

# 中華民國 第50屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

高中組 物理科

佳作

040106

看盡世間冷暖-水的冷卻機制之探討

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：	指導老師：
高二 江冠勳	吳旭峯
高二 林浩鎔	
高二 林家漢	

關鍵詞：彭巴效應、過冷效應

## 摘要

根據實驗，彭巴效應發生在 35 度以上。當兩杯溫差在 10°C 以內，初始溫度較高的水會較早結冰。另外，兩者溫差為 5°C 時，彭巴效應最明顯。推斷此效應主因為：初始溫度較高的水有較旺盛的蒸發，帶動其後續較強烈的對流，使得熱水在冷卻時，容器內部較高溫的水會因對流翻轉至外層，形成更好的冷卻效果。此立論可由另一組實驗所驗證：在表層添加一層油脂，抑制蒸發後，彭巴效應不再發生。顯示蒸發本身或其所附帶的現象造成了此效應。然而若只考慮蒸發帶走的溫度，並不足以解釋添加油脂後所產生的變化，因而認為蒸發所附帶的對流也影響了冷卻速率。

過冷效應：主因為添加油脂後造成對流趨緩，使水中的擾動減少，進而降低水分子間結冰的有效碰撞，造成過冷現象。

## 壹、研究動機

在一次偶然機會下，在網路上看到在相同冷卻環境下，熱水比冷水還要快結冰的影片，對此，我們感到很驚訝，與老師討論後，老師也無法確切說明它的成因以及冷卻過程發生了什麼變化，因此，便開始我們長期的研究路程。

## 貳、研究目的

### 第一部份：彭巴效應

- 一、探討「彭巴效應」在不同初始溫度下的發生情形。
- 二、探討蒸發的影響：在水的表面添加油脂後，冷卻過程及結果的變化。
- 三、模擬冰箱結霜，探討其水溫下降的情形。
- 四、探討各初始溫度下的蒸發量。
- 五、探討對流是否受到不同容器的影響。

### 第二部份：冷卻機制

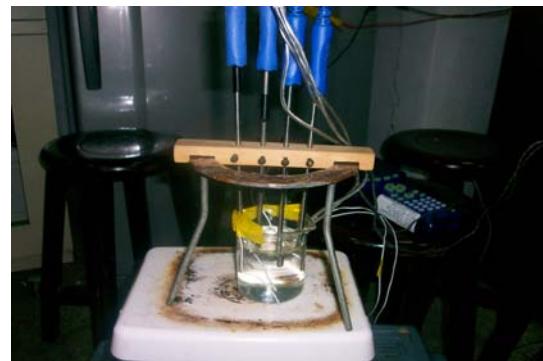
- 六、探討水在冷卻時，內部溫度的分布情形。
- 七、探討表層添加油脂的水，在冷卻時內部溫度的分布情形。

### 第三部份：過冷效應

- 八、添加油脂所產生的過冷效應。
- 九、探討添加油脂的各類溶液，過冷效應的發生情形。

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗裝置：



### 二、研究器材

GLX 多功能測定儀	電源供應器
100ml 燒杯	陶瓷加熱板
冰箱冷凍庫	大臉盆
三腳架	保麗龍板
糖	電子溫度計
小型風扇	試管
試管塞	碼錶
量筒	塑膠滴管
製冰塊機	沙拉油
鹽	電腦

## 肆、研究過程或方法

### 第一部份：彭巴效應

**實驗一**探討「彭巴效應」在不同初始溫度下的發生情形。

※關於彭巴效應：

非洲坦桑尼亞一位名叫彭巴的中學生，有一天他與同學在學校學習製做冰淇淋，發現較高溫的冰淇淋溶液放入冰箱後反而比較快結冰，後來發現水也有相同的現象發生。

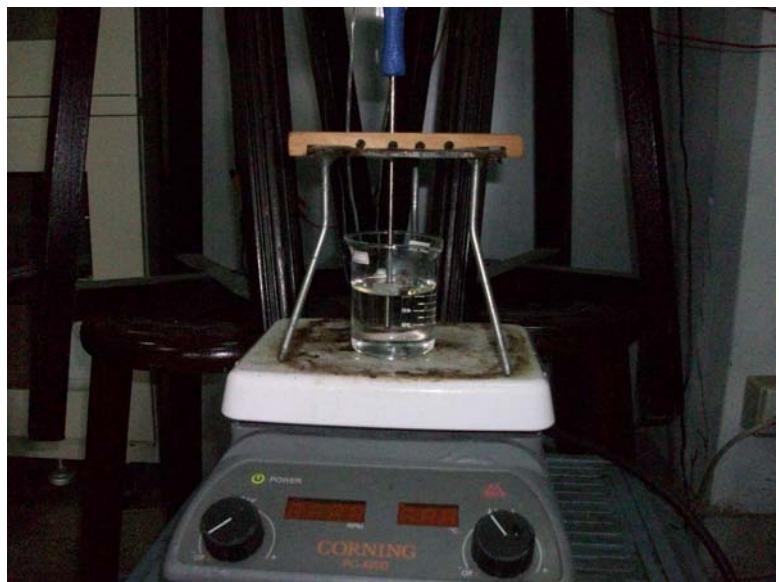
#### (一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、用加熱器分別隔水加熱至不同溫度，溫差為  $10^{\circ}\text{C}$  及  $5^{\circ}\text{C}$ 。
- 3、在燒杯下層放置溫度感應器，並置入冰箱冷凍庫。
- 4、以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。
- 5、觀察及分析數據。

**實驗二**探討在水的表面添加油脂後，冷卻過程及結果的變化。

#### (一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、用加熱器分別隔水加熱至不同溫度。
- 3、在燒杯下層放置溫度感應器，並添加 5 cc 的油脂。
- 4、置入冰箱冷凍庫，以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。
- 5、觀察及分析數據。



### **實驗三**探討各初始溫度下的蒸發量。

#### (一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、用加熱器分別隔水加熱至不同溫度。
- 3、將熱水放入冰箱冷卻，並以電子天平秤量其重量。
- 4、待水結冰後，再次秤量其重量。
- 5、觀察及分析數據。

### **實驗四**模擬冰箱結霜，水溫下降的情形。

#### (一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、用加熱器分別隔水加熱至不同溫度。
- 3、在冷凍庫鋪一層約 2 cm 的冰塊，模擬冰箱結霜的情形。
- 4、在燒杯下層放置溫度感應器，並置入冰箱冷凍庫（置於冰塊上）。
- 5、以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。
- 6、觀察及分析數據。

### **實驗五**探討對流是否受到不同容器的影響。

#### (一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 85 毫升試管及 100 毫升燒杯中，裝入 75 毫升的自來水及蒸餾水。
- 2、用加熱器分別隔水加熱至 60°C 及 80°C。
- 3、在燒杯上層及下層分別放置溫度感應器，並置入冰箱冷凍庫。
- 4、以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。
- 5、觀察及分析數據。

## 第二部份：冷卻機制

### **實驗六**探討水在冷卻時，內部溫度的分布情形。

#### (一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、用加熱器隔水加熱至所需溫度。
- 3、在燒杯放置六點溫度感應器，並置入冰箱冷凍庫。
- 4、以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。

5、觀察及分析數據。



#### **實驗七**探討表層添加油脂的水，在冷卻時內部溫度的分布情形。

(一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、用加熱器隔水加熱至所需溫度。
- 3、在燒杯放置六點溫度感應器，表層添加 5ml 的油。
- 4、置入冰箱冷凍庫，以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。
- 5、觀察及分析數據。

第三部份：過冷效應

#### **實驗八**添加油脂所產生的過冷效應。

※一般對過冷現象的描述為：

急速冷卻下，由於冷卻時間短，到達冰點以下的水分子尚未找到適合的成核點作有效碰撞，故造成其低於冰點卻未結冰。當其達到有效碰撞時便開始結冰，此時結冰所放出的勢能造成溫度驟增至冰點。

#### **實驗九**探討添加油脂的各類溶液，過冷效應的發生情形。

(一) 實驗步驟：

- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、(1)加入 0.025 克的糖，並用加熱器隔水加熱至所需溫度。  
(2)加入 5ml 的牛奶，並用加熱器隔水加熱至所需溫度。  
(3)加入 0.05 克的碘化銀，並用加熱器隔水加熱至所需溫度。
- 3、在燒杯放置六點溫度感應器，表層添加 5ml 的油。
- 4、置入冰箱冷凍庫，以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。
- 5、觀察及分析數據。

