

冰夠了沒？

摘要

我們爲了驗證書上提到的「熱水比冷水先結冰」理論，而展開一系列研究。雖然實驗中無法得到熱水比冷水先結冰的最佳條件，但是我們了解到初溫越高的溶液，單位時間內降溫的速度越快，而蒸發速度越快的溶液，降溫的速度也越快，所以只要改變溶液蒸發速度，溶液降溫的速度也會跟著改變。至於書上提到的「熱水」與「冷水」，這兩中水溶液之間的溫差不能過大，否則不管你如何降溫，熱水降溫的速度遠不及冷水下降的速度。

壹、研究動機

學校圖書館中有一本書「啊！科學偵探來了」，書中提到有兩個人在比賽誰先讓杯中的水結冰，第一位參賽者急急忙忙舀了水進洞穴中，另一位參賽者將水拿到太陽下加熱再放進冰涼的洞穴中，結果是溫度較高的水先凝結成冰，書上說原因是熱水它本身會蒸發，裡帶含著水分，所以熱水容量較少結冰速度也跟著變快。這和我們平常的認知不同，且自然翰林版第二冊第二單元「水的變化」也沒有特別提到影響水凝固成冰的快慢變因。因此，我們以這個現象作爲科展研究題目。

貳、研究目的

- 一、觀察初溫不同的水，凝結過程溫度變化及現象。
- 二、不同材質的容器，是否也有熱水先結冰現象。
- 三、不同溶液，是否也有熱水先結冰現象。
- 四、蒸散作用會影響水的結冰速度嗎？

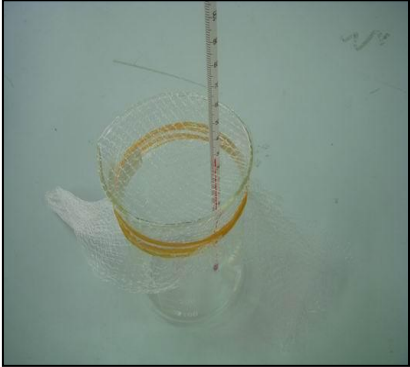

參、研究設備及器材

燒杯、鋼杯、試管、正負 50°C 的溫度計、150°C~負 20°C 的溫度計、橡皮筋、冰棒棍、長尾夾、負十五°C 的冰箱冷凍庫、電子天秤、電磁爐、鹽水、糖水、油、牛奶、開水、冰塊。

肆、研究過程及方法

【研究前準備】：製作一個溫度計置放架

爲了方便且準確觀察水杯中一樣高度的水溫變化，且不會因爲每次觀察溫度而去擾動水杯中的水，因此我們製作一個「溫度計置放架」，如下圖。

	
<p>照片一：第一代溫度計置放架</p>	<p>照片二：第二代溫度計置放架</p>
<p>缺點：溫度計無法上下調整高度</p>	<p>優點：溫度計能自由調整高度及位置</p>

使用方法：

1. 調整溫度計上的橡皮筋，變能控制溫度計插入水中的深度。
2. 調整冰棒棍上的長耳夾，就能測量杯子邊緣或中間各區域的溫度。
3. 冰棒棍兩側橡皮筋固定在杯緣上，避免溫度計置放架傾倒。

研究目的一：觀察初溫不同的水凝結過程的溫度變化及現象。

實驗一之 1：不同初溫的水，凝固的速度是否一樣。

方法：

1. 量測辦公室的冰箱冷凍庫溫度，以下實驗皆在此進行。
2. 準備不同初溫的開水 90°C、70°C、50°C、30°C、10°C 各 100 毫升，編號分別為 A~D。
3. 測量上述 5 杯水未凝固前重量。
4. 將上述 5 杯水放置冷凍庫，每隔 30 min 觀測一次，並紀錄其溫度、外觀變化。
5. 待 5 杯水溫度降至 0°C 以下時，實驗結束，並測量凝固後重量。



