

屏東縣第 63 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：冰水奇緣—探討彭巴效應

關鍵詞：結冰、快速結冰、彭巴效應（最多三個）

編號：A2009

目錄

摘要.....	01
壹、前言.....	01
研究動機.....	01
研究目的.....	01
研究架構圖.....	02
文獻探討.....	02
貳、研究設備及器材.....	03
參、研究方法、過程與結果討論.....	03
肆、研究結論.....	25
伍、參考資料及其他.....	28
心得.....	28
參考資料.....	28

摘要

物體的溫度在沒有持續的機械外力介入的情況下，物體的溫度最後會和環境達到一個平衡的狀態，剛放進冰箱冷凍庫裡的水，因為剛放進冰箱冷凍庫時的溫度，和冰箱冷凍庫的溫度差距太大，所以當水剛放進冰箱冷凍庫時會有溫度急速下降的現象；隨著時間的增加，每一種溫度的水和糖水還沒有結冰的剩餘重量是逐漸減少，溫度也是逐漸降低，但下降速度是逐漸變慢，一直到杯子裡的水或糖水完全結冰後，溫度又開始急速下降。實驗證明：「『熱水在有時候會比冷水還要快結冰』這樣一個不符合科學常理且反直覺的現象」，我們也發現「高溫物體可以比中溫物體更快降溫，水的溫度越高，降溫的速度有時候越快，而不是更快結冰」，「水的溫度高低也可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的水量」，如果將水改成糖水也是一樣。

壹、前言

一、研究動機

去年暑假時，因天氣很熱，於是想在家裡多做幾支冰棒吃，想說這樣就不用常常花錢去超商買，因以前沒做過，我就直接以冰箱裡冰涼的綠豆湯做，當然自己做的冰棒一定是最好吃的，可是突然間想到：為什麼要用冰涼的綠豆湯做冰棒？不能煮好後直接放進冰箱的冷凍庫嗎？用冰涼的綠豆湯做冰棒會不會有衛生問題？後來媽媽說：以前，在非洲有一個女學生在製作冰淇淋時，發現「熱牛奶常常比冷牛奶先結冰」，媽媽的這句話讓我很好奇，我一直在想「直接用熱水做冰塊不是比較衛生嗎？」「既然直接用熱牛奶做冰淇淋常常比冷牛奶先結冰，那為何不直接用熱牛奶做冰淇淋？況且比較快結冰就應該會比較省電才對」，所以我們想要研究到底是熱水比較快結冰？還是冷水比較快結冰？市面上所賣的冰塊、冰棒甚至冰淇淋，廠商是否是將熱騰騰的原料直接放進冷凍庫冷凍？還是將煮好的原料先冷卻後再放進冷凍庫冷凍？