## 伍、研究結果

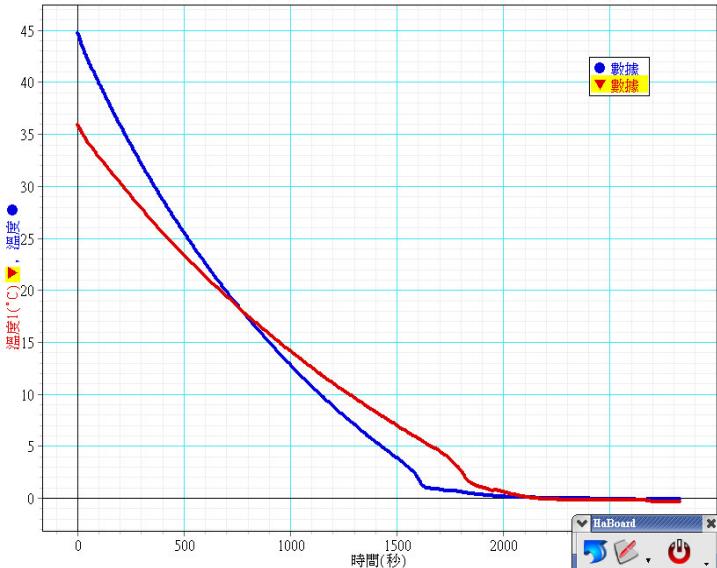
### 第一部份：彭巴效應

**實驗一**探討「彭巴效應」在不同初始溫度下的發生情形。

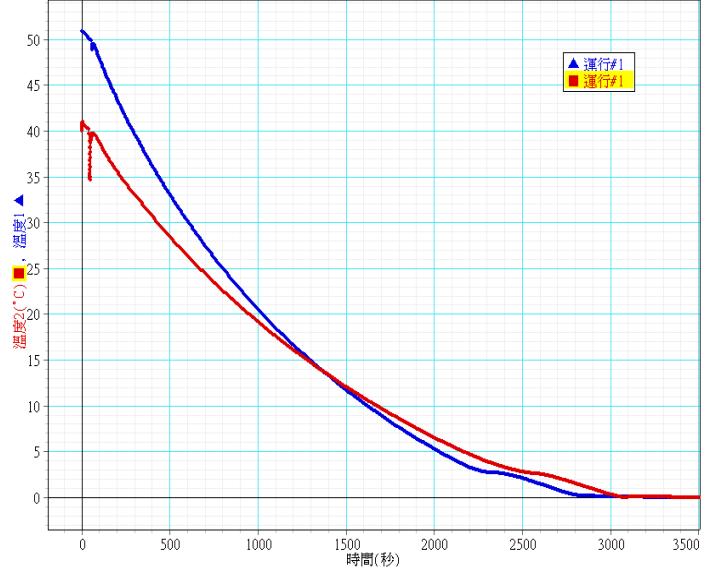
**實驗結果：**

1、相差十度

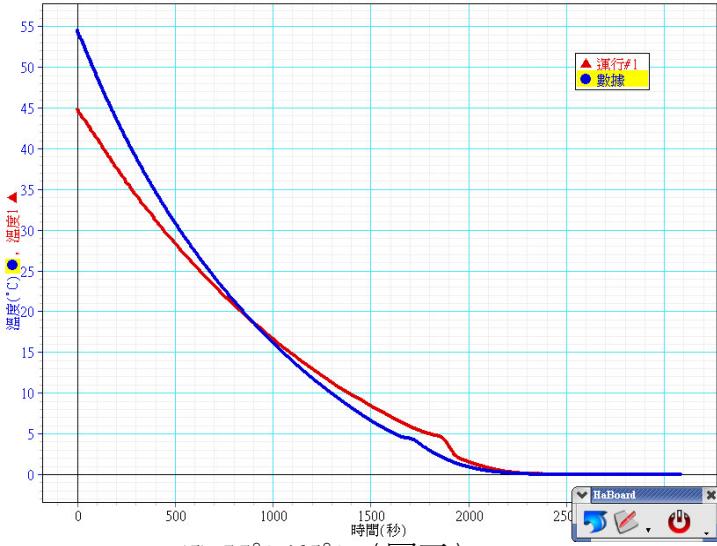
(1) 35°C/45°C 〈圖一〉



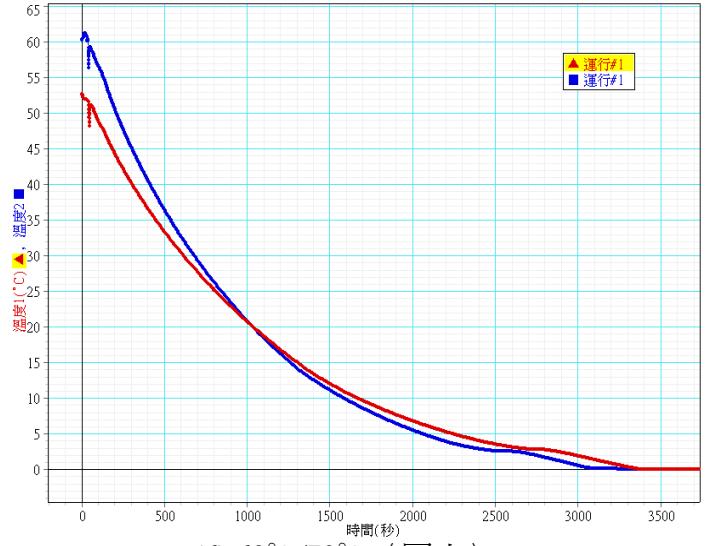
(2) 40°C/50°C 〈圖二〉



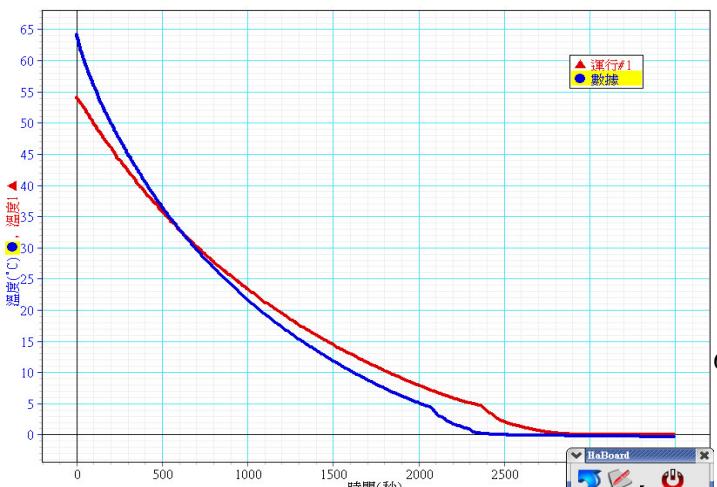
(3) 45°C/55°C 〈圖三〉



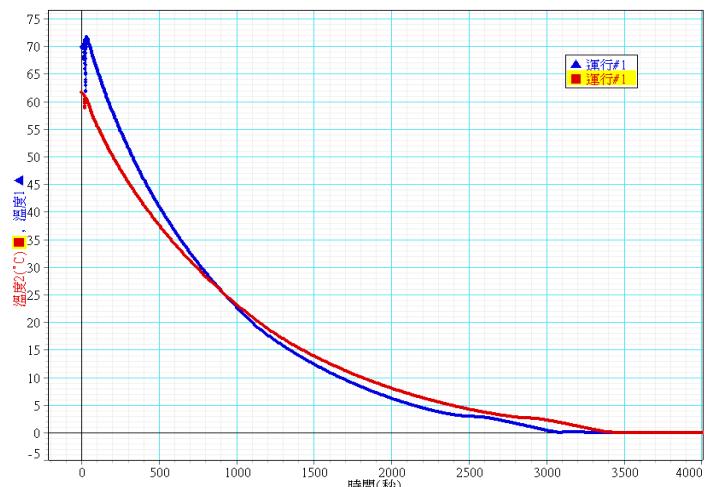
(4) 50°C/60°C 〈圖四〉



(5) 55°C/65°C 〈圖五〉

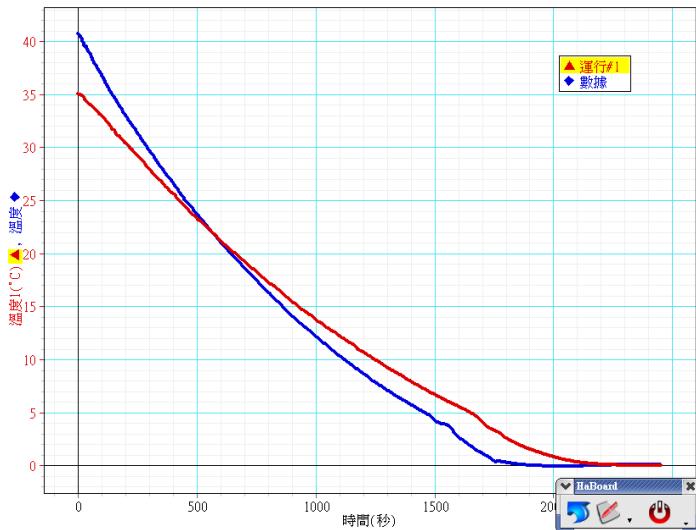


(6) 60°C/70°C 〈圖六〉

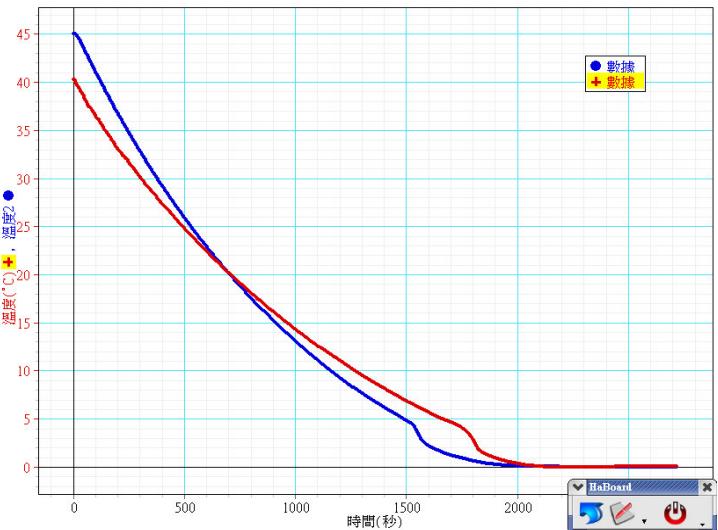


## 2、相差五度：

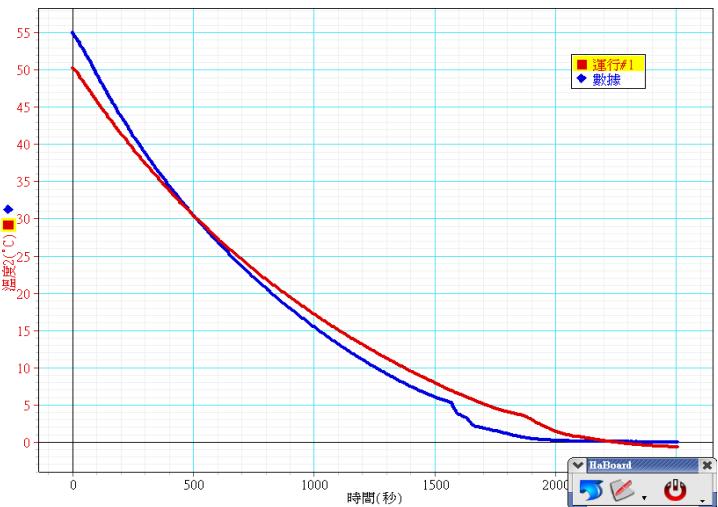
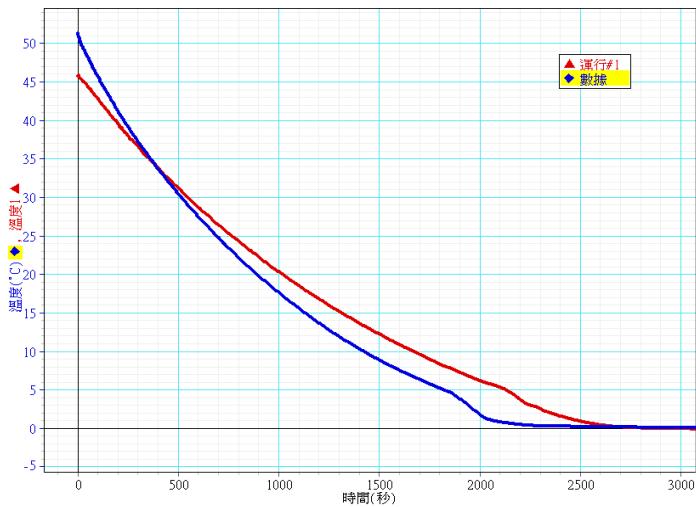
(1)35°C/40°C 〈圖七〉