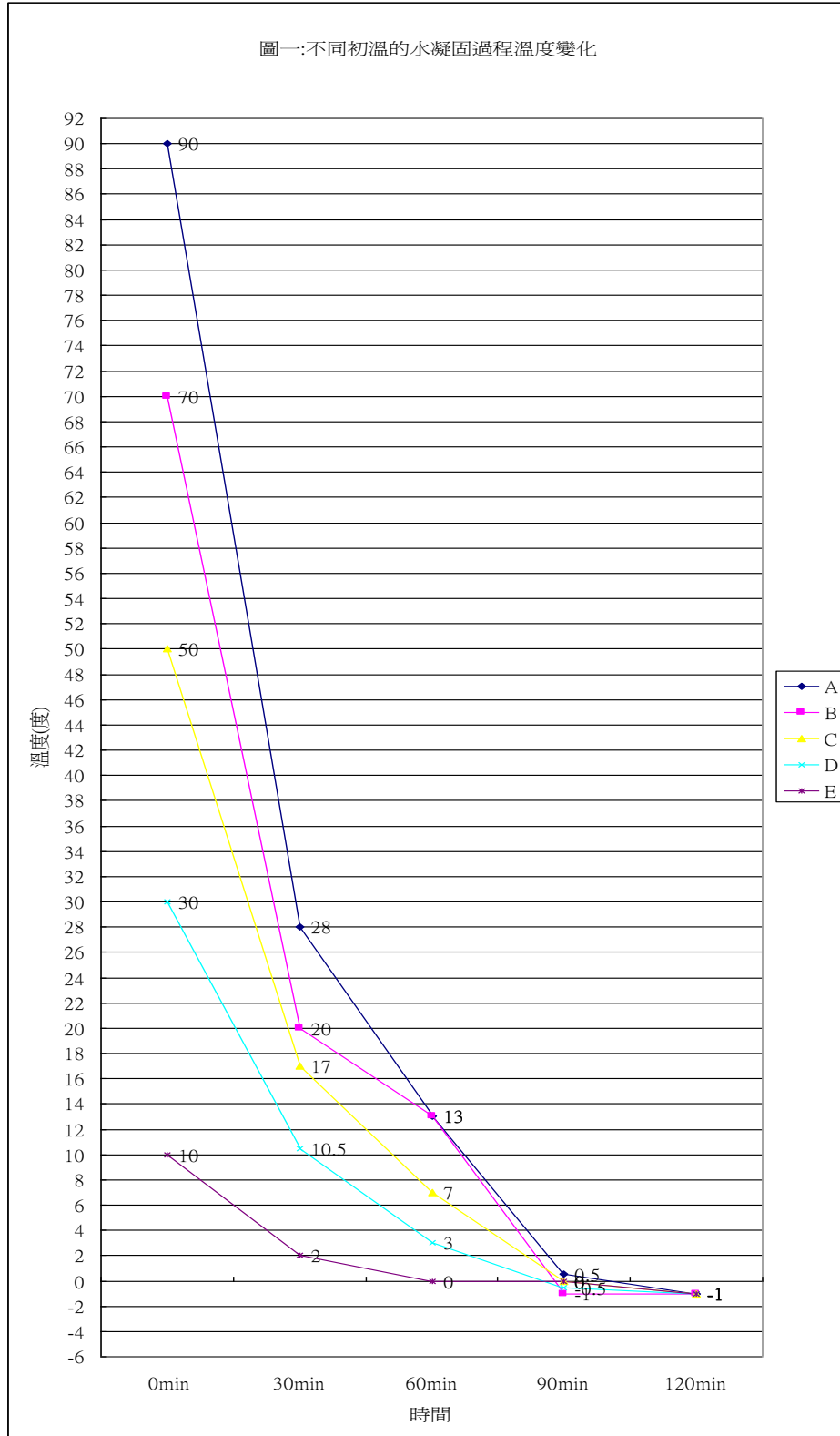
照片三：仔細的調整水溫

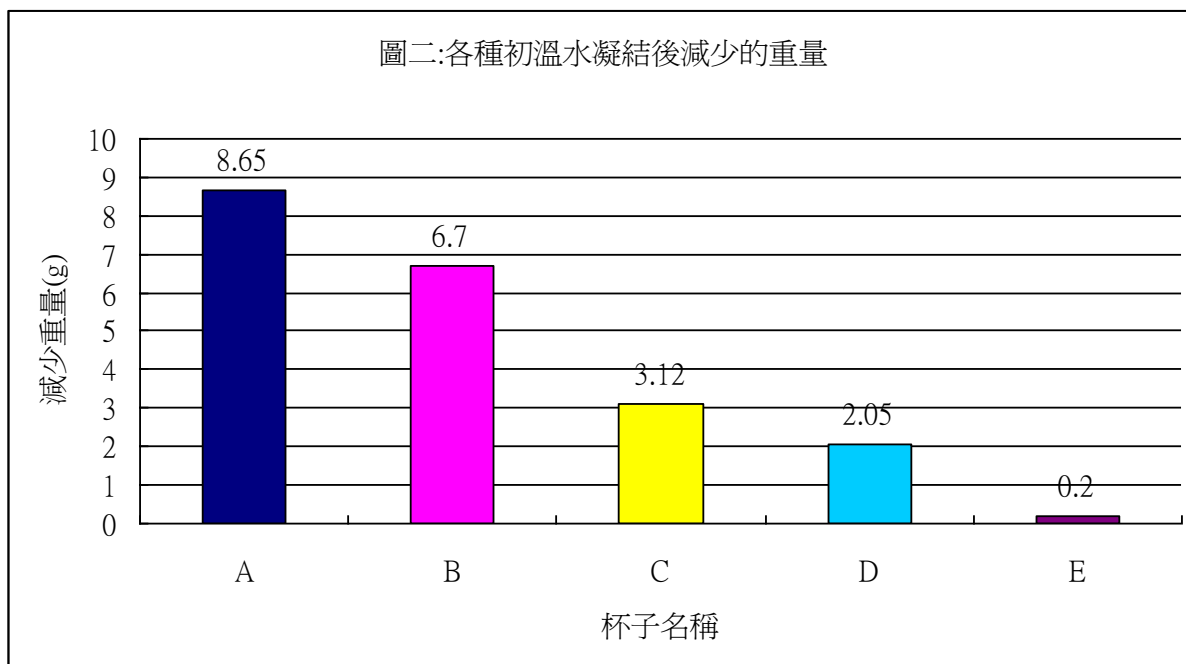


照片四：放置冷凍庫中凝固

結果：

1. 辦公室的冰箱冷凍庫溫度為零下 15 度。
2. 溫度變化如（圖一），重量變化如（圖二），外觀變化如（表一）。
3. 越高溫的水降溫速度越快，但最後還是無法超越低溫的水降至的溫度。





