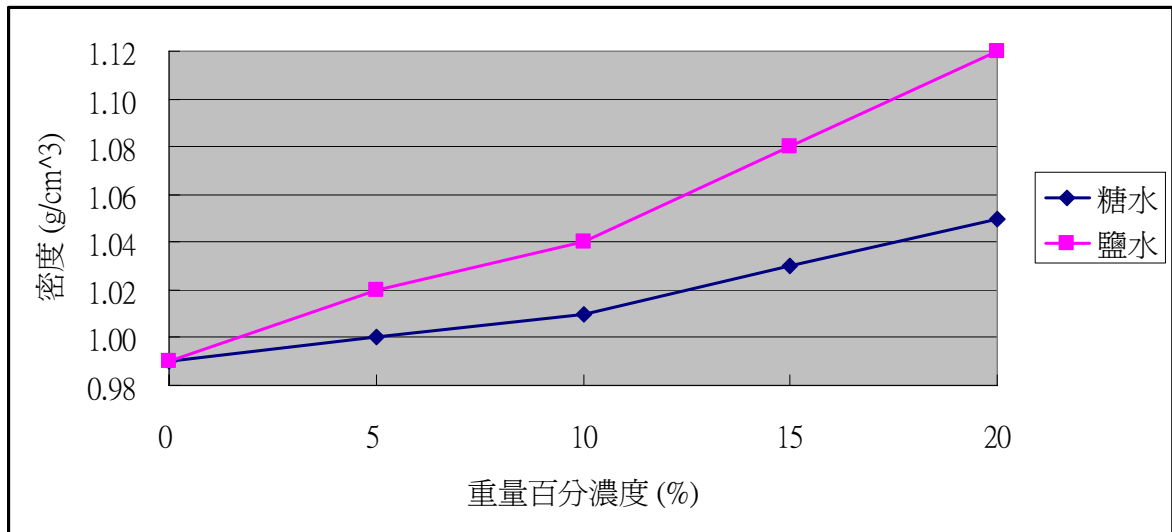


圖 6-6 不同濃度的糖水、食鹽水密度變化圖

五、滲透實驗

表 6-12 不同濃度的糖水、食鹽水滲透高度

	純水	糖水				食鹽水			
	0%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
滲透高度 (cm)	0	1.20	1.80	3.25	4.08	2.88	5.23	7.21	8.78
	0	1.30	2.32	2.90	4.18	3.40	5.72	6.01	6.53
	0	2.00	2.83	5.51	6.23	2.15	4.66	7.14	8.76
滲透高度平均值(cm)	0	1.50	2.32	3.89	4.83	2.81	5.20	6.79	8.02
滲透壓平均值(gw/cm ²)	0	1.50	2.34	4.01	5.07	2.87	5.41	7.33	8.98