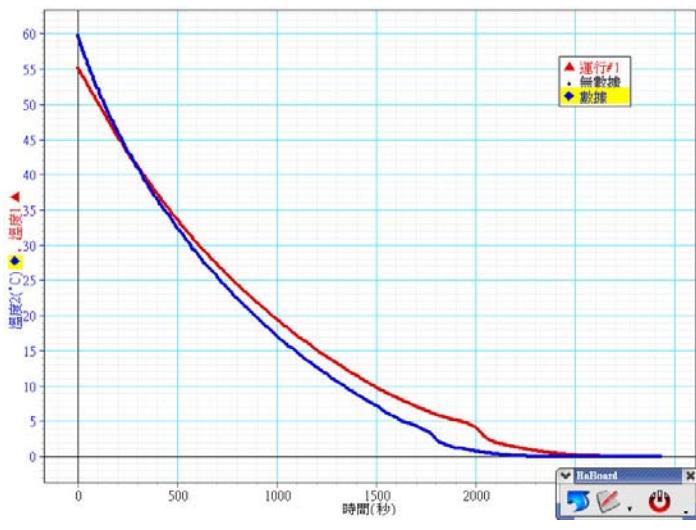
(2)40°C/45°C 〈圖八〉



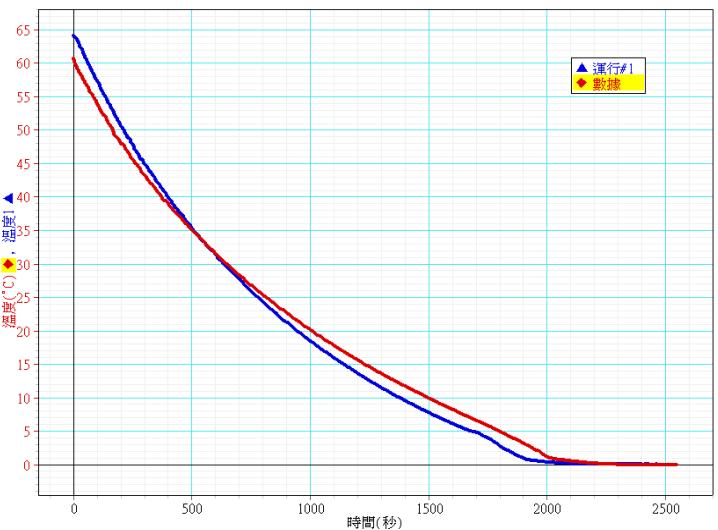
(3)45°C/50°C 〈圖九〉



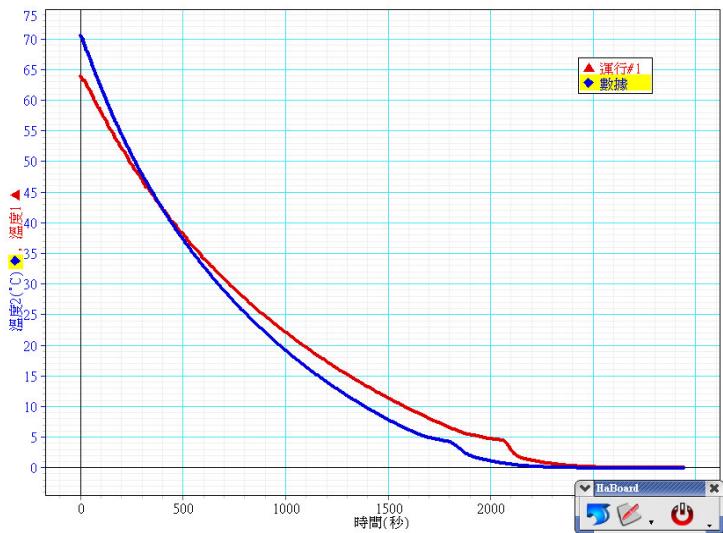
(5)55°C/60°C 〈圖十一〉



(6)60°C/65°C 〈圖十二〉

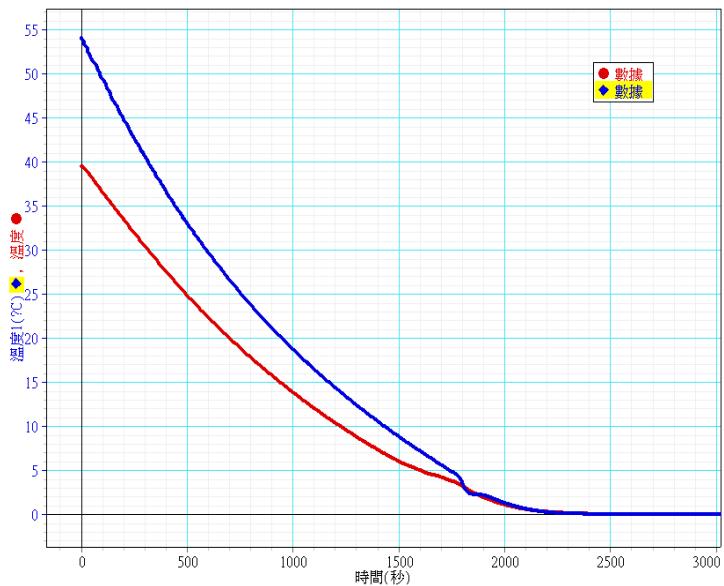


(7)65°C/70°C 〈圖十三〉

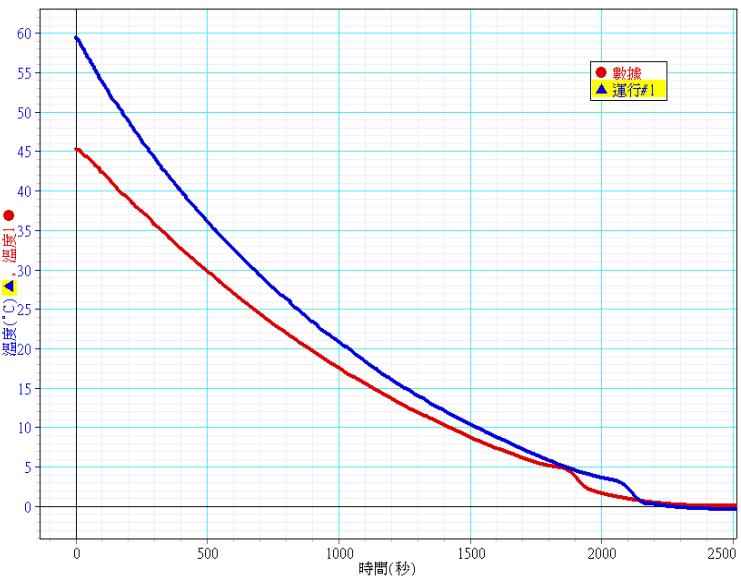


3、相差 15 度

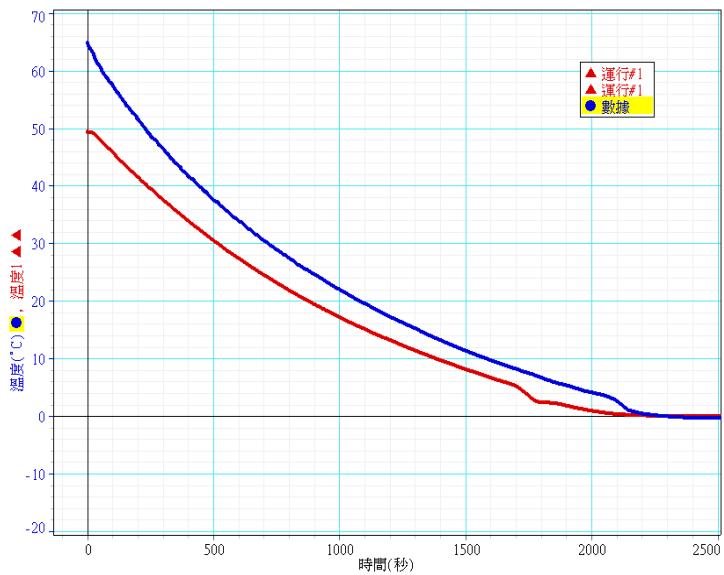
(1)40°C/55°C 〈圖十四〉



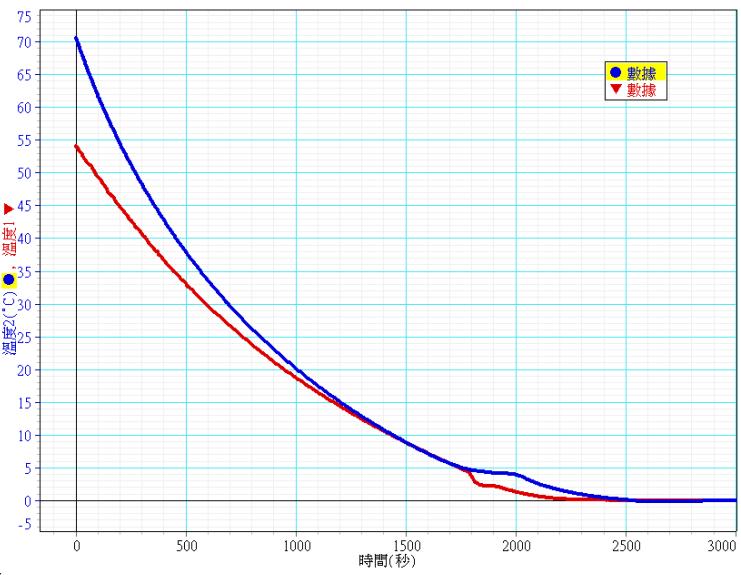
(2)45°C/60°C 〈圖十五〉



(3)50°C/65°C 〈圖十六〉

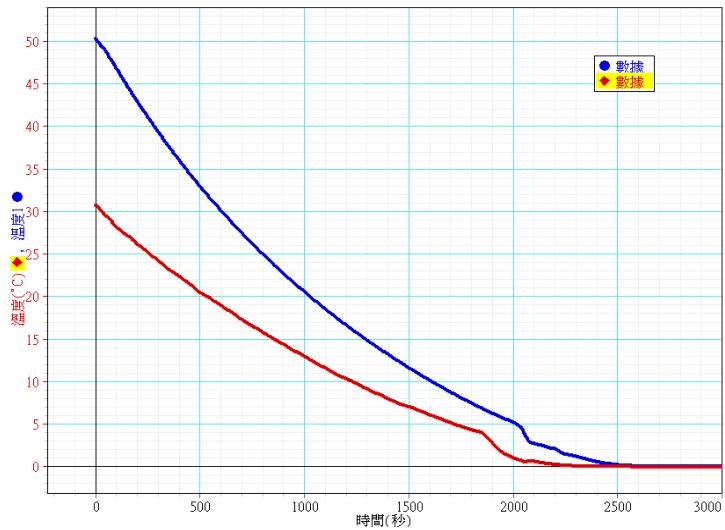


(4)55°C/70°C 〈圖十七〉

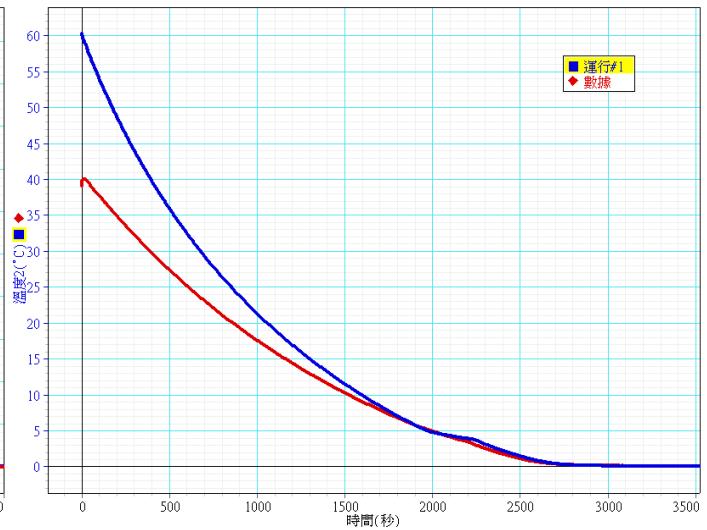


#### 4、相差 20 度

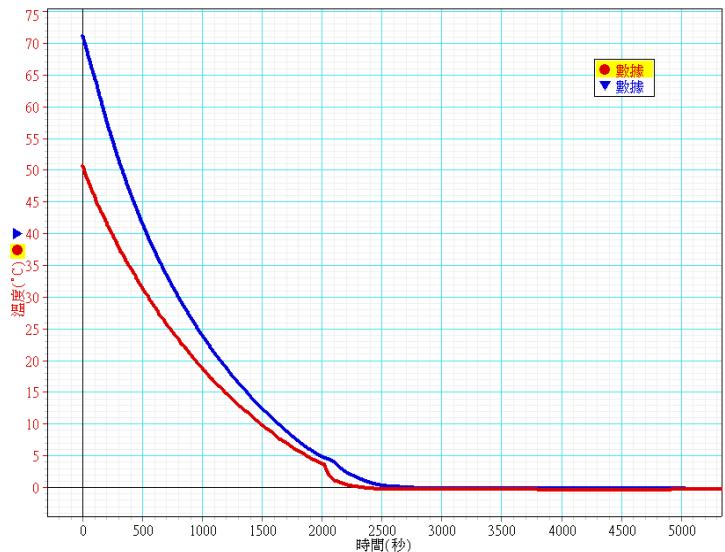
(1)30°C/50°C 〈圖十八〉



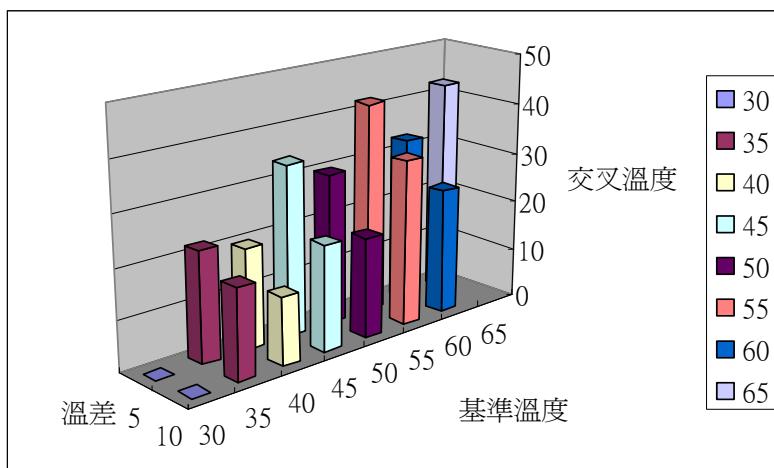
(2)40°C/60°C 〈圖十九〉



(3)50°C/70°C 〈圖二十〉



比較各基準初始溫度與溫差、交叉溫度的關係



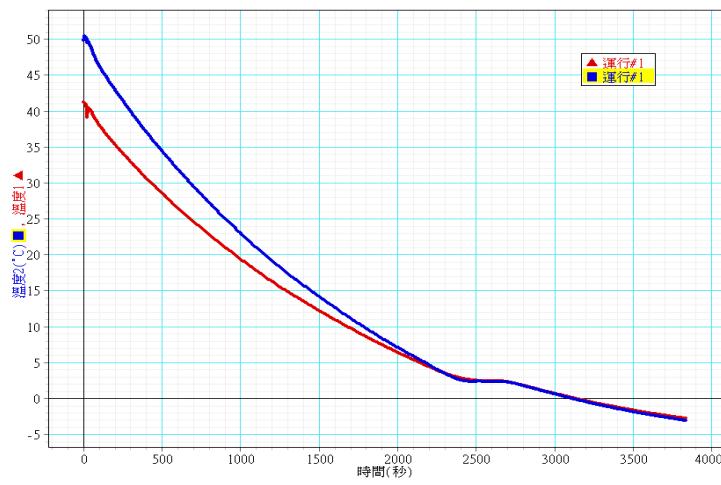
基準溫度	30	35	40	45	50	55	60	65
溫差 5	0	22	20	34	30	42	33	42.5
溫差 10	0	18	13.5	21	20	33	25	

註：同組溫度中，溫度較低者，定義為基準溫度。

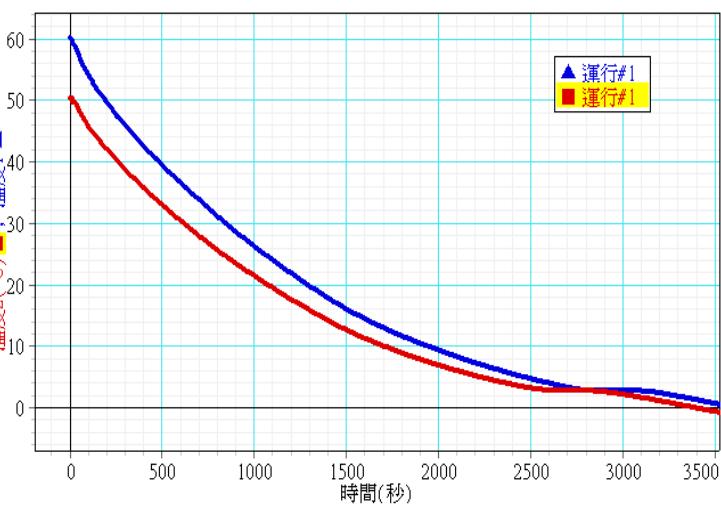
**實驗二**探討在水的表面添加油脂後，冷卻過程及結果的變化。

實驗結果：「彭巴效應」不再發生，且冷卻時間加長。

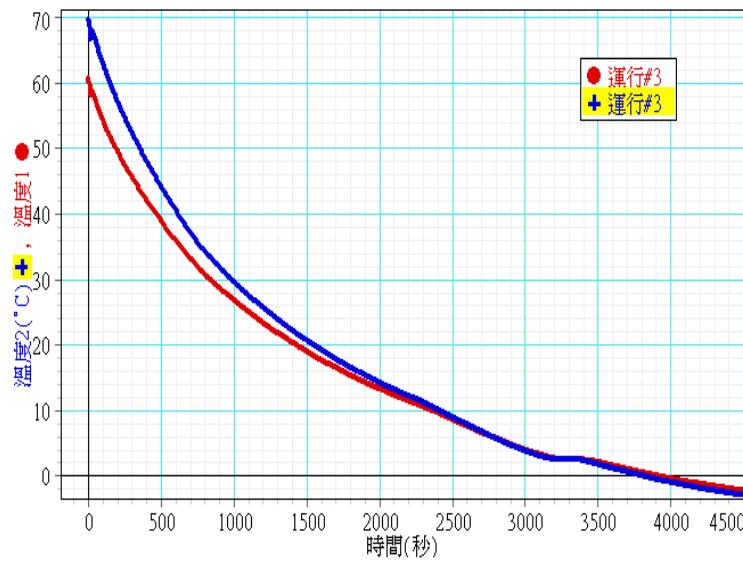
1、 $40^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C}$  〈圖二十一〉