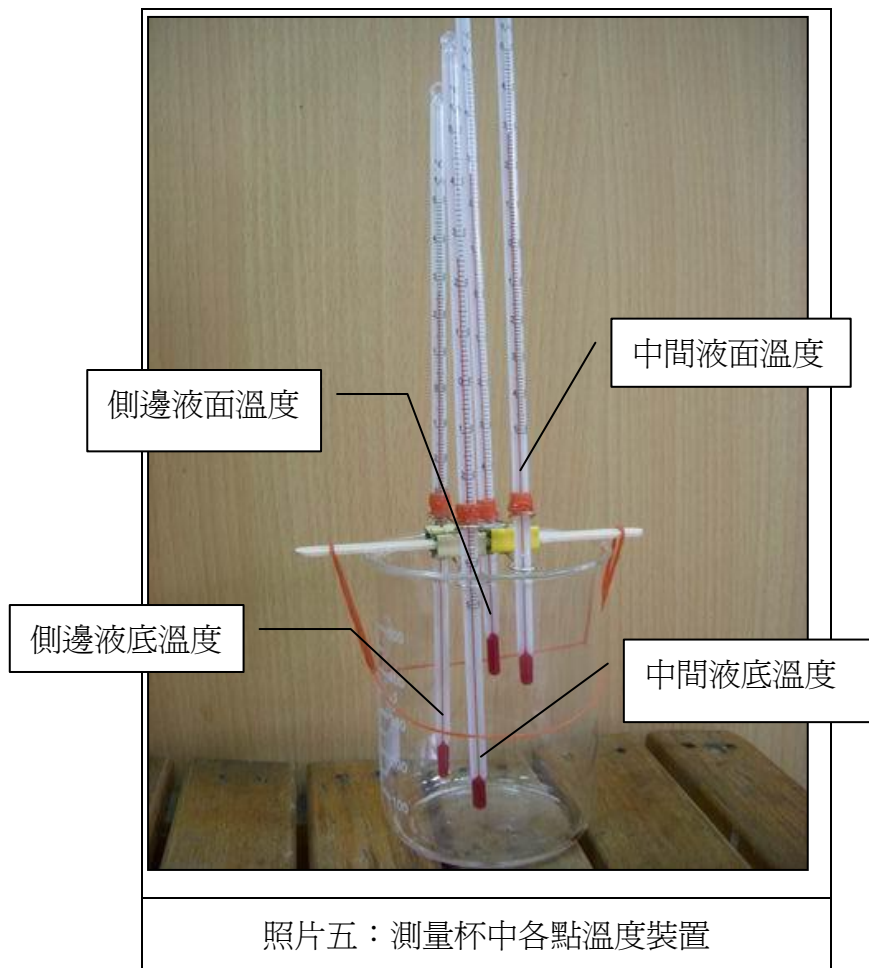
表一：不同初溫的水凝固外觀變化

時間(分) 編號	30	60	90	120
A	無明顯變化	無明顯變化	表面開始出現薄冰	表面結了一層冰
B	無明顯變化	無明顯變化	表面開始出現薄冰	表面結了一層冰
C	無明顯變化	無明顯變化	表面開始出現薄冰	表面結了一層冰
D	無明顯變化	無明顯變化	表面開始出現薄冰	表面結了一層冰
E	無明顯變化	無明顯變化	表面開始出現薄冰	表面、側邊結了一層厚冰

實驗一之 2：比較水凝結過程中，各部位水溫變化。

方法：

1. 取取 2 杯初溫 70°C 和 30°C 的水 100 毫升，編號為 A、B。
2. 各插入 4 支溫度計，他們的位置分別如下圖。
3. 每隔 10min 紀錄溫度變化，直到 2 杯中其中 1 杯出現結冰狀態。