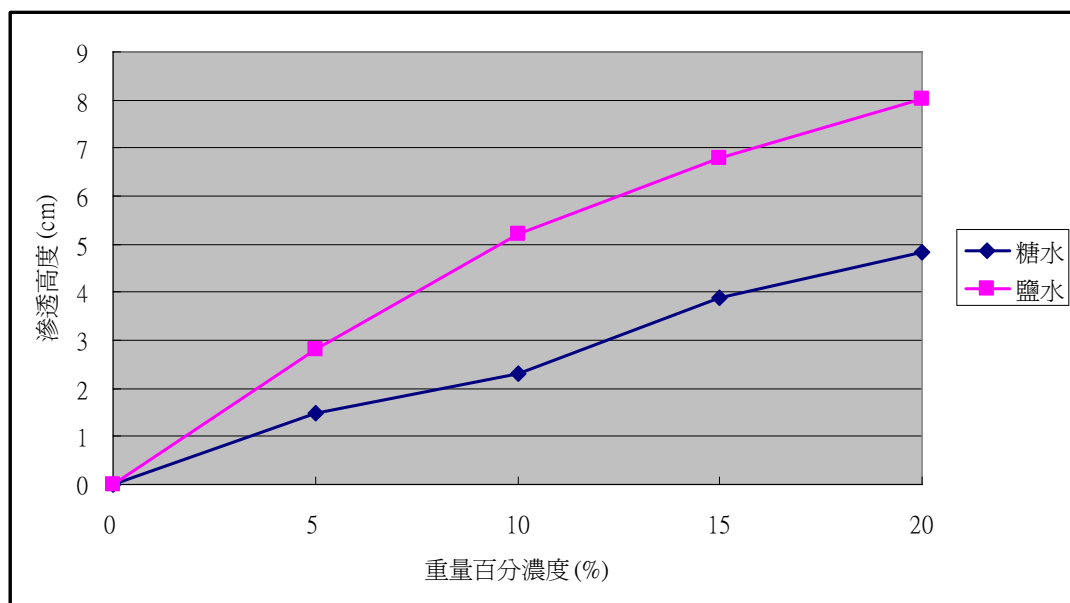


圖 6-7 不同濃度的糖水、食鹽水滲透高度變化圖

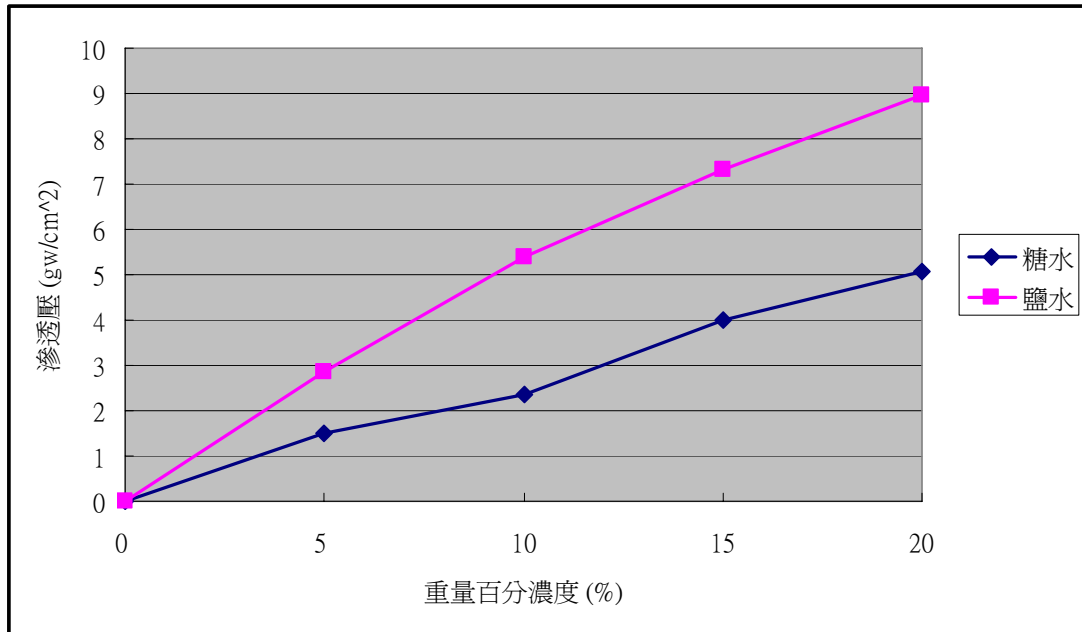


圖 6-8 不同濃度的糖水、食鹽水滲透壓變化圖

六、煮綠豆實驗

表 6-13 綠豆泡水、未泡水，先加糖、後加糖煮沸情形(糖水 500g 濃度 10%，綠豆 50g)

	泡水 80 分(20°C)		未泡水	
	先加糖	後加糖	先加糖	後加糖
溶液沸騰所需時間	25 分 0 秒	22 分 52 秒	27 分 10 秒	25 分 05 秒
加熱 60 分鐘後之狀態	20%脫殼, 尙未煮爛	40%脫殼	40%脫殼尙未煮爛	95%脫殼
附註		最佳狀態		

表 6-14 綠豆泡水 80 分鐘，固定糖水濃度(10%)，改變糖水質量煮沸時間

	泡水 80 分(20°C)，綠豆 50g，10%糖水							
	糖 12.5 克 水 112 克 糖水 125 克		糖 25 克 水 225 克 糖水 250 克		糖 50 克 水 450 克 糖水 500 克		糖 75 克 水 675 克 糖水 750 克	
	先加糖	後加糖	先加糖	後加糖	先加糖	後加糖	先加糖	後加糖
溶液沸騰所需時間	5 分 05 秒	6 分 11 秒	12 分 26 秒	12 分 56 秒	25 分 0 秒	22 分 52 秒	28 分 54 秒	26 分 42 秒

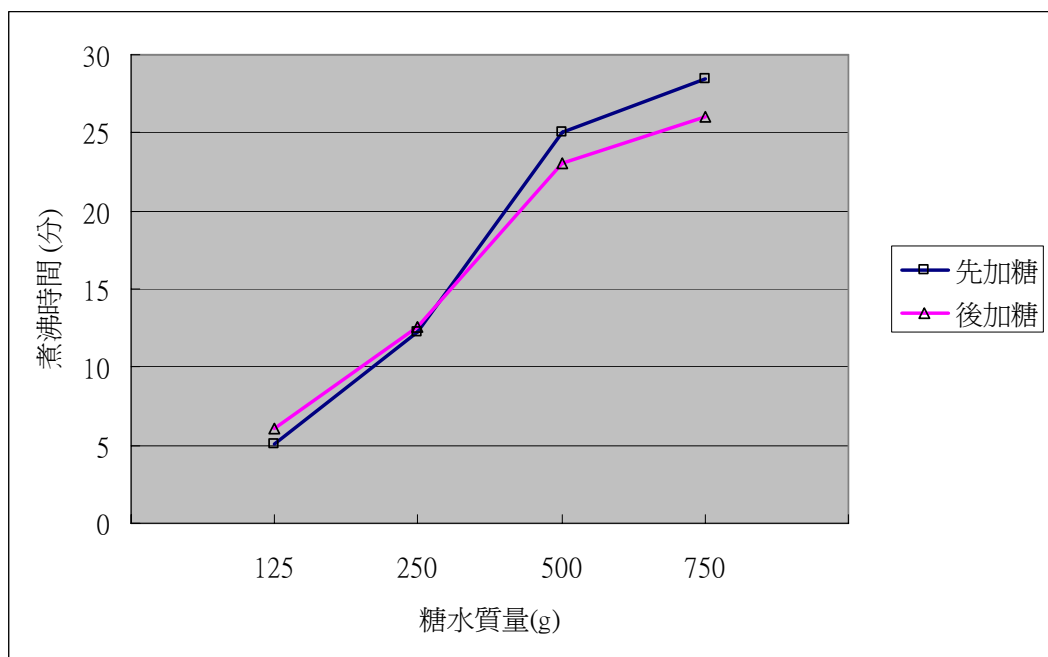


圖 6-9 綠豆泡水 80 分鐘，固定糖水濃度(10%)不同糖水質量，先後加糖煮沸時間圖

表 6-15 綠豆泡水 80 分鐘，固定糖水質量 500g，改變糖水濃度煮沸時間

	泡水 80 分(20°C)，綠豆 50g，10%糖水							
	糖 25 克 水 475 克 糖水濃度 5%		糖 50 克 水 450 克 糖水濃度 10%		糖 75 克 水 425 克 糖水濃度 15%		糖 100 克 水 400 克 糖水濃度 20%	
	先加糖	後加糖	先加糖	後加糖	先加糖	後加糖	先加糖	後加糖
溶液沸騰所需時間	25 分 30 秒	24 分 10 秒	25 分 0 秒	22 分 52 秒	26 分 06 秒	21 分 55 秒	23 分 0 秒	21 分 03 秒