2、 $50^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$  〈圖二十二〉

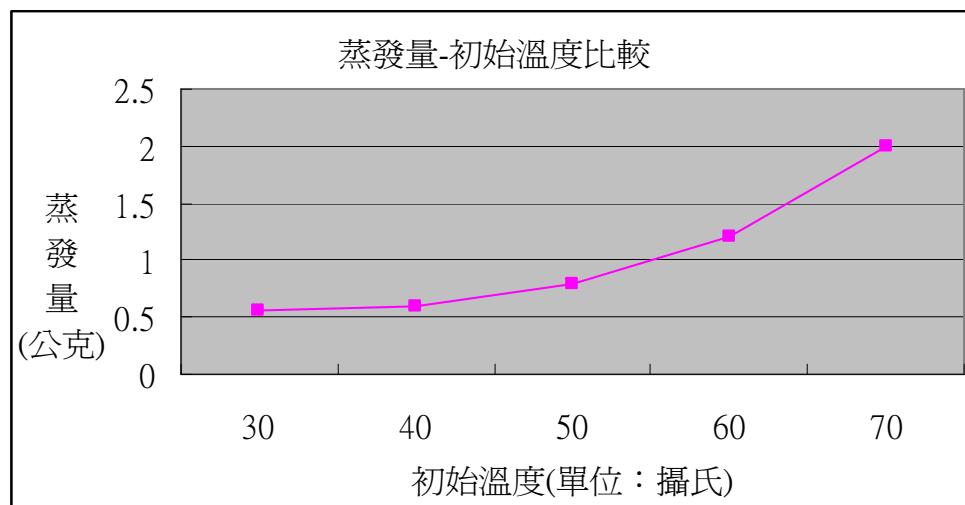


3、 $60^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$  〈圖二十三〉



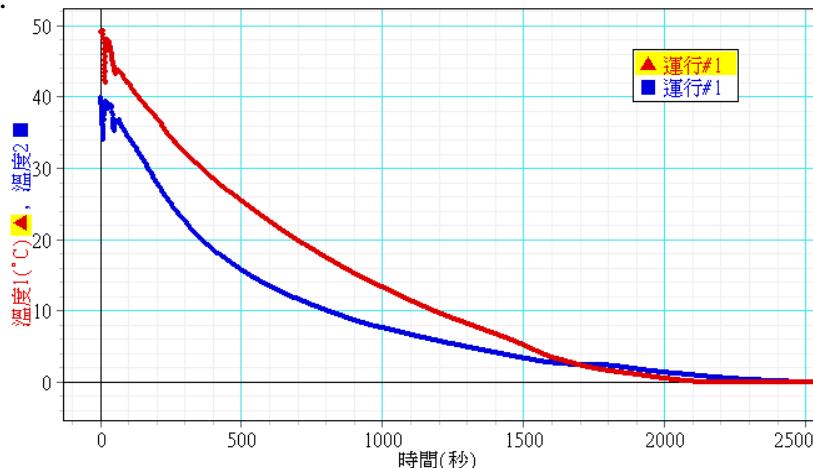
### 實驗三 探討各初始溫度下的蒸發量。

實驗結果：



### 實驗四 模擬冰箱結霜，水溫下降的情形。

實驗結果：



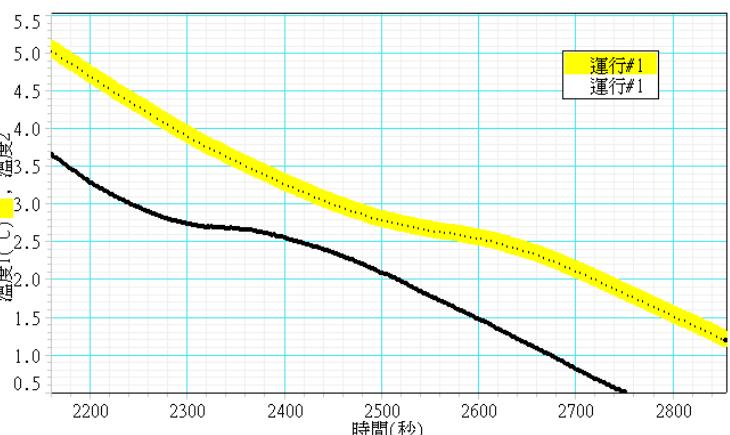
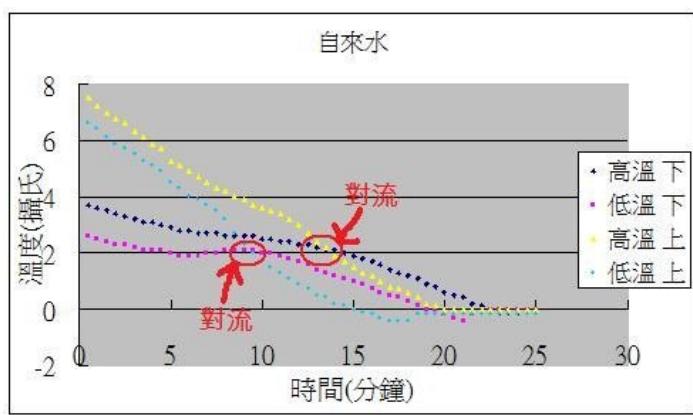
### 實驗五 探討對流是否受到不同容器的影響。