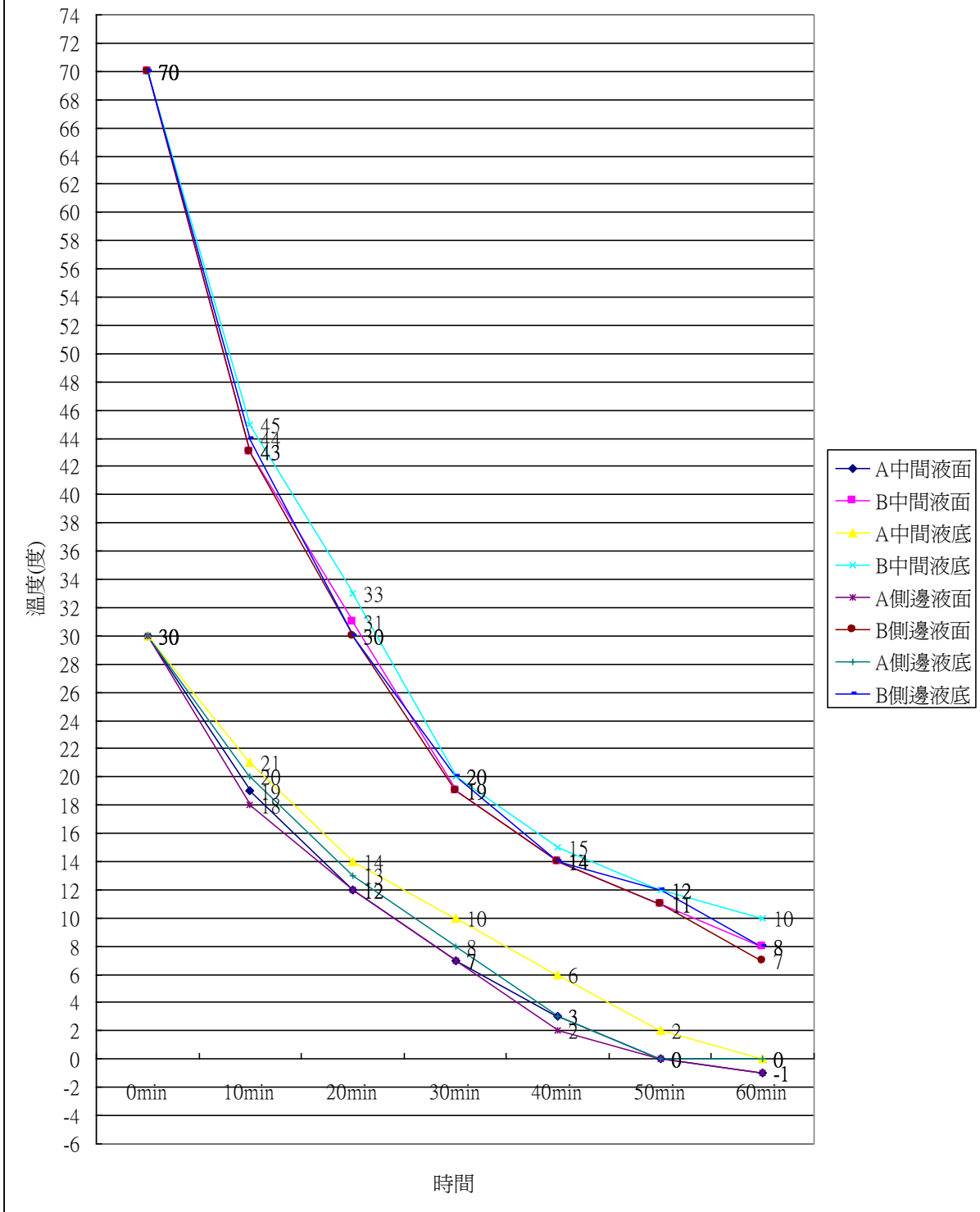
結果：

1. 溫度變化如（圖三）。
2. 側邊液面的溫度降最快，接下來是中間液面、側邊液底，最慢的是中間液底。
3. 結冰過程最快出現薄冰的是表面，慢慢的側邊也跟遮結冰了，最慢的是杯子中間。

表二：溶液中各部位水溫變化情形

	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
A 中間液面	30	19	12	7	3	0	-1
B 中間液面	70	43	31	19	14	11	8
A 中間液底	30	21	14	10	6	2	0
B 中間液底	70	45	33	20	15	12	10
A 側邊液面	30	18	12	7	2	0	-1
B 側邊液面	70	43	30	19	14	11	7
A 側邊液底	30	20	13	8	3	0	0
B 側邊液底	70	44	30	20	14	12	8

圖三:液體內部各點溫度



研究目的二：不同材質的容器，是否也有熱水先結冰現象。

實驗二之 1：比較不同初溫的水放在傳導速度佳的鋼杯中，凝結的情形。

方法：

同（實驗一之 1），但容器改為鋼杯，每隔 30 分鐘紀錄期溫度變化。

結果：

1. 溫度變化如（表一）。

表一：容器為鋼杯的溫度變化

觀察時間 鋼杯編號	0min	30min	60min	90min	120min
A	90	28	12	0.5	-1
B	70	20	12	-1	-1
C	50	17	6	0	-1
D	30	10.5	3	-1	-1
E	10	2	0	0	-1



照片五：鋼杯容器



照片四：放置冷凍庫中凝固

實驗二之 2：比較不同初溫的水放在傳導速度慢保麗龍中，凝結的情形

方法：

同（實驗一之 1），但容器改為保麗龍杯，觀察其溫度變化。

結果：

1. 溫度變化如（表二）。

表二：容器為保麗龍杯的溫度變化

觀察時間 鋼杯編號	0min	30min	60min	90min	120min
A	90	29	12	1	-1
B	70	21	11	-0.5	-1
C	50	18	6	0	-1
D	30	11	3	-1	-1
E	10	3	0	0	-2

實驗二之 3：比較相同初溫的水放在傳導速度不同的容器中，凝結的情形

方法：

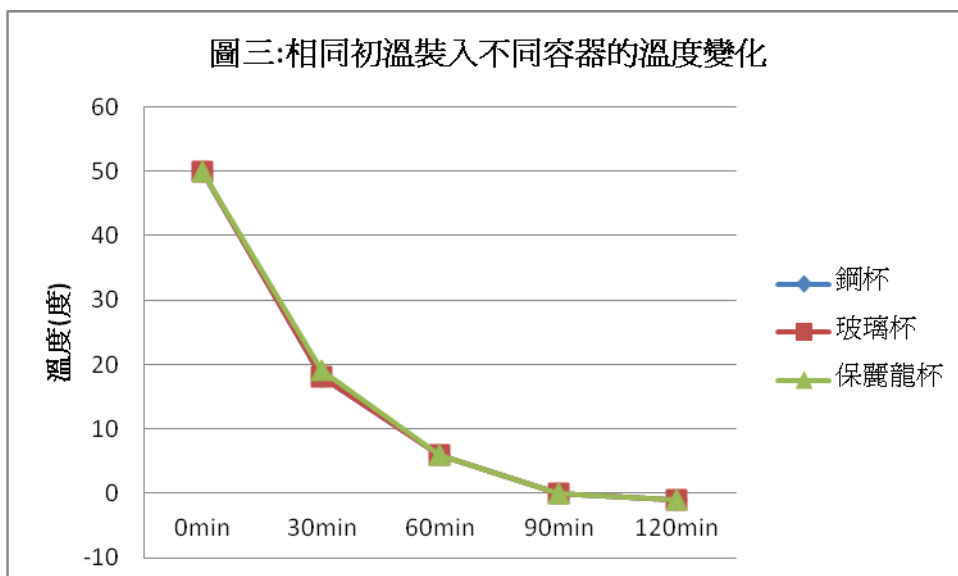
1. 將初溫 50°C 的水分別放置鋼杯、玻璃杯、保麗龍杯中。
2. 每隔 30 分鐘觀察其溫度變化。

結果：

1. 溫度變化如（表三）。
2. 初溫相同的水，裝在不同材質的容器中，降溫速度大致相同。

表三：不同容器的溫度變化

觀察時間 鋼杯編號	0min	30min	60min	90min	120min
鋼杯	50	18	6	0	-1
玻璃杯	50	18	6	0	-1
保麗龍杯	50	19	6	0	-1



研究目的三：不同溶液是否也有熱水先結冰現象。

實驗三之 1：比較不同初溫的糖水，是否也有熱水先結冰現象。

方法：

1. 準備不同初溫的開水 70°C、50°C、40°C、30°C 各 100 毫升的糖水。
2. 將上述 5 杯糖水放置冷凍庫，每隔 15 min 觀測一次，並紀錄其溫度。