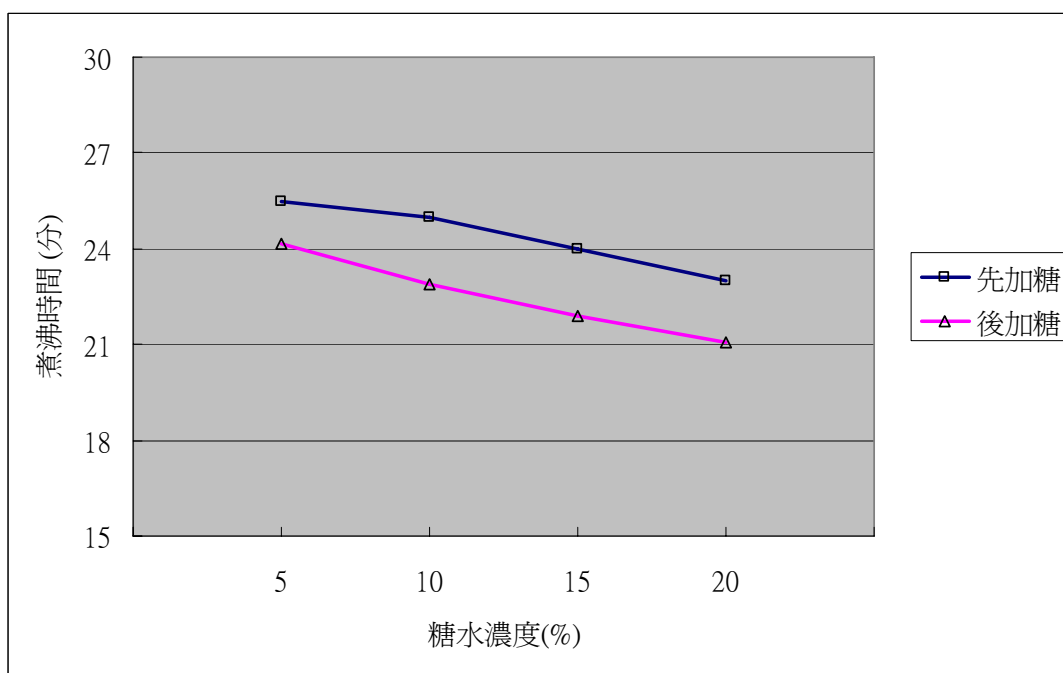


圖 6-10 綠豆泡水 80 分，固定糖水質量(500g)不同糖水濃度，先後加糖煮沸時間圖

七、凝固點實驗

表 6-16 10%糖水泡冷劑冷卻時間與溫度變化

冷卻時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
溫度(°C)	22.4	22.2	21.2	20.1	19.2	17.9	17.1	16.1	14.8	13.7	13.0
冷卻時間(分)	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5
溫度(°C)	12.1	11.4	9.9	9.0	8.3	7.4	6.4	5.7	5.4	4.9	3.7
冷卻時間(分)	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16
溫度(°C)	2.8	2.3	2.1	2.1	1.5	0.6	0.1	0.0	-1.1	-1.2	-1.9
冷卻時間(分)	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5
溫度(°C)	-2.5	-2.5	-2.9	-3.7	-3.8	-3.9	-4.7	-5.0	-0.5	-0.5	-0.5
冷卻時間(分)	22	22.5	23								
溫度(°C)	-0.5	-0.5	-0.5								