實驗結果：

將圖表在低溫時放大，如〈圖二十四〉〈圖二十五〉

1、試管組：〈圖二十四〉

2、燒杯組：〈圖二十五〉

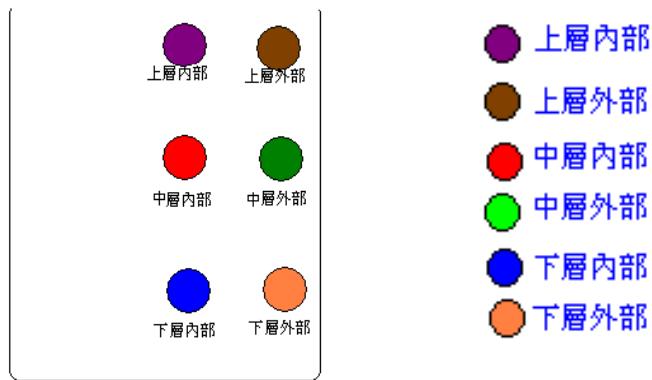


## 第二部份：冷卻機制

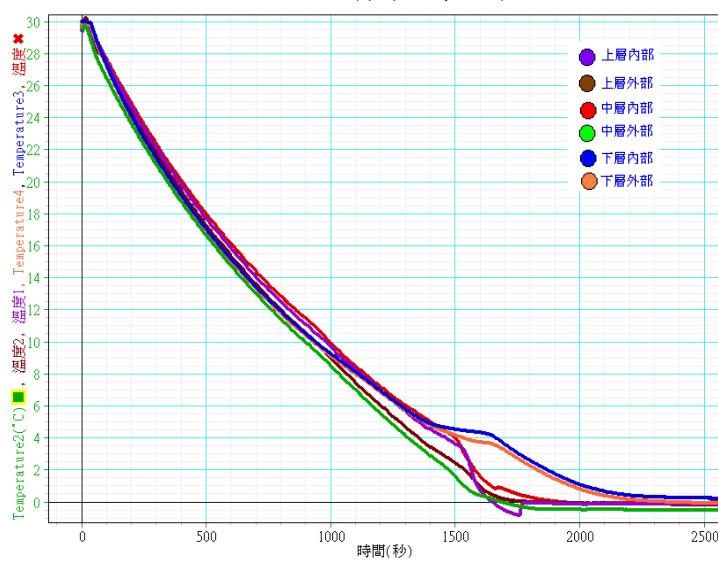
**實驗六**探討水在冷卻時，內部溫度的分布情形。

實驗結果：

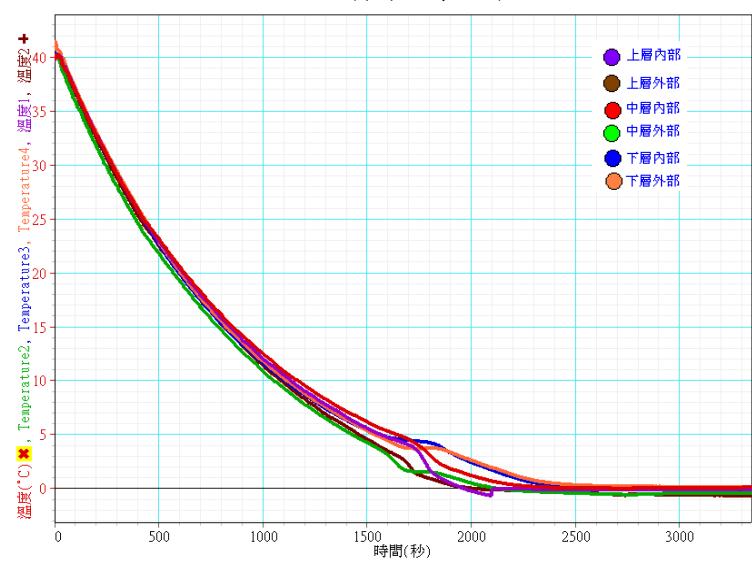
※圖例：下列圖片中線條顏色，代表溫度計在燒杯中擺放位置



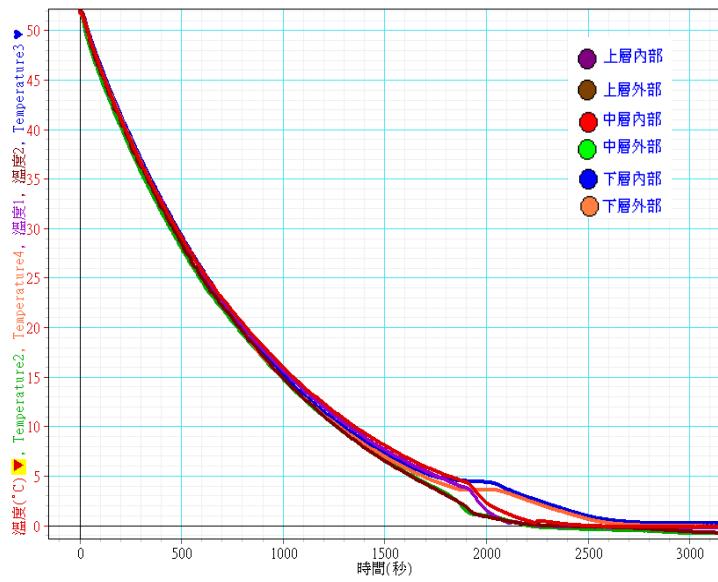
1、30°C 〈圖二十六〉



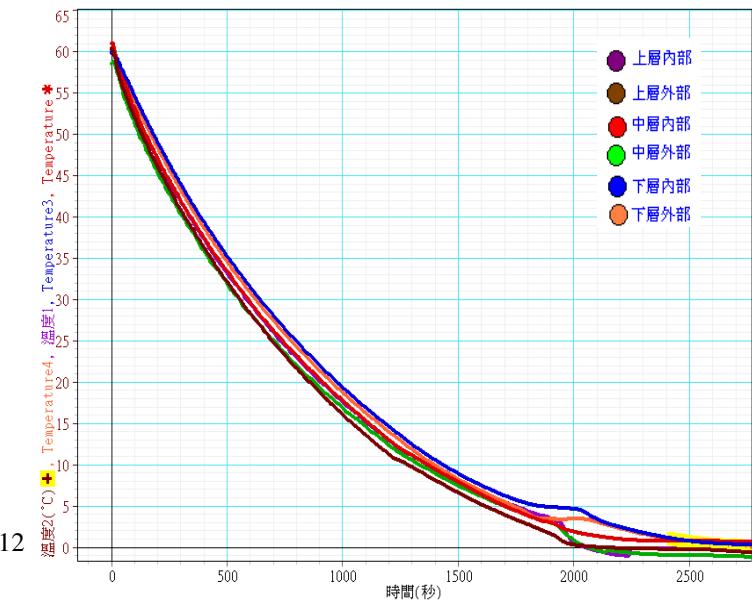
2、40°C 〈圖二十七〉



3、50°C 〈圖二十八〉



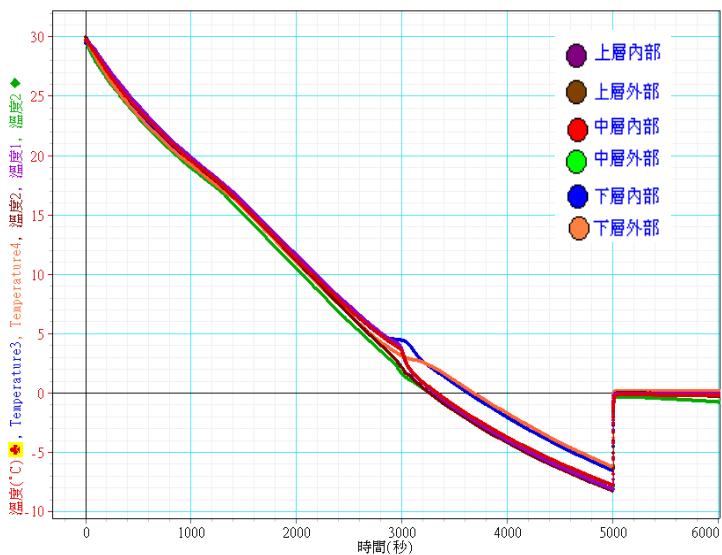
4、60°C 〈圖二十九〉



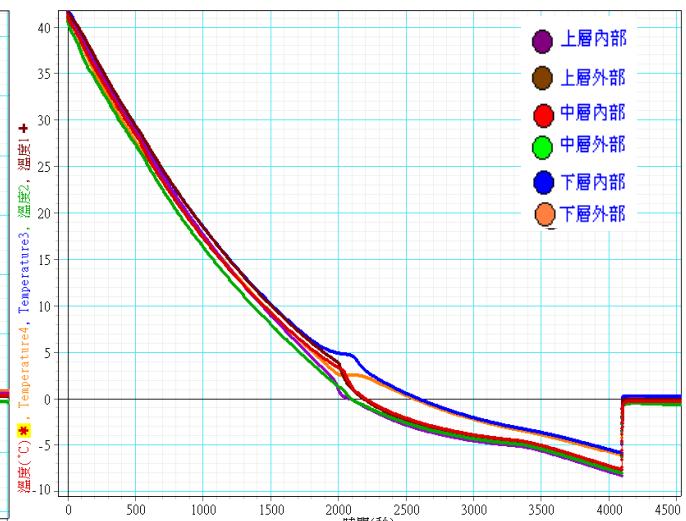
**實驗七**探討表層添加油脂的水，在冷卻時內部溫度的分布情形。

**實驗結果：**

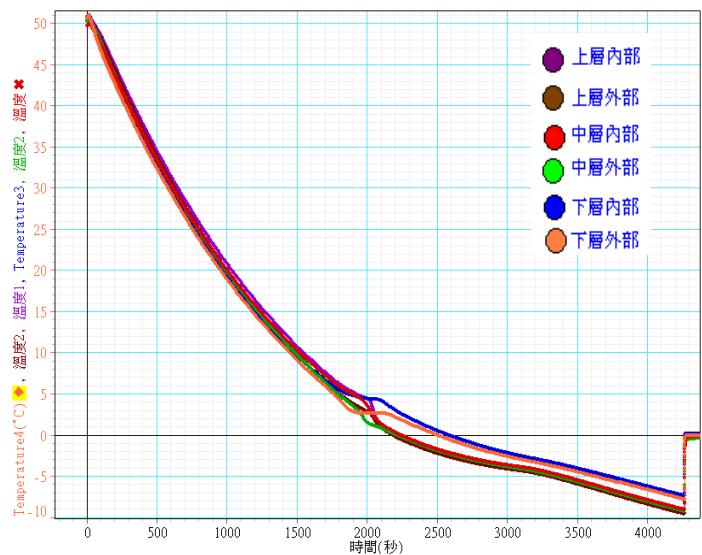
1、 $30^{\circ}\text{C}$  〈圖三十〉



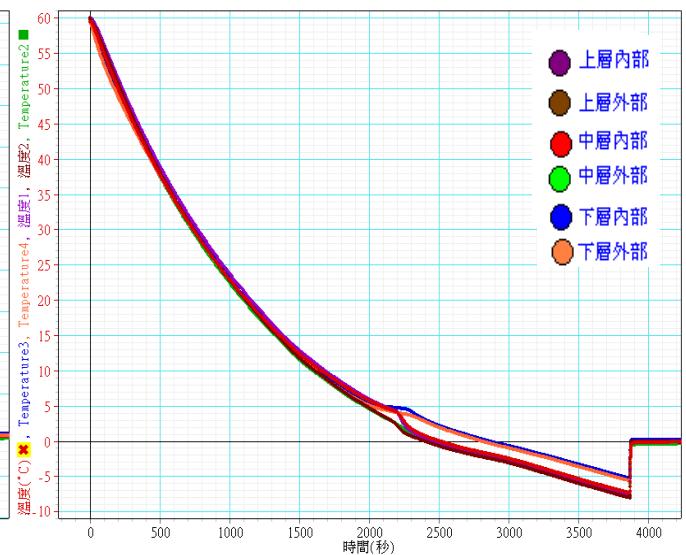
2、 $40^{\circ}\text{C}$  〈圖三十一〉



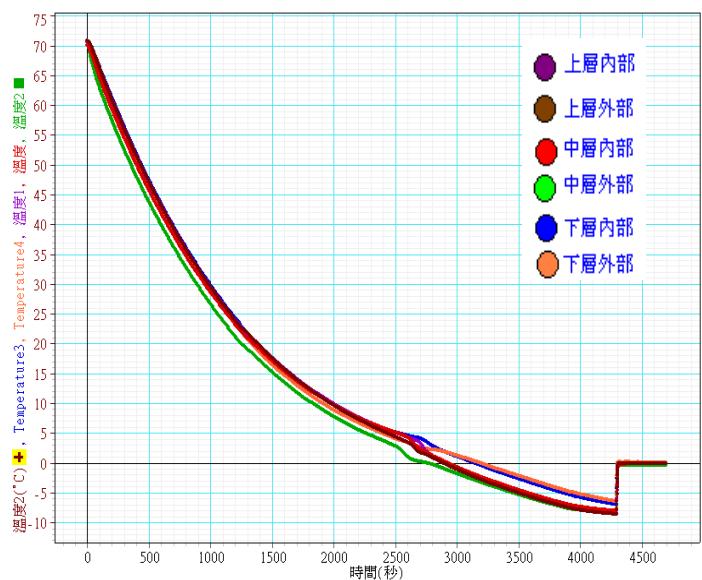
3、 $50^{\circ}\text{C}$  〈圖三十二〉



4、 $60^{\circ}\text{C}$  〈圖三十三〉



5、 $70^{\circ}\text{C}$  〈圖三十四〉



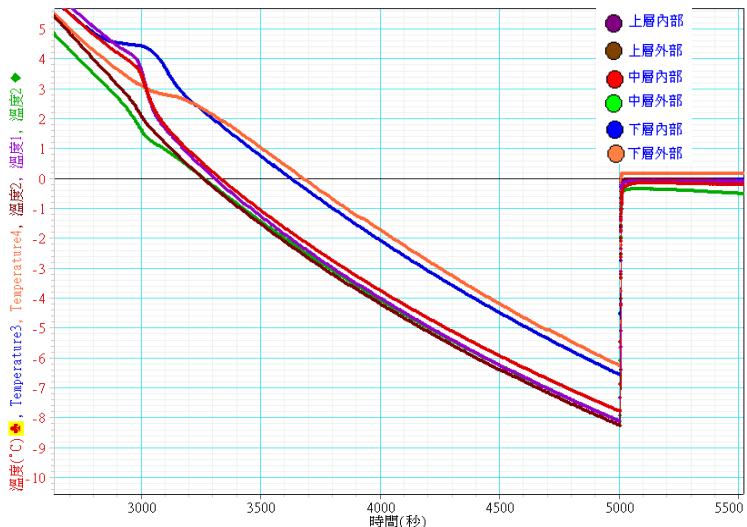
### 第三部份：過冷效應

#### 實驗八添加油脂所產生的過冷效應。

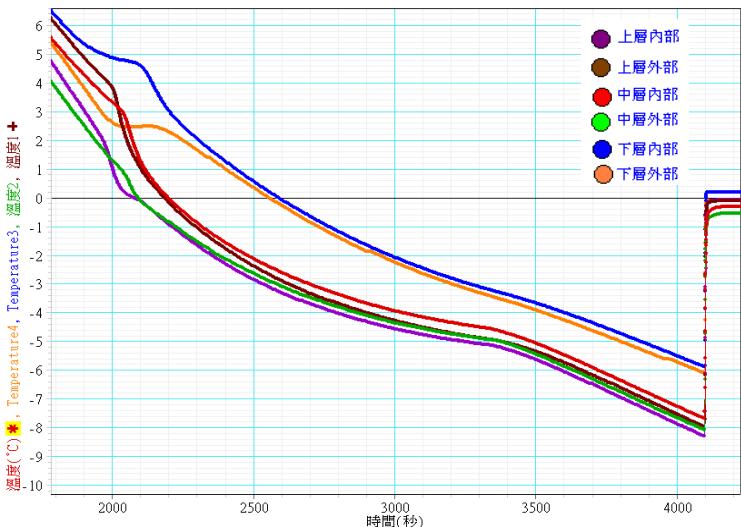
實驗結果：

將〈圖三十一〉至〈圖三十四〉取低溫部分放大並分析，如〈圖三十五〉至〈圖三十九〉。

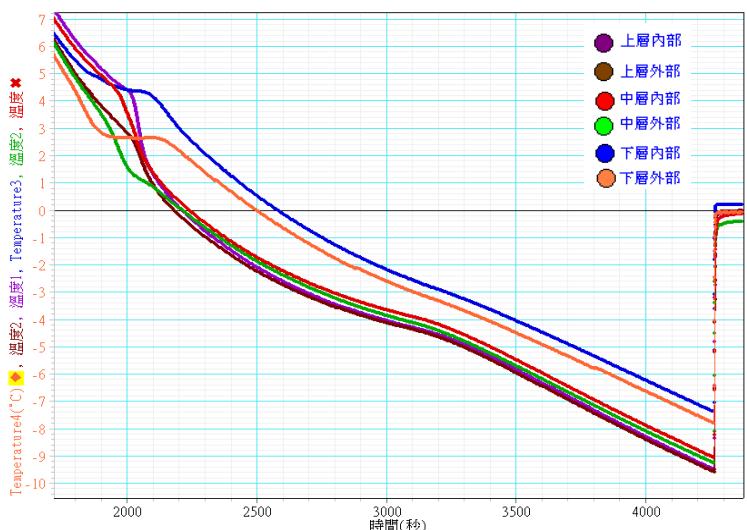
1、30°C 〈圖三十五〉



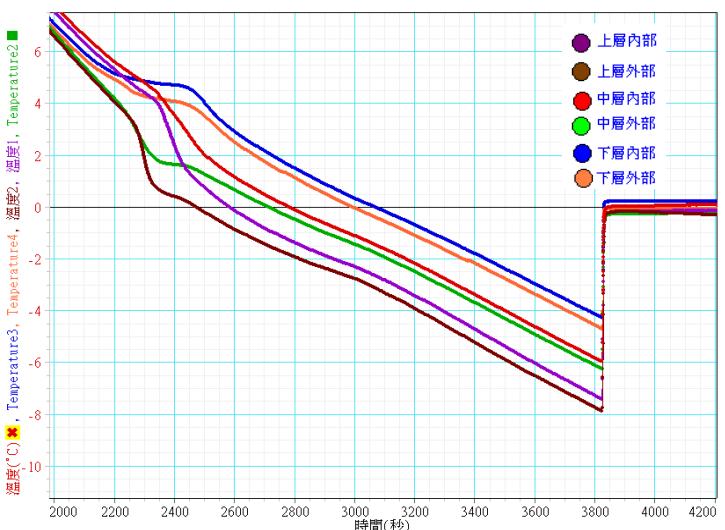
2、40°C 〈圖三十六〉



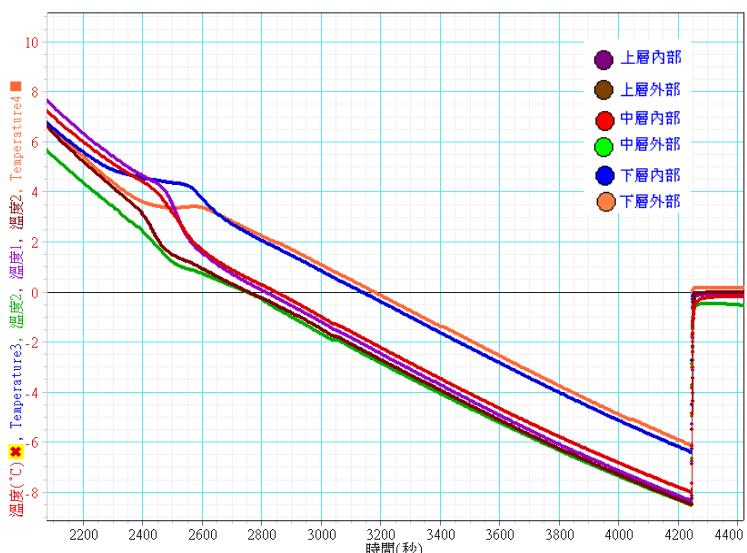
3、50°C 〈圖三十七〉



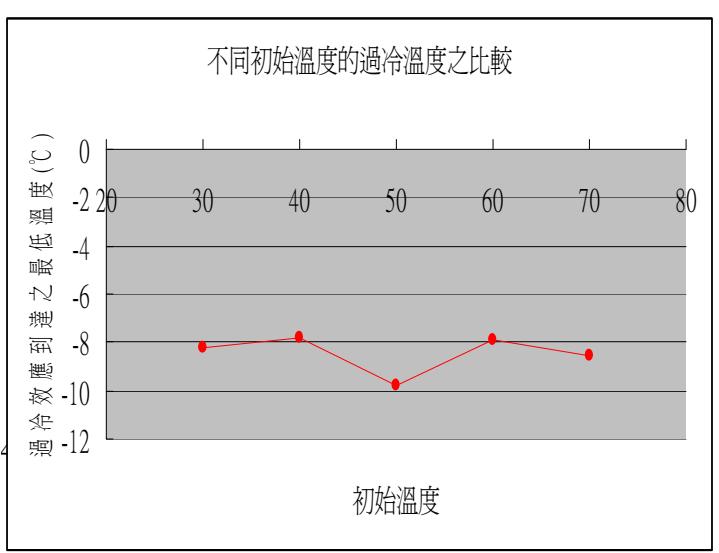
4、60°C 〈圖三十八〉



5、70°C 〈圖三十九〉



不同初始溫度的過冷溫度之比較

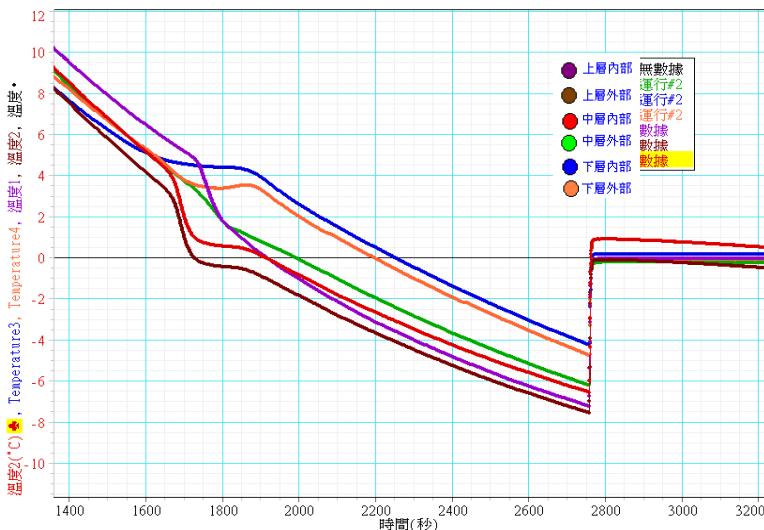


## 實驗九 探討添加油脂的各類溶液，過冷效應的發生情形。

實驗結果：

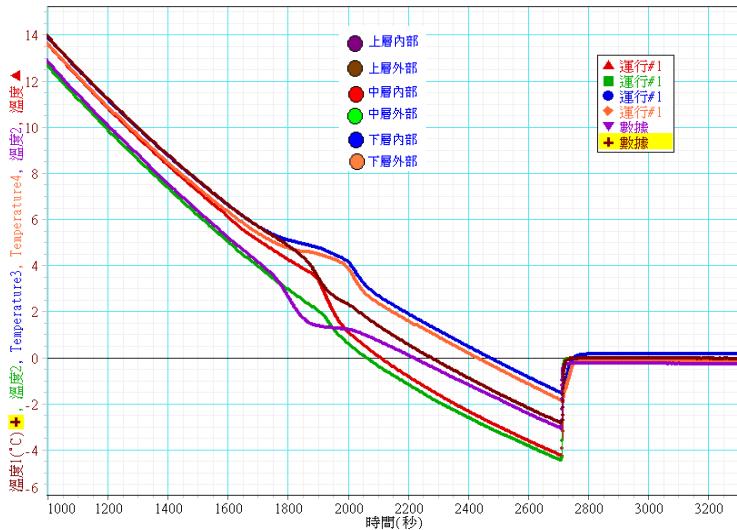
1、加入 0.025 克的糖水(真溶液)