結果：

1. 越高溫糖水降溫的速度較快。
2. 40°C 的糖水溫度降得特別快。

表三：不同初溫糖水的溫度變化

觀察時間 開始溫度	15min	30min	45min	60min	75min
70°C	26	18	8	3	0
50°C	24	17	6	2	-2
40°C	6	10	2	0	-5
30°C	4	10	2	-1	-5



照片六：糖水降溫實驗

實驗三之 2：不同初溫的鹽水，是否也有熱水先結冰現象。

方法：

同（實驗三之 1），但將溶液改為飽和食鹽水。

結果：

1. 因為我們是調製長溫得飽和時鹽水，當鹽水加熱時會有鹽巴產生，所以到近燒杯中要小心，避免鹽巴一起到入。
2. 高溫的鹽水降溫速度幅度較小。
3. 低溫的鹽水較容易結冰。

表四：不同初溫鹽水的溫度變化

觀察時間 開始溫度	15min	30min	45min	60min	75min
70°C	33	22	16	8	0
50°C	22	13	9	3	-1
40°C	20	12	9	2	-1
30°C	15	9	5	0	-2

實驗三之 3：不同初溫的牛奶，是否也有熱水先結冰現象。

方法：

同（實驗三之 1），但將溶液改為牛奶。

結果：

表五：不同初溫牛奶的溫度變化

觀察時間 開始溫度	15min	30min	45min	60min
70°C	32	11	3	-1
50°C	25	10	3	-1
40°C	22	9.5	4	-0.5
30°C	17	9	3	0

實驗三之 4：比較初溫相同但不同的溶液，凝結的情形。

方法：

1. 準備相同初溫（50°C）的開水、糖水、鹽水、牛奶各 100 毫升的糖水。

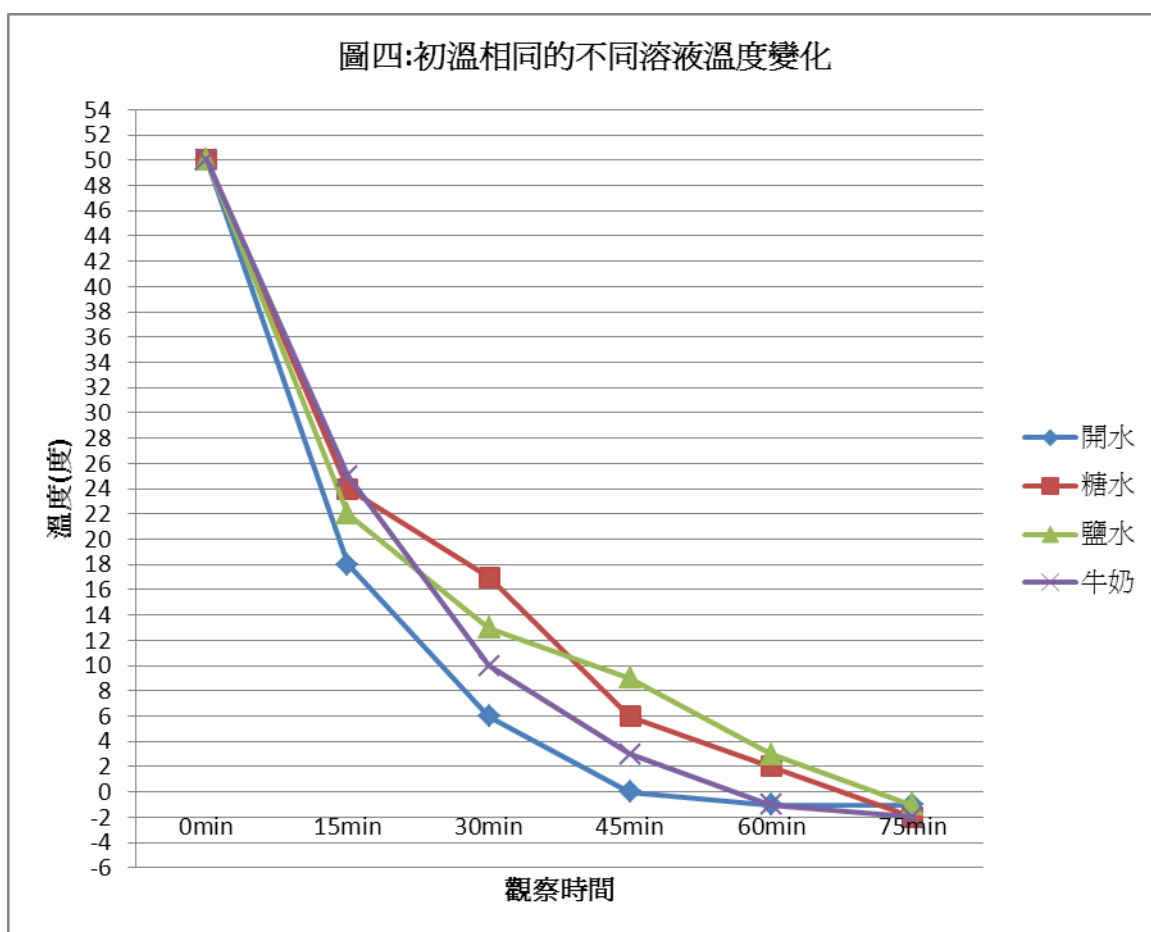
2. 將上述 4 杯溶液放置冷凍庫，每隔 15 min 觀測一次，並紀錄其溫度。

結果：

1. 鹽水降溫速度最慢。
2. 開水降溫速度最快，但在 60 分鐘後牛奶的溫度也降得和開水一樣，可見牛奶降溫速度很快。

表六：初溫相同的不同溶液溫度變化

觀察時間 開始溫度	15min	30min	45min	60min	75min
開水	18	6	0	-1	-1
糖水	24	17	6	2	-2
鹽水	22	13	9	3	-1
牛奶	25	10	3	-1	-2