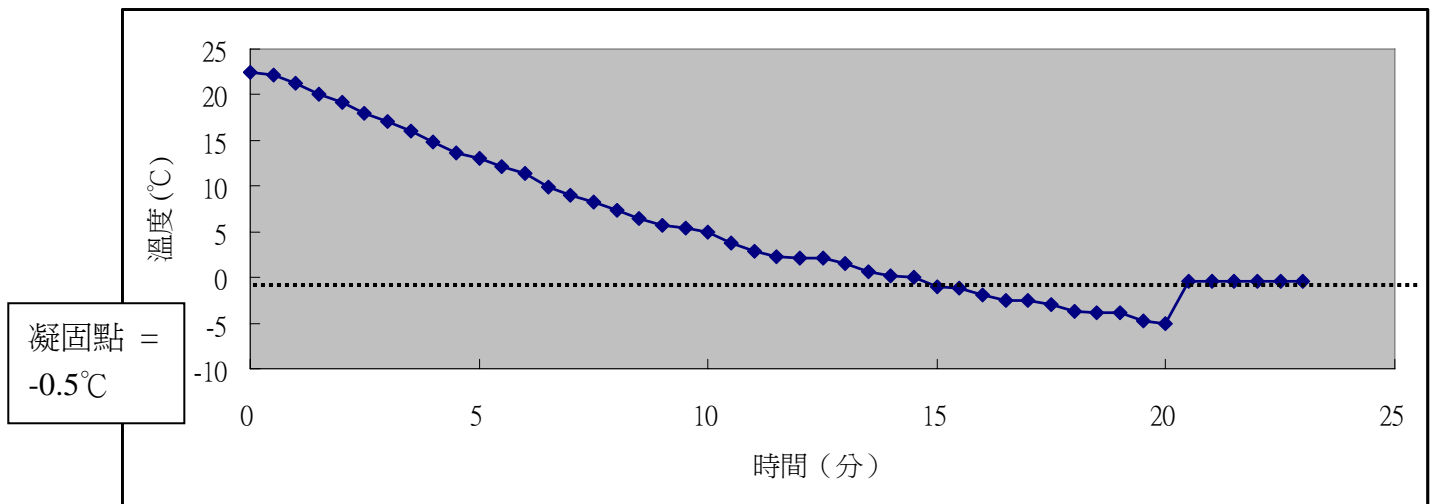


圖 6-11 10%糖水泡冷劑溫度對時間關係圖

表 6-17 不同濃度的糖水、食鹽水之凝固點及凝固點下降變化

	純水	糖水				食鹽水				海水
		0%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	
凝固點(°C)	0.1	-0.2	-0.5	-1.2	-1.5	-2.9	-7.5	-11.0	-16.1	-2.0
凝固點下降(°C)	0	0.3	0.6	1.3	1.6	3.0	7.6	11.1	16.2	2.1
凝固點下降理論值(°C)	0	0.29	0.60	0.96	1.36	3.35	7.07	11.22	15.90	2.31

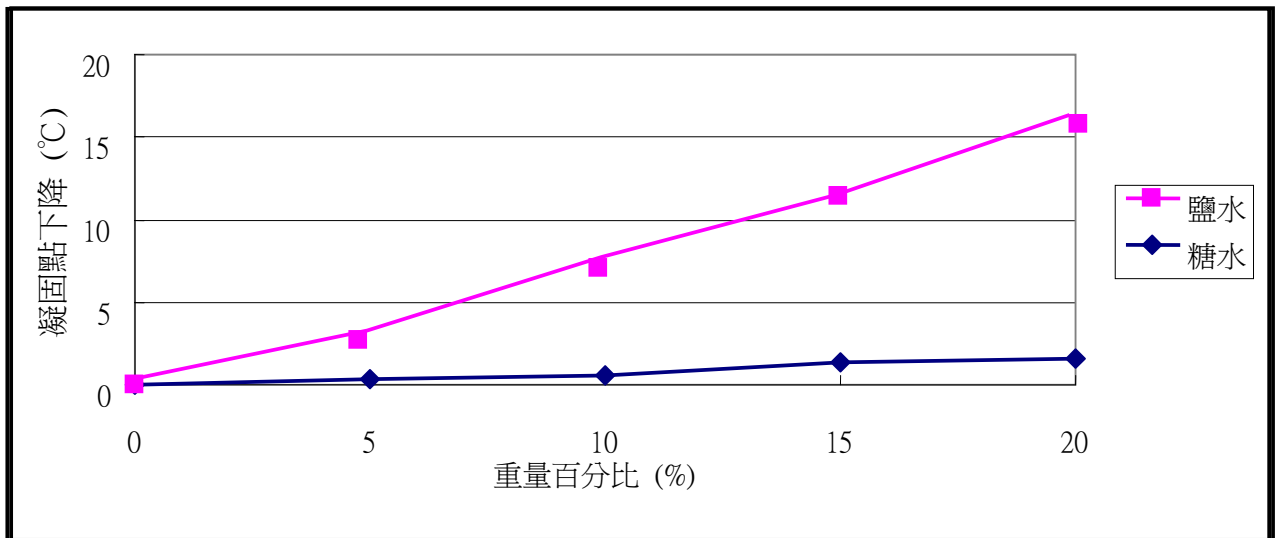


圖 6-12 不同濃度的糖水、食鹽水凝固點下降變化圖

八、結冰實驗

表 6-18 水溶液結冰前，上、中、下層溫度變化

溫度(°C)		冷卻時間(分)						附註
		10	20	30	40	50	60	
純水	上	11.6	7.0	1.7	0.9	0.1	—	冷卻 50 分開始 結冰
	中	10.8	5.9	2.3	0.9	0.1	—	
	下	8.1	5.4	4.1	1.6	0.8	—	
5% 糖水	上	12.6	7.8	4.5	1.3	0.7	0.0	冷卻 60 分開始 結冰
	中	11.7	7.0	3.2	1.3	0.6	-0.1	
	下	10.9	6.3	4.0	1.5	0.2	-0.3	
20% 糖水	上	11.3	5.9	2.1	-0.4	-0.8	-1.2	冷卻 60 分開始 結冰
	中	10.0	4.8	1.3	-1.5	-1.5	-1.4	
	下	8.7	3.6	0.3	-1.8	-1.6	-1.5	
5% 食鹽 水	上	12.6	7.7	4.0	1.1	-0.9	-2.9	冷卻 60 分開始 結冰
	中	11.5	7.0	2.8	0.0	-1.5	-3.0	
	下	9.8	6.4	2.5	-1.0	-1.9	-2.8	
20% 食鹽 水	上	10.7	5.7	2.7	-0.3	-1.9	-3.5	無法 結冰
	中	9.6	4.4	2.0	-1.0	-2.7	-4.4	
	下	7.7	3.6	1.0	-1.7	-3.2	-4.7	
海水	上	13.5	5.9	1.1	-1.2	-1.5	-1.9	冷卻 60 分開始 結冰
	中	12.6	4.7	0.4	-1.3	-1.7	-2.0	
	下	11.4	3.8	-0.1	-1.4	-1.8	-2.0	