(1)50°C (圖四十)



2、加入 5ml 的牛奶(膠體溶液)

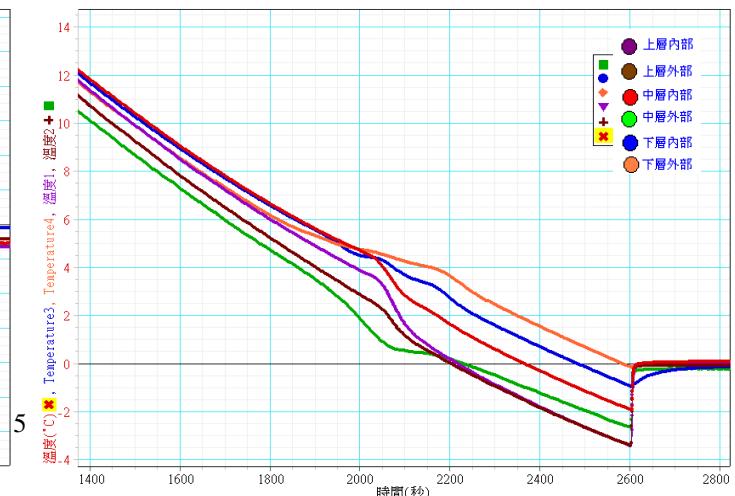
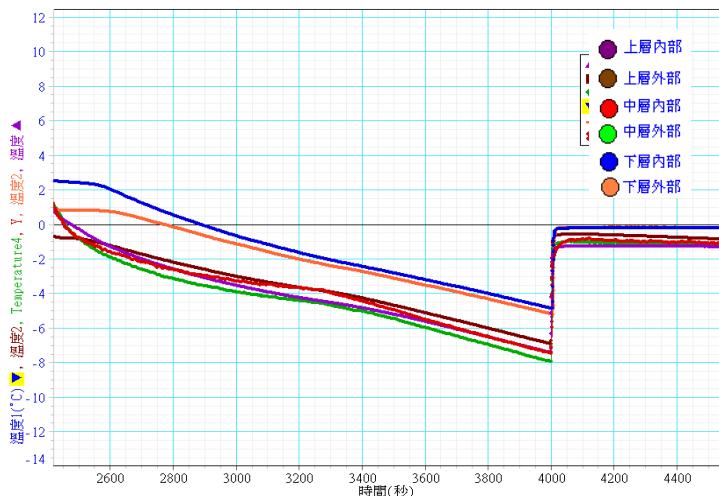
(1)50°C (圖四十一)



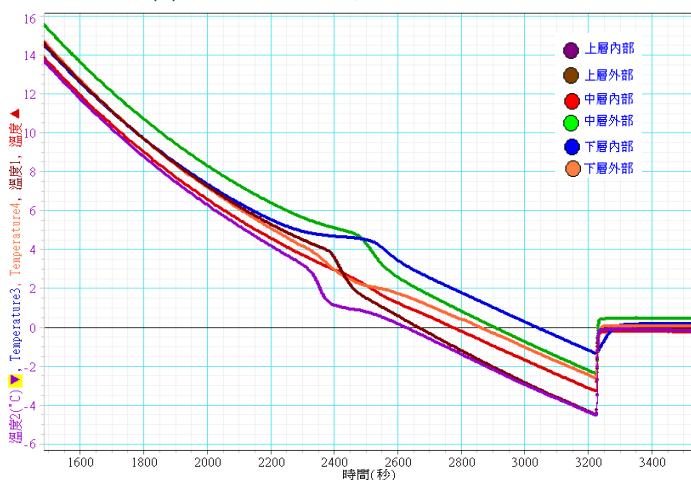
3、加入 0.05 克的碘化銀 (AgI，水的凝結核)

(1)30°C (圖四十二)

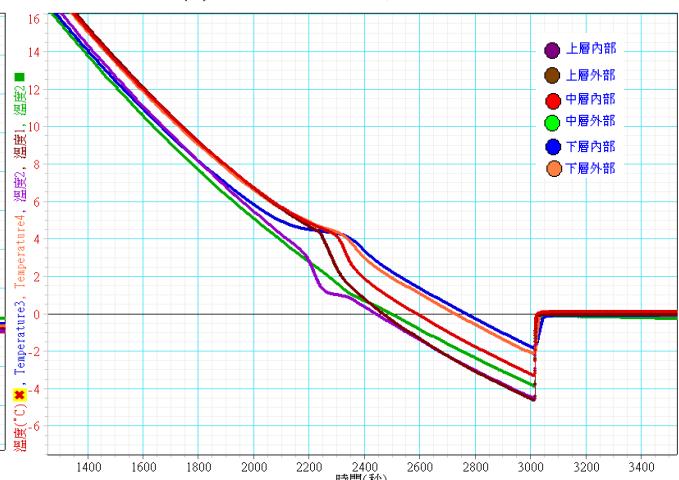
(2)40°C (圖四十三)



(3)50°C (圖四十四)



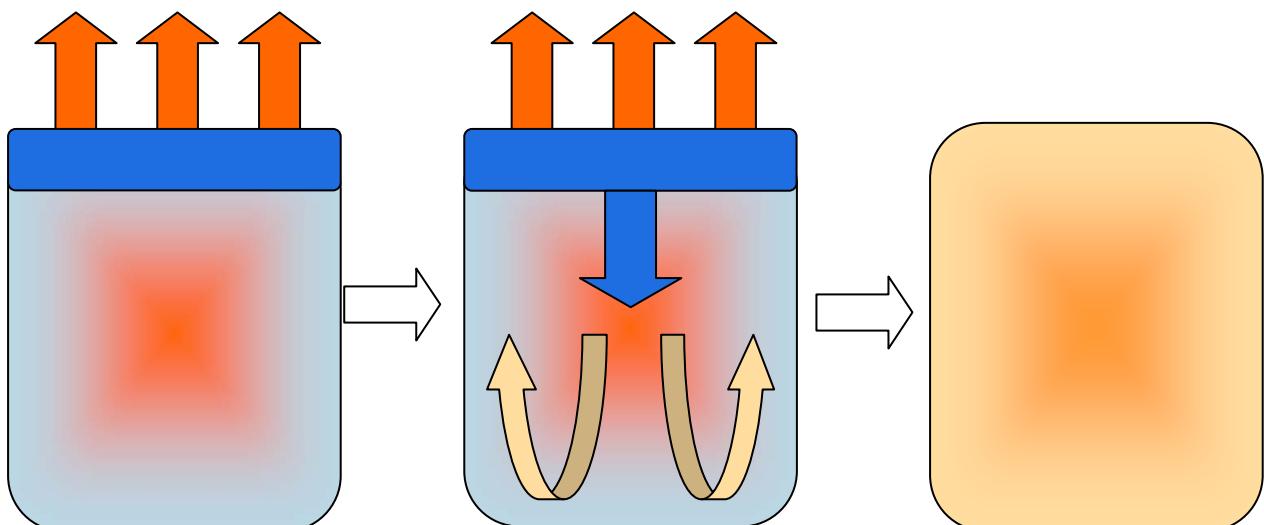
(4)60°C (圖四十五)



## 陸、討論

(一) 由實驗可觀察到：對於某一基準溫度而言，與其差距為 5°C 者有最明顯的彭巴效應(交叉溫度較高)。

(二) 由實驗（二）中選用添加油脂的方法抑制蒸發，可以阻止蒸發過程中水量的散失，並且有效將汽化熱保存在水中，若採「加蓋」的方式，則表面仍舊會蒸發，使汽化熱散失。實驗顯示，添加油脂，也就是抑制了蒸發後，彭巴效應明顯的被抑制。由此可知，蒸發亦或是蒸發附帶的效應對彭巴效應的發生有密切的關聯。由參考文獻我們得知，許多人想要去除蒸發的影響，採用加蓋的方式將蒸發所帶走的水量保存在容器裡，但彭巴效應依舊發生，此結果似乎顯示表層所帶走的蒸發熱才是彭巴效應的主因，而非蒸發散失的水量所造成。



關於彭巴效應之推論：嘗試計算各溫度下，因傳導均勻散熱所拉近的溫度。發現在各組別溫度交叉時，傳導會使其溫度差距由  $10^{\circ}\text{C}$  均約縮小至  $+5^{\circ}\text{C}$ 。

設冷卻率常數  $k$  熱容  $C$  冰箱溫度  $T_0$

未知水在某時刻的溫度  $T$

未知水的初始溫度  $T_1$  未知水在實際交叉溫度時之溫度  $T_x$

較高溫者初始溫度  $T_{1A}$  較高溫者在實際交叉溫度時之溫度  $T_A$

較低溫者初始溫度  $T_{1B}$  較低溫者在實際交叉溫度時之溫度  $T_B$

兩杯的初始溫差  $\Delta T$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k(T - T_0) = \frac{-C \times \Delta T}{\Delta t}$$

$$\int_0^t -\frac{k}{C} dt = \int_{T_1}^T \frac{1}{T - T_0} dt \quad \rightarrow \quad -\frac{k}{C} t = \ln \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$$

$$\text{令 } -\frac{k}{C} = \beta \quad \rightarrow \quad e^{-\beta t} = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$$

$$T = T_0 + (T_1 - T_0)e^{-\beta t} \quad \rightarrow \quad T_x = T_0 + (T_{1B} - T_0)e^{-\beta t}$$

$$e^{-\beta t} = \frac{T_x - T_0}{T_{1B} - T_0}$$

$$T_A = T_0 + (T_{1A} - T_0)e^{-\beta t} \quad T_B = T_0 + (T_{1B} - T_0)e^{-\beta t}$$

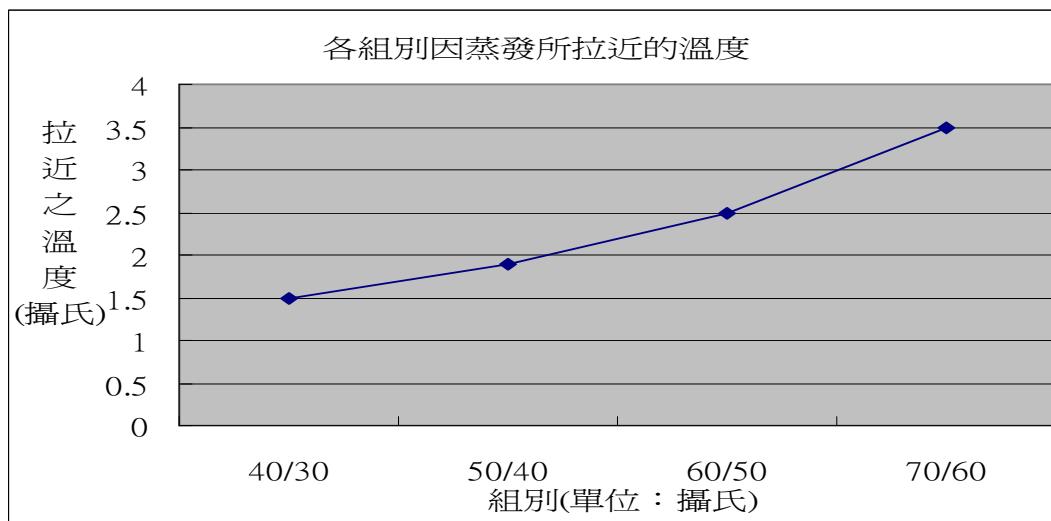
$$T_A - T_B = \Delta T \cdot e^{-\beta t} = \Delta T \cdot \frac{T_x - T_0}{T_{1B} - T_0}$$

再將實驗所測得之蒸發所拉近的溫度加入，會得到下表(各組別因其他效應所拉近之溫度)

組別	30/40	40/50	50/60	60/70
其他效應拉近之溫度	3.5	3.1	2.5	1.5

假設其它效應是因蒸發帶動對流所產生之影響，推測對流的影響是：將冷卻時水體內層溫度較高者翻轉至外層，使外層冷卻率再度增加，如圖。此一效應是計算均勻傳導冷卻時所沒有考慮到的。那麼為何對流較不劇烈者，因對流所拉近的溫度較多？推斷是其到達交叉溫度的時間較久，此效應可作用的時間較長，使得最後兩者溫度交叉。

(三) 水的蒸發量與初始溫度的關係是：溫度愈高，蒸發量愈大，且差距遞增；各組別只考慮蒸發所拉近的溫度亦是。

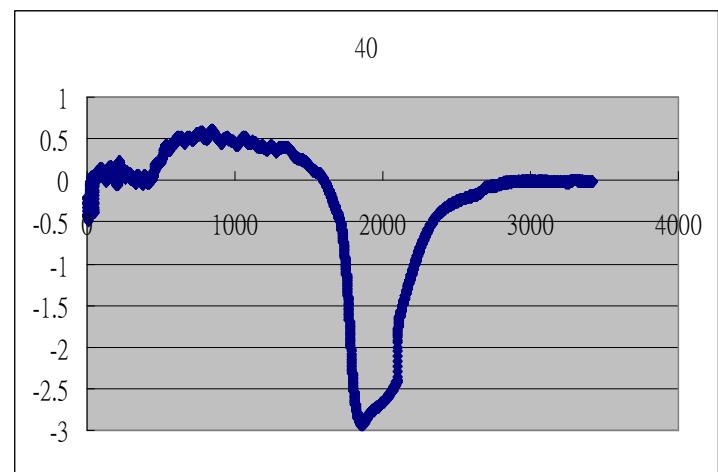
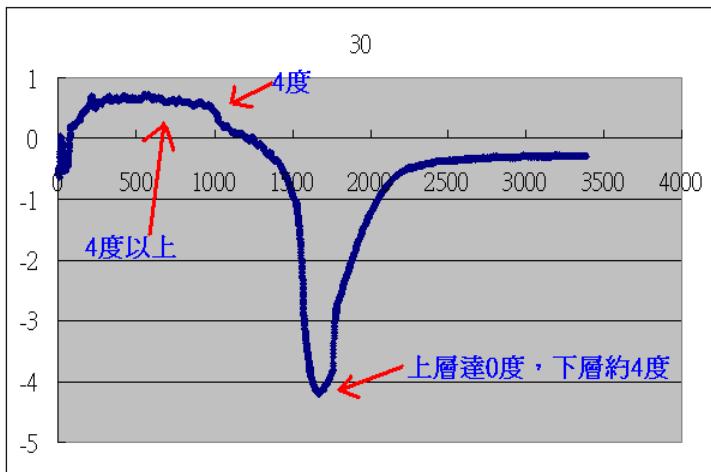