研究目的四：蒸散作用會影響水的結冰速度嗎？

實驗四之 1：比較熱水和冷水在常溫的蒸發下重量變化。

方法：

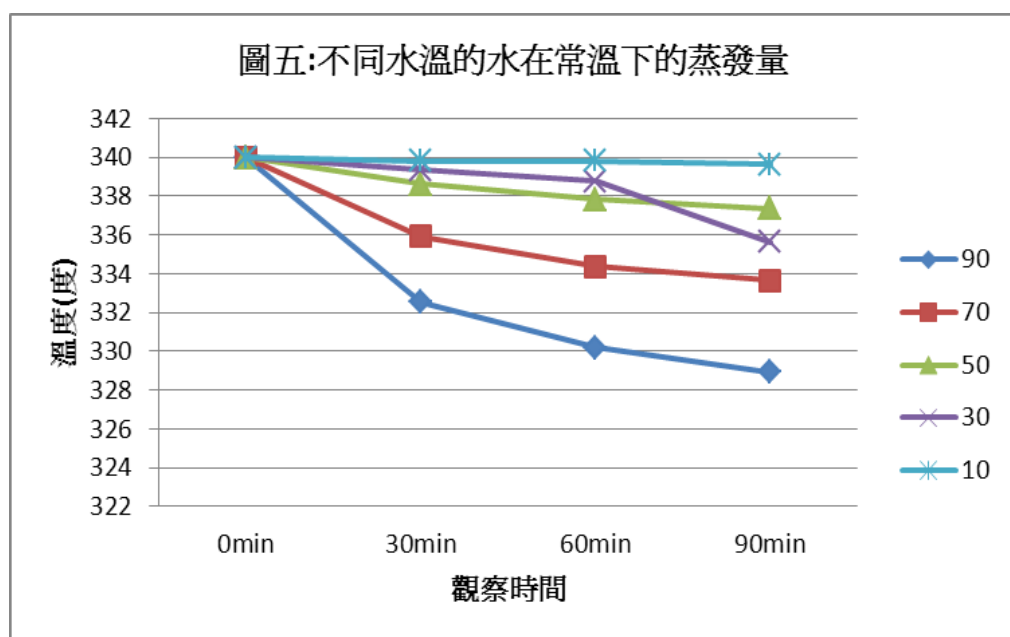
1. 準備 90°C、70°C、50°C、30°C、10°C 的水溶液 200 毫升，放置在常溫中，並測量重量。
2. 每隔 10 分鐘測量每杯水溶液重量，計算其蒸發量。

結果：

1. 如表七、圖五
2. 熱水在常溫下蒸發量最大。
3. 水的蒸發量和水溫有關，溫度越高蒸發量越大。

表七：不同水溫的水在常溫下的蒸發量

觀察時間 開始溫度	開始重量(g)	30min 後 重量(g)	60min 後 重量(g)	90min 後 重量(g)	減少重量(g)
90°C	340	332.53	330.21	328.95	11.05
70°C	340	335.93	334.39	333.67	6.33
50°C	340	338.63	337.82	337.37	2.63
30°C	340	339.35	338.76	335.65	4.35
10°C	340	339.83	339.81	339.62	0.38



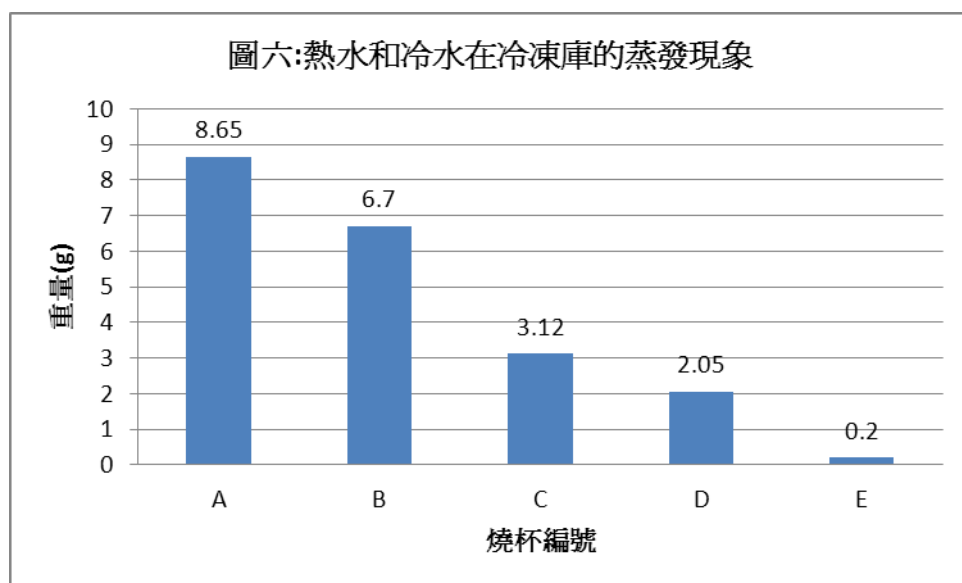
實驗四之 2：比較熱水和冷水在冷凍庫的蒸發現象。

方法：

1. 準備 90°C、70°C、50°C、30°C、10°C 的水溶液 200 毫升分別編號為 A~E，並稱其重量，再放置冷凍庫。
2. 待其結冰，再稱其重量，記錄其減少重量。