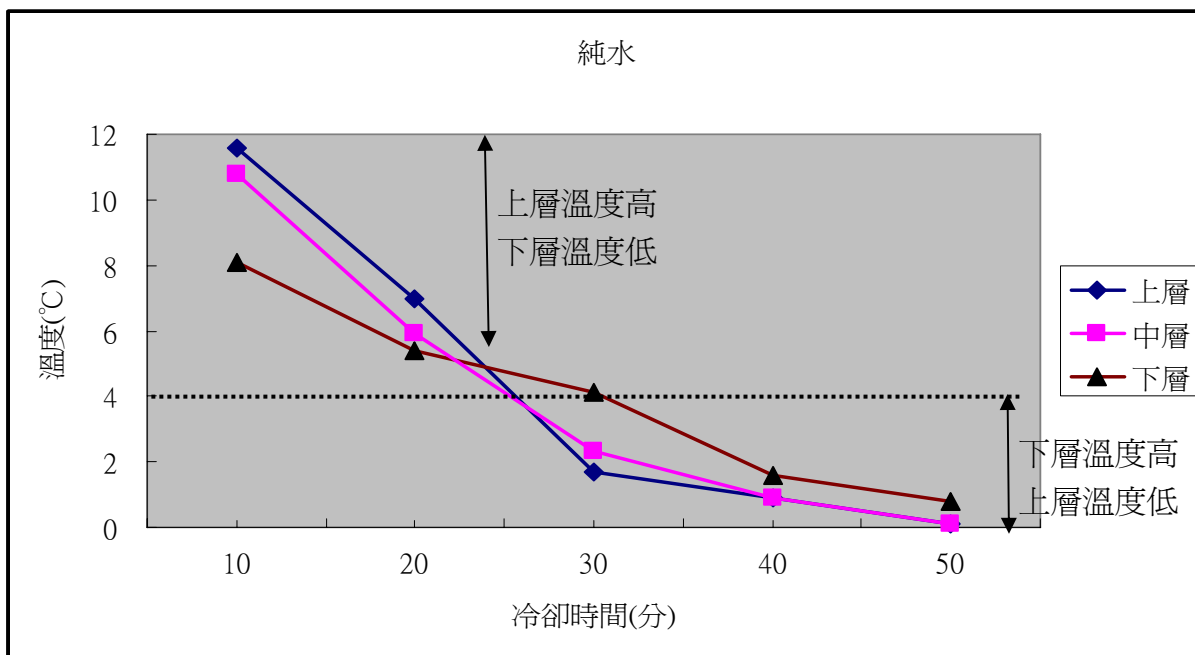


圖 6-13 純水結冰前，上、中、下層溫度變化圖

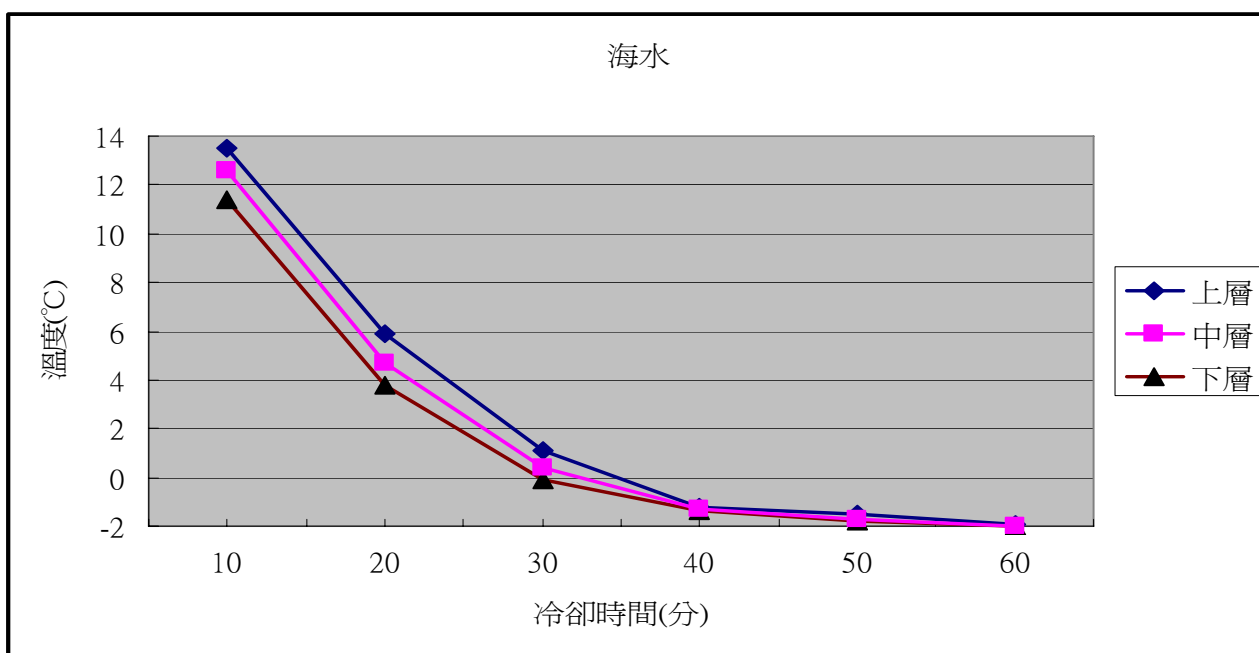


圖 6-14 海水結冰前，上、中、下層溫度變化圖

表 6-19 結冰過程密度變化

	純水	糖水		食鹽水		海水
	0%	5%	10%	5%	10%	
冰融化成液體的密度(g/cm ³)	1.011	1.026	1.029	1.030	1.035	1.028
未結冰的液體密度(g/cm ³)	0.995	1.097	1.052	1.065	1.075	1.034