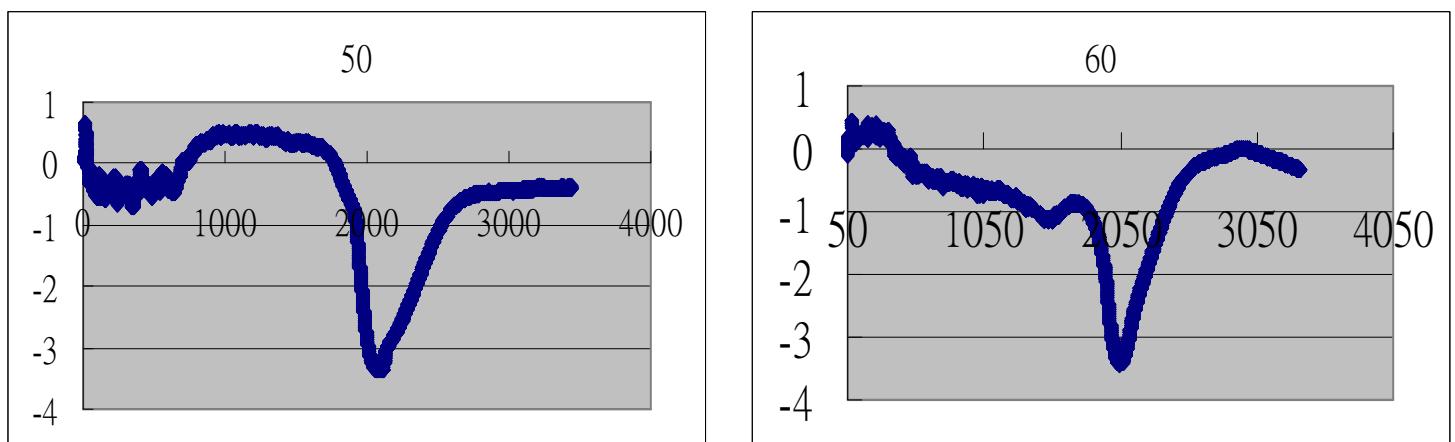
(四) 由模擬冷凍庫結霜的實驗中，將燒杯放在冰塊上（模擬結霜）並不會促進彭巴效應的發生，甚至會有反效果。由前述對於彭巴效應的推斷之觀點切入，則可解釋此現象：彭巴效應是因蒸發時所產生的上下溫差帶動的對流所驅動，而此實驗的冷卻情形為上熱下冷，並不構成對流的要素，熱水因而失去了對流較快的優勢，導致其溫度追不上冷水。

(五) 當容器截面積過小時，冷卻時產生的對流會被阻礙，導致冷卻至 4°C 以下後，上下溫度交叉的時間被延緩。

(六) 如圖表所示，冷卻中的水均有此一趨勢：初期因蒸發較旺盛，導致有上下逆溫的情形，而對流便是此時所驅動；待蒸發趨緩後，則會有些微的熱頂效應。可以觀察到，初始溫度較高的水，因蒸發所產生上下逆溫的現象所維持的時間較長，因此帶動了較強烈的對流。

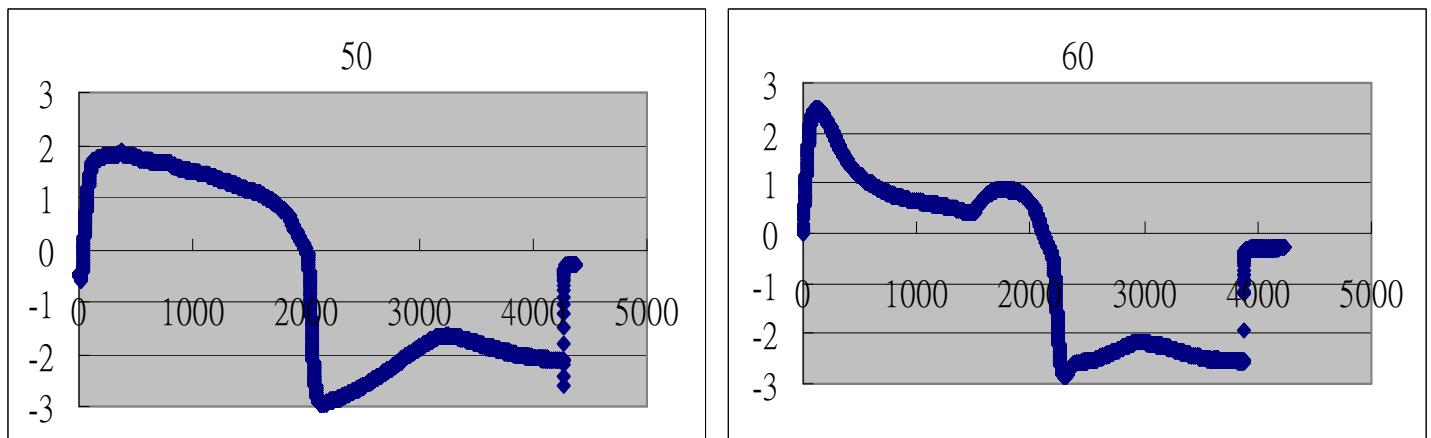
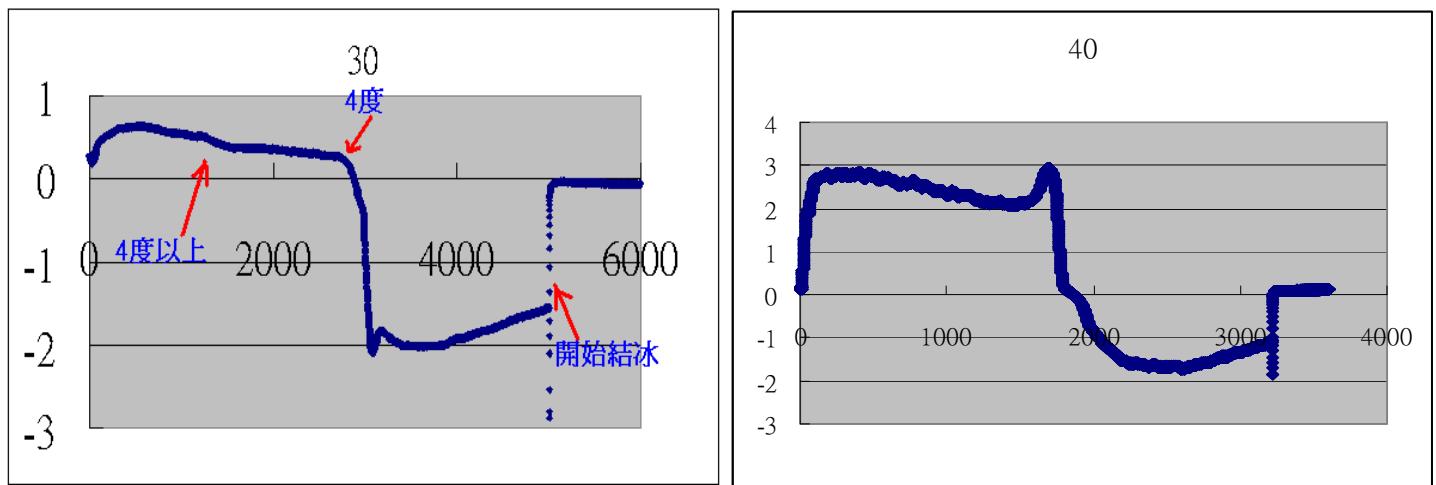
### 自來水組：



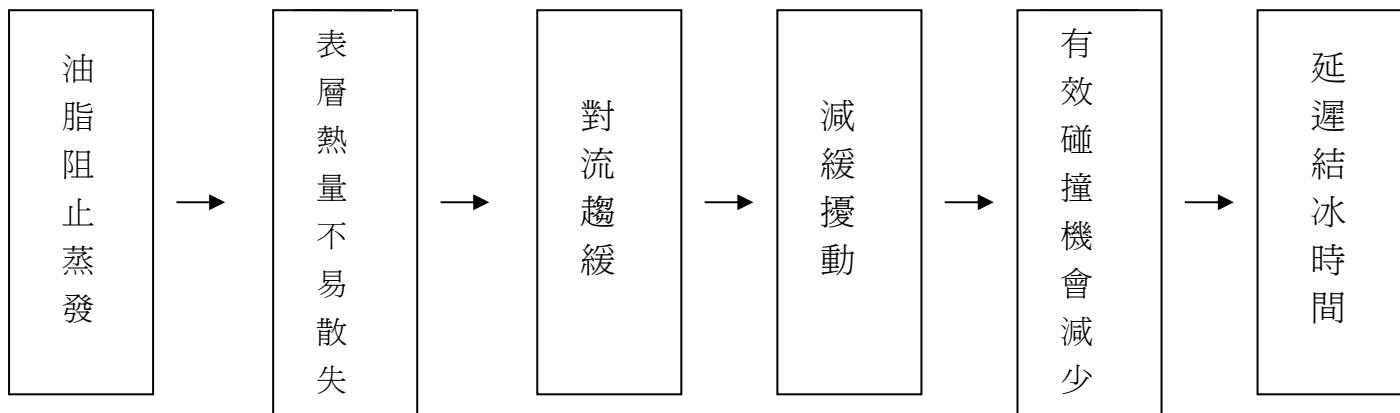


(七) 觀察添加油脂的實驗中，上下溫差與時間的關係，可以看到，由於在表層添加油脂，使表層汽化熱被保存，造成上層溫度一直都較高的情形，因此不造成對流，而不發生彭巴效應。並且在達到 $4^{\circ}\text{C}$ 以後，上下的溫差一直被保存至結冰為止。

#### 添加油脂組：



(八) 對於過冷效應，普遍的解釋是：急速冷卻下，由於冷卻時間短，到達冰點以下的水分子尚未找到適合的成核點作有效碰撞，故造成其低於冰點卻未結冰。當其達到有效碰撞時便開始結冰，此瞬間大量結冰所放出的勢能造成溫度驟增至冰點。但從實驗的結果得知，即使是長達 1 到 2 小時的冷卻仍會有明顯的過冷效應，且多只在添加油脂的實驗中才觀察的到，我們判斷此實驗造成過冷效應的原因如下：



(九) 從成核點實驗的結果可以明顯的看出不論是真溶液(加入糖)、膠體溶液(加入牛奶)或是加入碘化銀都有明顯的過冷效應，但相對於真溶液及膠體溶液，碘化銀的過冷溫度較高，我們推測這是因為碘化銀為水的凝結核，成核點較易形成，雖然碘化銀能夠縮短過冷效應的時間，但這效應卻不及於蒸發造成對流的影響。

## 柒、結論

- (一) 彭巴效應的發生只限在 30°C 以上，且溫差不得大於 10°C。
- (二) 擇一基準溫度，則從實驗結果得知，溫差 5°C 所發生的彭巴效應均較明顯。
- (三) 彭巴效應的原因為：初溫高、蒸發旺盛的水有較強烈的對流，形成較佳的冷卻效果。
- (四) 若冰箱底層結霜，則會阻礙冷卻時的對流，而不發生彭巴效應。
- (五) 截面積過小的容器會阻礙水冷卻時內部的對流。
- (六) 蒸發會帶動水的對流。
- (七) 水在冷卻初期會因蒸發旺盛而「上冷下熱」，後則因熱水密度小而產生「熱頂效應」。
- (八) 當水冷卻時，若對流情形愈不佳，過冷效應愈容易發生。
- (九) 水中是否有成核點對過冷效應影響不大，只會縮短其發生期間。

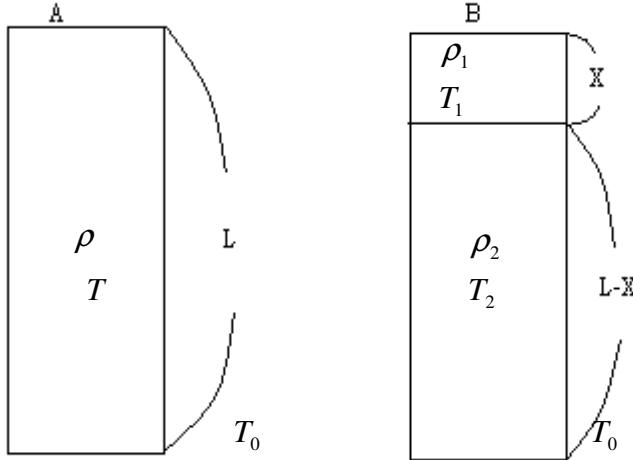
## 捌、參考資料：

- 一、許博硯(2008)。彭巴效應及水凝固之探討 A Study of the Mpemba Effect and Water Solidification。國立台灣科技大學機械工程系：碩士論文。
- 二、蔡坤憲（譯）（2001）。觀念物理3。臺北市：天下遠見出版股份有限公司。
- 三、姚珩(2009)。普通高級中學物理(下)。臺南市：翰林出版事業股份有限公司。

## 附錄一

證明「總熱量相同時，縱向熱密度分佈的均勻程度與傳導冷卻速率無關」

證明左右沒有差別



設  $\rho$  為熱密度，也就是單位體積的熱量。

$$\rho = \frac{Q}{V} \quad \text{而溫度 } T \propto \rho$$

設全長  $L$  的液體，溫度均勻時，熱密度為  $\rho$ ，溫度為  $T$ ，外界溫度為  $T_0$ 。此時期熱傳導

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto \frac{A \cdot \Delta T}{d} \propto L \cdot (T - T_0) \quad \text{接觸面積 } A \propto L$$