結果：

1. 熱水在冷度庫中凝結後，重量減輕最少。



實驗四之 3：熱水加蓋、不加蓋是否影響水凝固速度。

【我們的想法】：從實驗四之 2 發現，熱水在冷凍庫中蒸發現象仍很明顯，是不是蒸發現象加速溫度降低。所以有了接下來的實驗驗證。

方法：

1. 將溫度 50°C 的熱水分別放置在有蓋、無蓋的容器中，放置在冷凍庫。
2. 觀察記錄其溫度變化及重量變化。

結果：

1. 降至 0°C 的時候，無蓋的重量減少較多。
2. 無蓋的重量減少較多，但溫度卻沒有降得比較快。



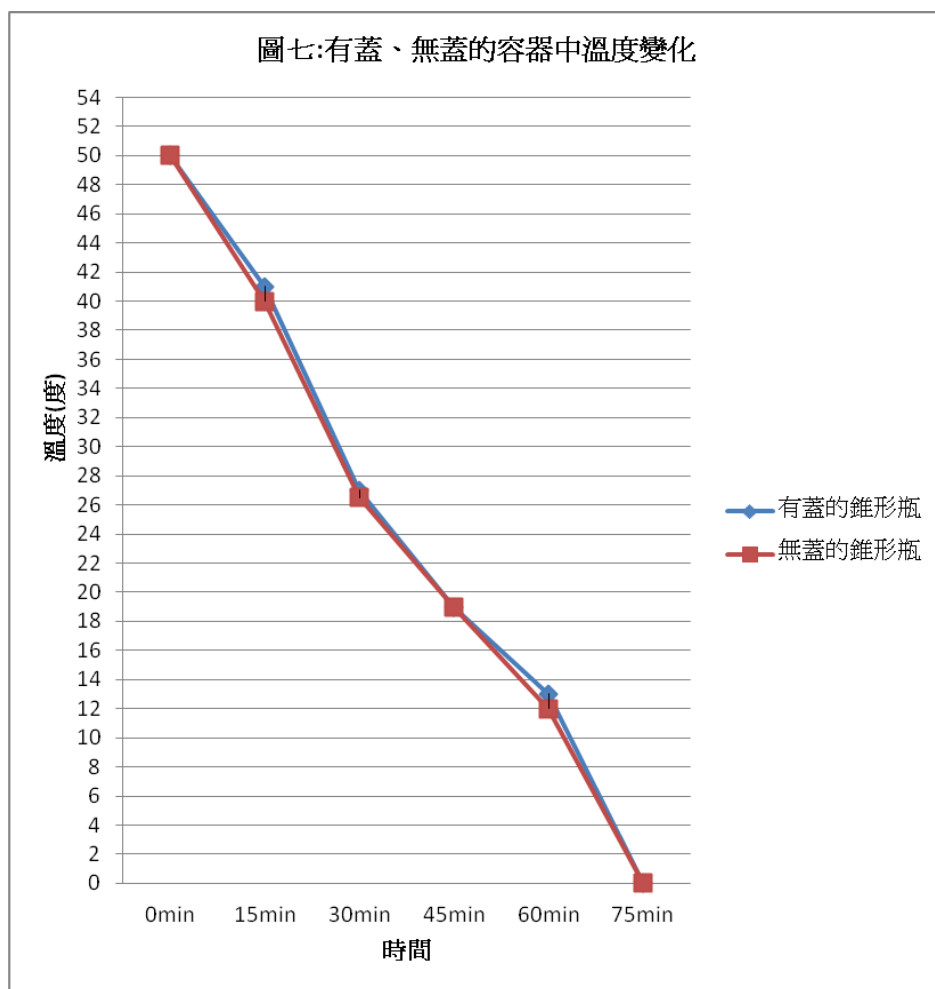
照片七：水面有蓋、無蓋實驗

表八：有蓋、無蓋的容器中溫度變化

觀察時間 溫度變化(°C)	0min	15min	30min	45min	60min	75min
有蓋的錐形瓶	50	41	27	19	13	0
無蓋的錐形瓶	50	40	26.5	19	12	0

表九：有蓋、無蓋的容器重量變化

	實驗前重量(g)	實驗後重量(g)	減少的重量(g)
有蓋的錐形瓶	378.73	378.73	0
無蓋的錐形瓶	378.72	376.12	6.60



實驗四之 4：熱水上方蓋有一層油膜，是否影響水凝固速度。

【我們的想法】：(實驗四之 2) 利用有蓋無蓋來區分溶液是否有蒸發的想法是錯誤的，因為有蓋的容器，蓋子和液面仍有段距離，所以液體仍可以進行蒸發作用。因此，我們設計以下實驗防止液體蒸散。