柒、討論

一、比熱實驗

- (一)燒杯包絕熱材實驗若全部包 PE 泡棉則燒杯底部的泡棉會因溫度過高而軟化變形，故底部 1/5 改為包較耐熱的玻璃纖維布帶，而上面 4/5 採用較厚的 PE 泡棉。
- (二)由表 6-1~6-3，不論是否考慮燒杯的吸熱，燒杯不包絕熱材料的 R 值(加熱器供熱速率)均較有包的 R 值小。[19.13<21.00(21.60);20.54<23.18(22.54)]。此說明不包絕熱材的燒杯，有較多的熱量被外界空氣吸收增大實驗誤差。
- (三)考慮燒杯吸熱的 R 值較不考慮者大。(20.54>19.13, 23.18>21.60, 22.54>21.00)。
- (四)由表 6-4 及圖 6-1、6-2 知，不論糖水或食鹽水溶液的比熱，隨著重量百分比增加而減小，且食鹽水的下降較多。
- (五)理論上糖水比熱較純水小，糖水溫度應較易上升(因較易沸騰)，但實際煮綠豆湯若先加糖再煮，煮熟時間較後加糖更久。推測其中原因為加糖，整杯質量變大因此所需時間更長，質量效應超過比熱效應 ($H=M \cdot S \cdot \Delta T=R \cdot t$ ，在 R 與 ΔT 固定下， t 正比於 $M \cdot S$)，討論六會詳述。
- (六)由表 6-5 知燒杯包隔熱材、考慮燒杯吸熱，計算出 10%糖水與食鹽水比熱值與文獻理論值誤差是所有四種組合中最小的(2.69%與 0%)，而包隔熱材不考慮燒杯吸熱的誤差也很小(2.80%與 0.11%)，所以忽略燒杯吸熱所計算出的比熱是可以接受的。

二、沸點實驗

- (一)爲了保持溶液濃度不變，本實驗採用全回流方式測沸點。測試結果實驗數據穩定，且實驗結果與文獻理論值接近(如表 6-7)。
- (二)由表 6-7 及圖 6-3 知 5%~20%糖水的沸點上升約 0~0.4°C 差異很小，50%也只上升 0.7°C，且食鹽水沸點的變化較糖水大。
- (三)溶液濃度越高沸點上升越高，原因是糖與食鹽均爲非揮發性溶質，加入水中會降低水的蒸氣壓阻礙水的蒸發，故只有增加能量提高溫度才能再達到沸騰。
- (四)雖然沸點上升可以縮短煮沸時間，但因煮綠豆湯時先加糖的沸點上升甚小，對縮短時間沒有太大幫助。

三、綠豆泡水溶液長度變化實驗

- (一)由表 6-9 及圖 6-4 知綠豆泡純水 20°C 10~200 分鐘長度變化率大約爲 1.43%~11.43%，泡水 40 分鐘後，長度增加率明顯高於 5%、20%的糖水、食鹽水，甚至泡 200 分鐘後，長度變化率可達 11.43%。而泡 5%、20%的糖水、食鹽水 10~200 分鐘，長度變化率大約在-2.21%~2.75%，甚至出現負值(長度變小)，由此可知綠豆泡純水，水較易滲透入綠豆內。
- (二)煮綠豆湯前若先泡水，因水滲透至綠豆內，可縮短煮沸時間。
- (三)由表 6-10 及圖 6-5 知綠豆泡在溫度越高的水中，長度增加率越大，原因爲綠豆受熱膨脹及水滲透入綠豆內，但在 100°C 泡水約 25 分鐘，綠豆的皮就破掉，將影響綠豆的外觀及口感。而在 60°C 泡水 30 分鐘雖長度變化率達 8.83%，

將縮短煮綠豆的時間(討論六會說明)，但達 60°C 所需能量遠大於 20°C，且一般家庭較不方便將綠豆在較高溫下泡水，故仍以室溫泡水，較方便實際。

四、密度實驗

由表 6-11 及圖 6-6 知同濃度食鹽水的密度大於糖水的密度，海水密度約 $1.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。這些求得的密度可以計算接下來的滲透壓。

五、滲透實驗

- (一)以玻璃紙模擬綠豆半透膜進行滲透實驗，結果如表 6-12、圖 6-7 及圖 6-8，由圖表知同濃度食鹽水、糖水，水在食鹽水中較易滲透(滲透高度及滲透壓較大)，且不論糖水或食鹽水濃度越高，水越易滲透。
- (二)依據滲透理論，煮綠豆湯若先加糖，形成糖水溶液，而糖水比純水不易滲入綠豆內，所以綠豆煮沸時間較久。