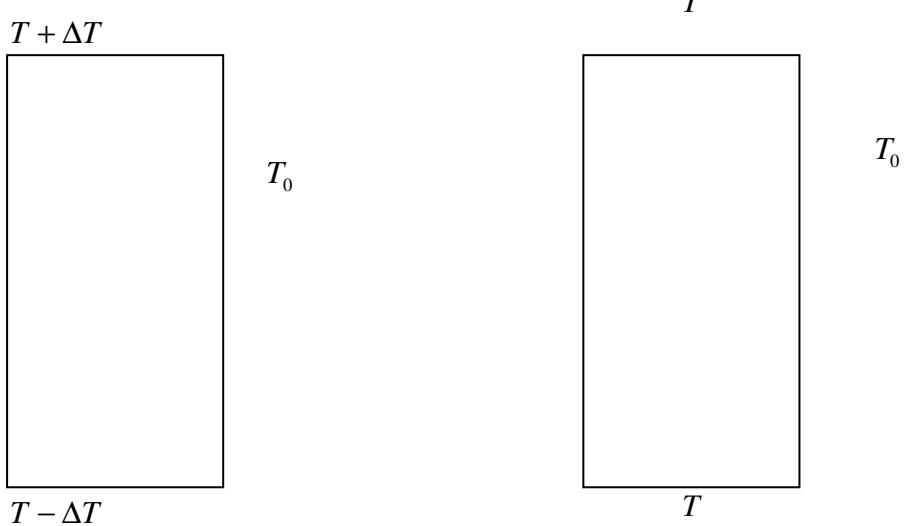
$$\text{當分為上下層的 B 狀態時 } T_1 = \frac{\rho_1}{\rho} T \quad T_2 = \frac{\rho_2}{\rho} T$$

$$\text{且總熱量相同故 } \rho L = \rho_1 x + \rho_2 (L - x) \rightarrow \rho_2 = \frac{\rho L - \rho_1 x}{L - x}$$

$$\begin{aligned} \text{則 } \frac{\Delta Q}{\Delta t} &= x(T_1 - T_0) + (L - x)(T_2 - T_0) = x\left(\frac{\rho_1}{\rho} T - T_0\right) + (L - x)\left(\frac{\rho_2}{\rho} T - T_0\right) \\ &= x \frac{\rho_1}{\rho} T - xT_0 + (L - x)\left(\frac{\rho L - \rho_1 x}{\rho(L - x)} T - T_0\right) \\ &= x \frac{\rho_1}{\rho} T - xT_0 + LT - \frac{\rho_1}{\rho} xT - (L - x)T_0 = L(T - T_0) \end{aligned}$$

故縱向熱密度分佈的均勻程度與容器之側向傳導冷卻速率無關。

證明其上下傳導冷卻無差別：



設截面積 A

左圖為上下有溫差，但平均溫度為  $T$ 。右圖為上下無溫差，溫度為  $T$ 。

冷卻環境溫度  $T_0$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto A \cdot \Delta T$$

左圖傳導冷卻速率：

$$A(T + \Delta T - T_0) + A(T - \Delta T - T_0) \quad \text{--(1)}$$

(1)式與(2)式相等 故上下無差別

右圖傳導冷卻速率：

$$2A(T - T_0) \quad \text{--(2)}$$

## 附錄二

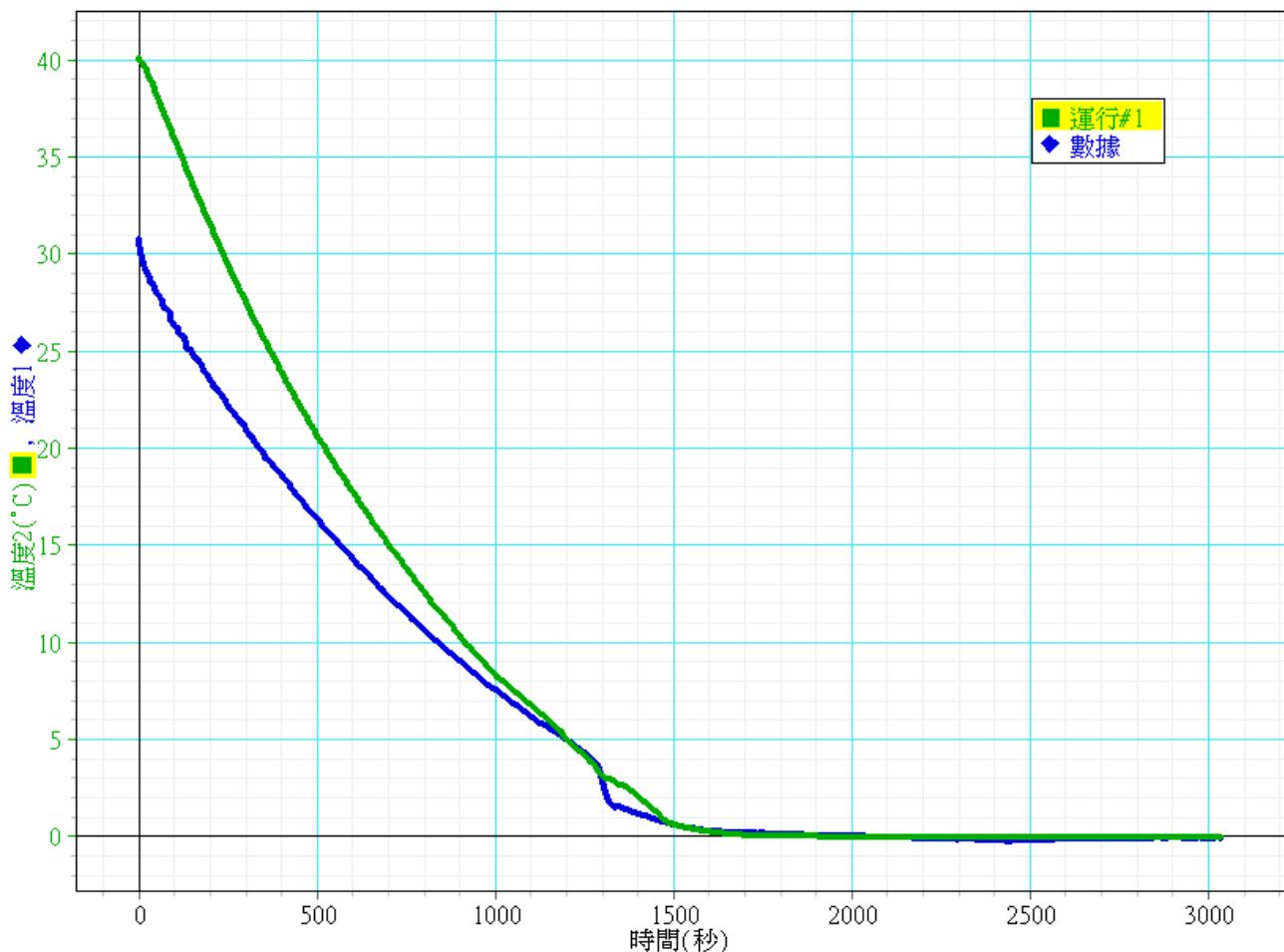
我們好奇：在冰箱冷凍庫這個封閉的環境下，若蒸發使得其內部的溼度改變，是否會影響到水體的蒸發，於是我們做了以下實驗。

### 實驗步驟

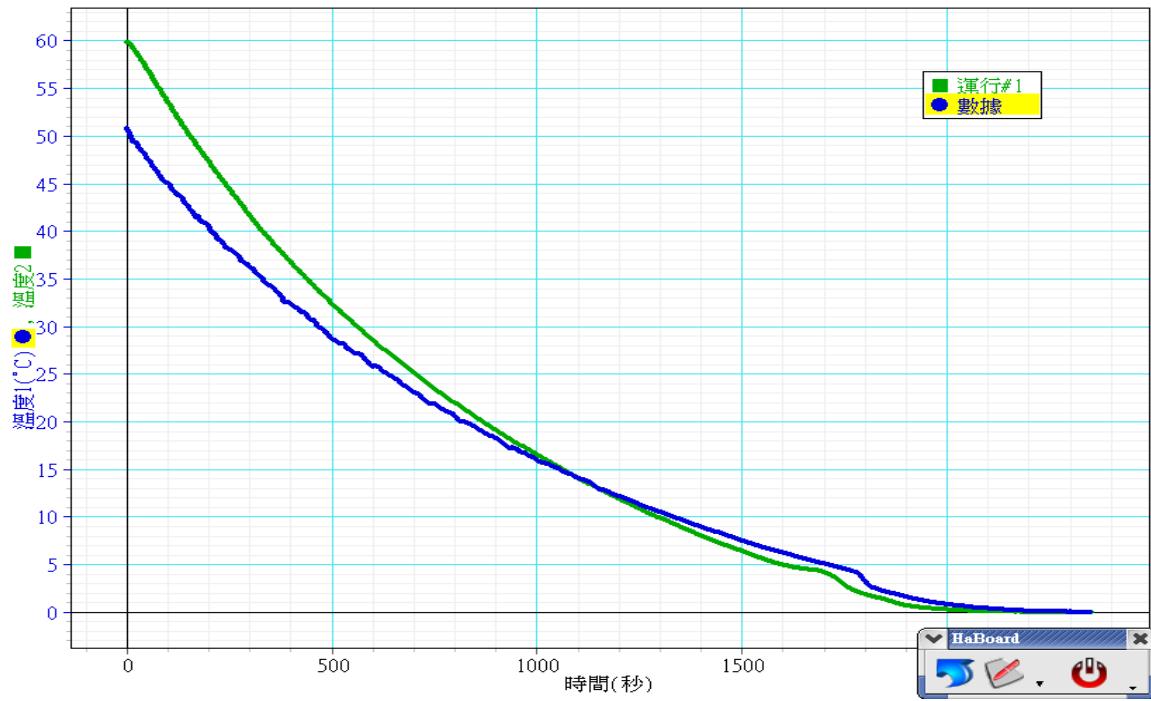
- 1、在容量為 100 毫升的燒杯中，裝入 75 毫升的自來水。
- 2、用加熱器分別隔水加熱至不同溫度，溫差為  $10^{\circ}\text{C}$ 。
- 3、在冰箱冷凍庫角落預先放入沸水（用大口徑的燒杯盛裝）以增加溼度。
- 4、在燒杯下層放置溫度感應器，並置入冰箱冷凍庫。
- 5、以儀器（GLX）每 0.5 秒紀錄一次數據，匯入電腦。
- 6、觀察及分析數據。

### 實驗結果：

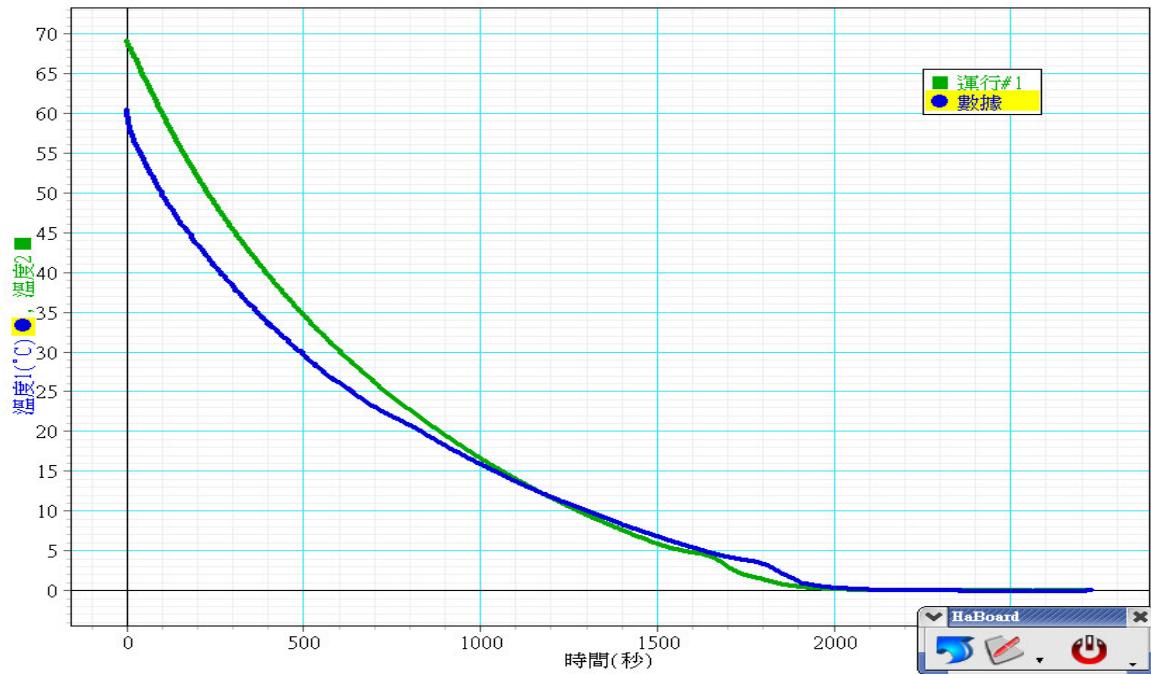
1、 $30^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$



2、 $50^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$



3、 $60^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$



討論：

由實驗結果可以看到，在改變冷卻環境的溼度後，彭巴效應的結果受到影響，交叉溫度有變低的趨勢，很可能是因為在溼度過高的情況下，抑制了蒸發也減緩了對流，而改變了結果。

註：由於暫時缺乏量測溼度的器材，此實驗尚未較精準的控制溼度，但可以確定的是冷卻環境的溼度也是影響水在冷卻時的因素之一。

## **【評語】040106**

彭巴效應是個有趣而令人困惑的議題。本作品以新的觀點切入，值得鼓勵。然而實驗與結果呈現不夠完備與嚴謹，望能百尺竿頭，再進一步。