方法：

同實驗四之 3，但將有蓋、無蓋容器改為溶液上方有無油。

結果：

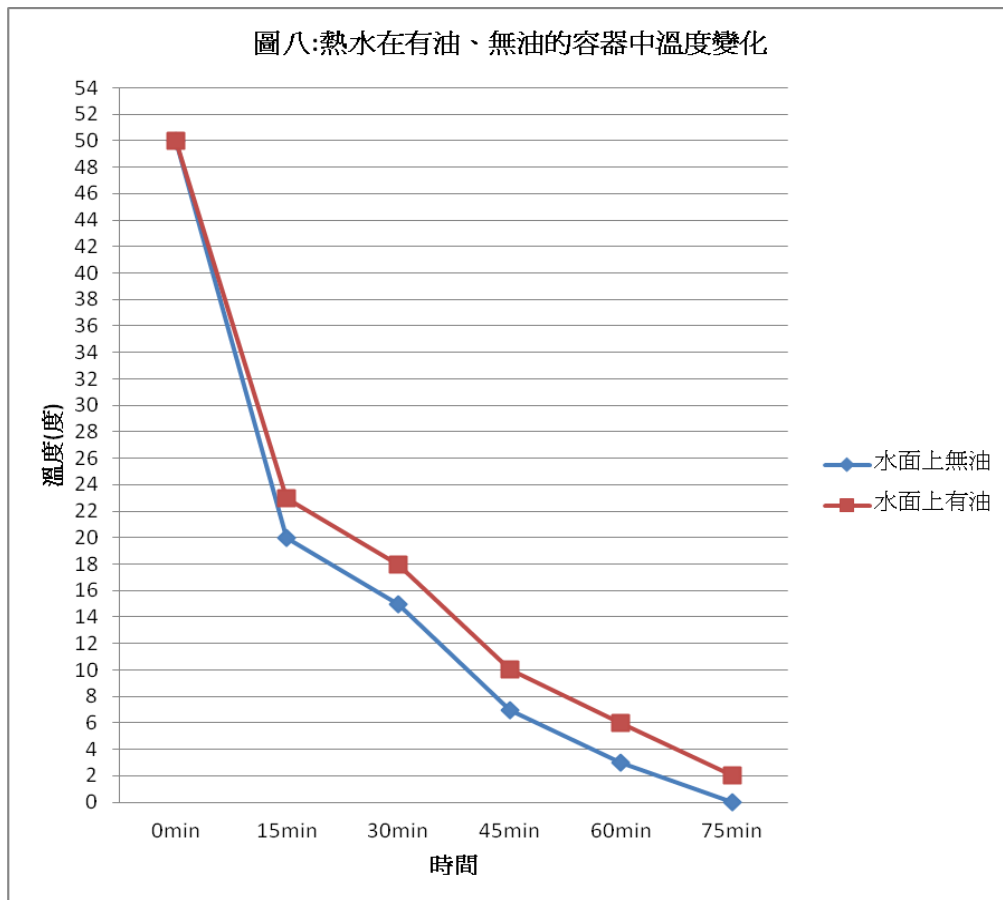
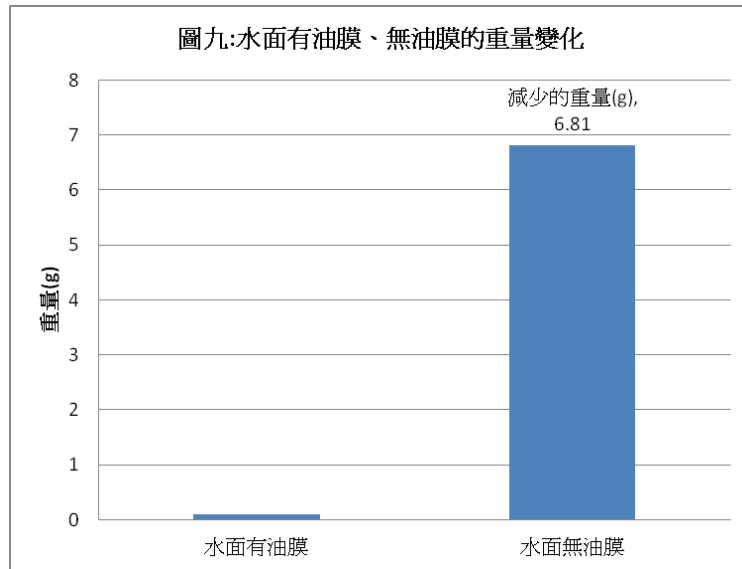
1. 水面上有油的水溫下降較慢。
2. 水面上無油的水冷卻後重量減輕較多。

表十：熱水在有油、無油的容器中溫度變化

觀察時間 溫度變化(°C)	0min	15min	30min	45min	60min	75min
水面上無油	50	20	15	7	3	0
水面上有油	50	23	18	10	6	2

表十一：水面有油膜、無油膜的重量變化

	實驗前重量(g)	實驗後重量(g)	減少的重量(g)
水面有油膜	250.10	250.0	0.1
水面無油膜	250.01	243.2	6.81



伍、討論

- 一、雖然我們所有的實驗都沒有測出熱水比冷水先結冰的最佳溫度與情況，但讓我們發現高溫的水降溫較快，越低溫的水降溫越慢。
- 二、熱水結冰後的重量較冷水結冰後輕，應是熱水蒸發的速度較快所致，也許因為蒸發的關係，所以將熱量帶走，所以高溫的溶液降溫梯度較大。
- 三、我們從蒐集到的資料中知道：熱水比冷水先結冰是一位叫彭巴的學生在製作冰淇淋時發現的現象，但資料中大家說明此現象的說法眾多紛紜，此次實驗，我們針對蒸散作用是否影響熱水先結冰的理論加以研究。
- 四、這次實驗一開始觀測時間為每 30 分中觀測一次，但後來發現 30 分鐘內溫度變化仍很大，因此我們將觀測時間縮短成每 15 分鐘一次。若有可能我們希望下次能有更精密的溫度監控器，能分分秒秒掌握溫度降低所發生的情形。
- 五、我們考慮到溫度計刻度若降至溶液中便無法不動溫度計而記錄到溫度，所以我們的溫度計是使用零下 50°C 的規格，如此一來，溫度計差在溶液中我們也能輕鬆的觀測到 0°C 以上的溫度。

陸、結論

- 一、溫度越高的水溶液，短時間之內降溫的速度比溫度低的水溶液快。
- 二、水溶液降溫的速度不會因為承裝容器的保溫效果優劣而有所影響。
- 三、若要加速溶液凝固應選擇無蓋且越容易蒸發的容器盛裝。
- 四、水的蒸發會帶走溶液的溫度，因此使溶液溫度下降。
- 五、熱水會比冷水先結冰的狀況應是在熱水和冷水溫度沒有相差太大的情形。
- 六、不同溶液，降溫的速度會不同。

柒、參考資料

- 一、申慶愛著 徐月珠譯(2004)啊!科學偵探來了。台北 三采文化出版股份有限公司。
- 二、「神秘得水結晶~溫度對水結晶影響之研究」，中華民國第 46 屆中小學科學展覽，國立台灣教育館。
- 三、「彭巴效應」，中華民國第 45 屆中小學科學展覽，國立台灣教育館。