六、煮綠豆實驗

(一)影響綠豆煮熟時間因素有：

1. 泡水(滲透)：由表 6-13 發現綠豆泡水(20°C)80 分鐘，後加糖的綠豆可於較短時間內沸騰及煮熟。因為把綠豆浸泡在水中一段時間後，綠豆會因水的滲入而膨脹，因此將綠豆放入低滲透液或比本身濃度更低的溶液(即本實驗中之水)時，水分子即向細胞內移動，細胞因滲透吸水而膨脹。相反的，將綠豆置於高滲透液或比本身濃度更高的溶液時(即本實驗中之糖水溶液)，水分子向外移動、失水，綠豆不易膨脹。如果煮綠豆一開始就把糖加進去，糖溶解在水中成爲糖水提高了糖濃度，而水分子是由低濃度往高濃度滲透，所以水不容易被綠豆吸收，綠豆內缺少了水就不容易煮熟。由表 6-13 也發現泡水後的綠豆脫殼情形較未泡水少，因爲綠豆未泡水會使本身皮膜太緊，因此在煮沸過程中容易脫殼影響外觀。
2. 沸點：加了糖的糖水溶液，沸點較純水高，但差異性小(10%糖水沸點上升 0~0.4 °C)故沸點的上升對縮短煮沸時間影響甚小。
3. 比熱：加了糖的糖水溶液比熱會下降(10%糖水比熱= $0.955\text{cal}/\text{g}^\circ\text{C}$ ，純水比熱= $1\text{cal}/\text{g}^\circ\text{C}$ ，下降 4.5%)理論上溫度較易上升至沸點，對縮短時間有利。(先加糖減少煮沸時間)
4. 質量：先加糖的質量較後加糖大，故增加煮沸時間。 $(H = M \cdot S \cdot \Delta T = R \cdot t)$ ，在 R 與 ΔT 固定下，t 正比於 $M \cdot S$

由 3、4 知先後加糖造成溶液比熱與質量效應不同，對縮短時間的趨勢恰相反。

(二)爲了深入瞭解比熱與質量效應對煮熟綠豆時間的影響，我們以綠豆先泡 20°C 水 80 分鐘的較佳狀態，又設計以下 2 個實驗：

1. 固定糖水濃度 10%，改變糖水質量(125g~750g)，結果如表 6-14 及圖 6-9，可發現在糖水質量 125g 及 250g 時，先加糖先煮沸，表示比熱效應超過質量效應；但在糖水質量 500g 及 750g 時，後加糖先煮沸，表示質量效應超過比熱效應。

一般家庭用鍋子煮綠豆湯時，糖水質量通常大於 500g，故後加糖有利於縮短煮沸時間。

2. 固定糖水質量 500g，改變糖水濃度(5%~20%)結果如表 6-15 及圖 6-10，可發現不論在何種濃度，都是後加糖煮沸時間較短，表示質量效應大於比熱效應。

(三)由以上總結知在煮綠豆湯糖水質量越大($\geq 500\text{g}$)時，調味的糖要等到東西煮熟了再加入拌勻，可縮短煮熟時間。

七、凝固點實驗

(一)爲了讓溶液溫度下降不要太快而易於觀察，故於實驗冷卻過程中採用雙層試管冷卻，內外層試管中間夾空氣。

(二)如表 6-16 及圖 6-11 發現冷卻過程中，溫度先持續下降至最低點，然後結晶，當晶體生成時，放出的熱量使物系溫度回升，而後溫度保持恒定，而此不變的溫度即爲溶液凝固點。

(三)由表 6-17 及圖 6-12 知糖水凝固點下降較少、食鹽水較多，且不論糖水或食鹽水，濃度越高凝固點下降越多。實驗結果與理論值接近。

(四)凝固點下降是因爲溶液的蒸氣壓較純溶劑蒸氣壓降低，故需更低的溫度才能將溶劑凝固。

(五)碎冰、食鹽(依質量比 3:1 比例)的冷劑溫度可達 -20°C 。

(六)海水(由永安漁港取得)凝固點下降 2.1°C ，較 5% 食鹽水下降 3.0°C 少，推估其鹽份含量小於 5%。

八、結冰實驗

(一)由表 6-18 及圖 6-13 知，純水在大於 4°C 時，上層溫度高下層溫度低，小於 4°C 時，上層溫度低下層溫度高。原因爲純水在 4°C 時密度最大，故大於 4°C 時，溫度越高密度越小，越在上層;而小 4°C 時，溫度越高密度越大，越在下層(此與國二理化所學 4°C 的水密度最大相呼應，如圖 7-1)。

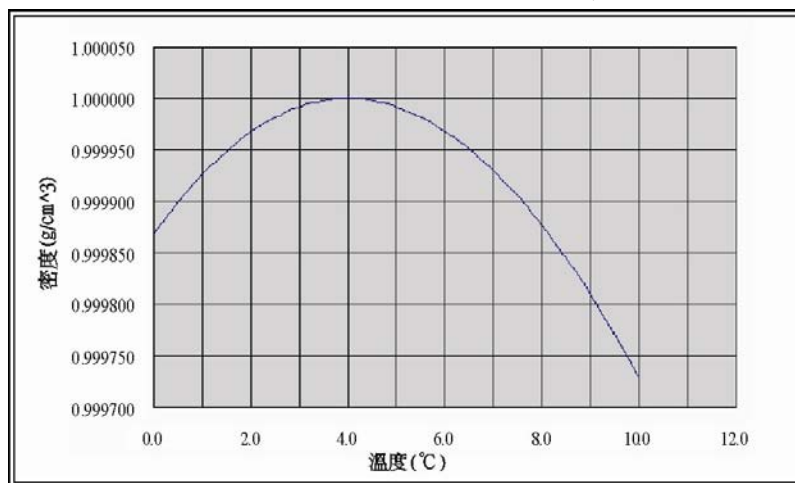


圖 7-1 不同溫度下，水的密度變化(國二理化課本圖形)

(二)由表 6-18 及圖 6-14 知 5% 糖水、食鹽水，20% 糖水、食鹽水及海水均爲上層溫度高，下層溫度低(越冷密度越大，越重)

- (三)大海中的海水要結冰非常不易，原因之一是由於海水鹽度大，所以凝固點降低(約-2°C)結冰不易。原因之二，溫度低到凝固點仍然無法順利結冰，由於會有對流循環作用，結冰的海水因密度變大而下沉，下沉時又因溫度上升而將冰熔化，原因之三，要達到如此低溫且連續，不容易。
- (四)由表 6-19 知未結冰的液體密度均大於冰熔化成液體的密度。原因為水要結成冰時，內部的氫原子和氧原子都必須規則的排列以結晶，而糖水、食鹽水、海水中的食鹽對冰而言就是雜質，會被排除，使周圍溶液的密度增加。理論上溶液結冰，冰熔化成水後的密度會接近純水密度，本實驗略大於純水密度，原因為冷卻速度的關係，冷卻速度越慢，形成的冰會越純。本實驗是在冷劑中進行且溶液量少(150mL)，冷卻速度較快，因此無法得到純冰。

九、未來展望

本研究重點在煮綠豆湯泡水及加糖時機對煮沸時間探討，其實還有很多日常生活可以應用。例如:1.將本研究由綠豆推廣至各種豆類(如紅豆、黃豆)，甚至殼類(如薏仁、米)的探討。2.實驗七及八的凝固點及結冰實驗可以做為冰品類結冰狀態的研究。3.燙(炒)青菜或煮鹹湯圓時加鹽時間對煮沸時間影響。

捌、 結論

- 一、 由比熱實驗知燒杯包隔熱材、考慮燒杯吸熱，所求得的 10%糖水與食鹽水比熱值與理值誤差最小，誤差僅 2.69%與 0%。
- 二、 糖水、食鹽水濃度越高比熱越小，而同濃度糖水、食鹽水的比熱，糖水較食鹽水高。
- 三、 本研究以全回流方式測沸點，實驗結果穩定且接近理論值。
- 四、 食鹽水的沸點上升較糖水明顯高。
- 五、 綠豆泡 20°C 純水長度變化率(1.43~11.43%)明顯高於 5%、20%的糖水、食鹽水 (-2.21%~2.75%)，可知純水較易滲透入綠豆內，故泡水較未泡水易煮熟。
- 六、 綠豆泡水的水溫越高長度增加率越大，但考慮能量及實用性，仍建議以室溫泡水即可。
- 七、 同濃度糖水、食鹽水，水在食鹽水中的滲透高度及滲透壓較大，可知水在食鹽水中較糖水中易滲透。而濃度越高，水越易滲透。
- 八、 影響綠豆煮熟時間因素有: (一) 泡水(滲透) (二)沸點 (三)比熱 (四)質量。

	泡水	沸點(先加糖)	比熱(先加糖)	質量(先加糖)
造成現象	水滲透	沸點微微上升	比熱下降	質量增加
對煮沸時間影響	縮短	影響小	縮短	增加

一般家庭煮熟綠豆湯時，糖水質量 $\geq 500\text{g}$ ，質量效應會大於比熱效應，故先加糖煮沸時間增加，也就是後加糖煮沸時間縮短，但若糖水質量 $\leq 250\text{g}$ 時，結果恰相反。若固定 500g 糖水改變糖水濃度(5%~20%)，結果均為後加糖煮沸時間縮短。

- 九、 由煮綠豆實驗知綠豆泡水、後加糖的條件可煮出最佳狀態綠豆湯。綠豆在水中藉「滲透壓」的作用吸收水分，若在水中有加糖則使得綠豆內部的滲透壓與水溶液滲透壓之差異變小，水份就不易進入綠豆內，因此就不易煮熟。
- 十、 食鹽水的凝固點下降較糖水多。且不論糖水或食鹽水，濃度越高下降越多。永安漁港的海水凝固點下降 2.1°C，推估其鹽份含量小於 5%。
- 十一、

溫度高 低比較	純水大 於 4°C	純水小於 4°C	5%、20%糖 水或食鹽水	永安漁港 海水
上層	高	低	高	高
中層	中	中	中	中
下層	低	高	低	低
附註	4°C 水密度最大		越冷密度越 大，越重	越冷密度 越大，越重

- 十二、 溶液結冰會將糖或食鹽排出冰外，造成未結冰的液體密度大於冰熔化成液體的密度。

玖、參考資料及其他

- 一、王佩蓮(1991) 普通化學實驗。台北市:南宏圖書。
- 二、雷敏宏、楊寶旺、廖德章(1984) 化學實驗。台北縣:高立圖書。
- 三、黃定加(1985) 新編物理化學實驗上冊。台北縣:高立圖書 改訂二版。
- 四、裘大彭、傅民(1999) 護用化學實驗。台北市:五南圖書。
- 五、吳枝明(2000) 高中化學實驗精要(全)。台中市:大同資訊。
- 六、左卷健男著 蕭衍繁、黃瑞金譯(2005) 愛上化學實驗課(上)。台北縣:世茂。
- 七、「有趣的食鹽」，中華民國第 38 屆中小學科學展覽，國立台灣教育館。
- 八、「能量會躲貓貓---蓄熱多就是比熱大」，中華民國第 48 屆中小學科學展覽，國立台灣教育館。
- 九、各種物質的比熱 <http://webbook.nist.gov/chemistry/>

【評語】 030101

本研究探討影響綠豆湯煮熟所需時間的因素，並控制變因找出最快綠豆湯煮熟的條件，可達節能之效果。

本研究結果對於其他各種豆類也有參考的價值，是一份研究相當完整的報告。