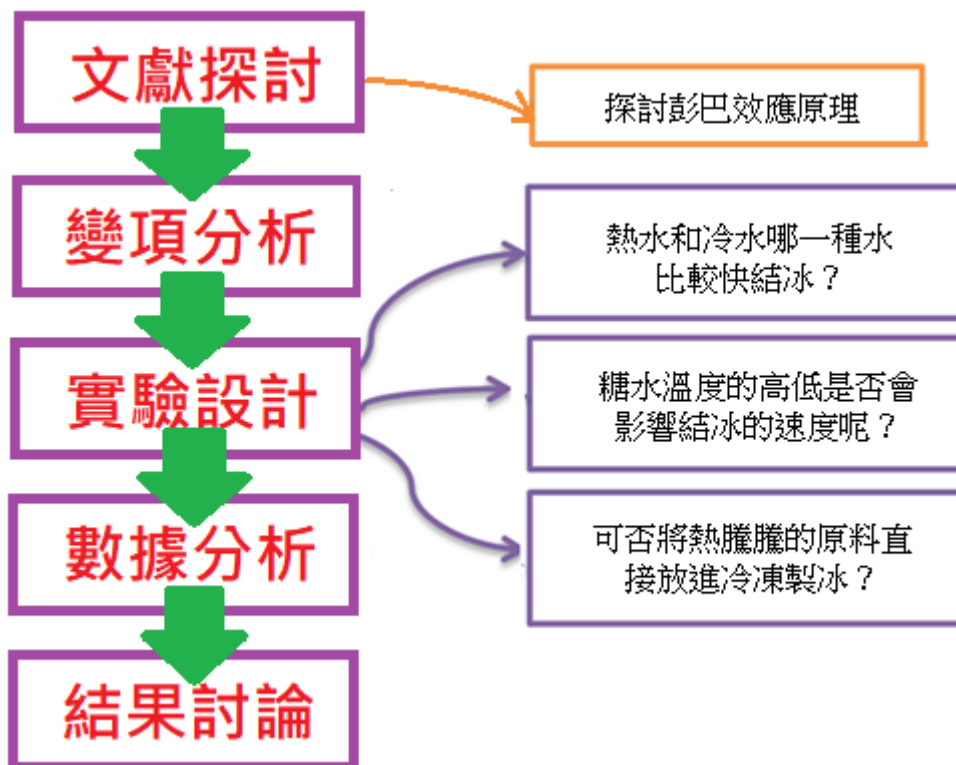
二、研究目的

為了研究「到底是熱水比較快結冰？還是冷水比較快結冰？」所以我們想要進行以下的研究：

- 一、熱水和冷水哪一種水比較快結冰？
- 二、糖水溫度的高低是否會影響結冰的速度呢？

三、市面上所賣的冰塊、冰棒甚至冰淇淋，店家是否是將熱騰騰的原料直接放進冷凍？還是將煮好的原料先冷卻後再放進冷凍庫冷凍？

三、研究架構圖



四、文獻探討




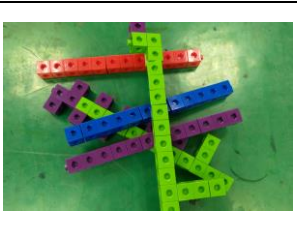

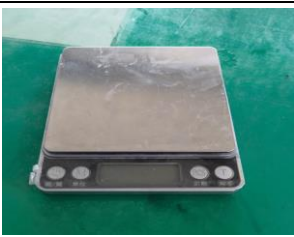




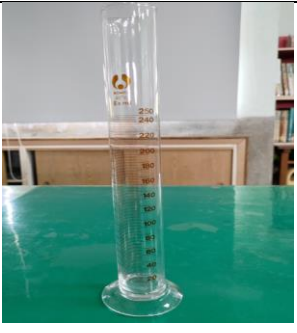
「彭巴效應」是什麼？「彭巴效應(Mpemba Effect)」是指「熱水在有時候會比冷水還要快結冰」這樣一個反直覺的現象。關於「彭巴效應」最早的紀錄可追溯至古希臘時代的哲學家亞里斯多德，他曾這樣描述：「先前被加熱的水，有助於更快結冰」。後來在1963年，坦尚尼亞的中學生彭巴在製作冰淇淋時發現「熱牛奶常常比冷牛奶先結冰」。這項不符合科學常理的研究被發現後，立刻引發爭論，直到今日還是爭議不停。因為科學家大都認為，複製驗證「彭巴效應」實驗並不容易，受到許多不同的因素影響，如煮沸及冷凝的過程不一定相同，甚至就連最終結果也有討論空間，因此「彭巴效應」實驗很難複製。

劉詠鯤老師在2020年09月18日「CASE報科學」的「『熱水比冷水更快結冰？』—彭巴效應的新線索」一文中指出：「熱水比冷水還要快結冰？」抑或被稱為「彭巴效應」的現象是否確實存在？這個問題已經困擾了物理學家許久。劉詠鯤老師認為「彭巴效應」

為「高溫物體可以比中溫物體更快降溫」，而不是「更快結冰」，因為水結冰過程中牽扯到的種種複雜因素，但是如能透過簡化一個複雜系統，真的會發現了冷卻的「捷徑」的確存在。

這個有趣的結果，可能暗示「彭巴效應」並不僅僅發生在水。也可能在大自然中其他地方出現，只是我們目前暫時沒觀察到而已。

貳、研究設備與器材

			
塑膠杯	不鏽鋼盆	大滴管	樂高積木
			
電子溫度計	電子秤	濾網	
			
冰箱	RO 冰溫熱飲水機	保麗龍杯	250ml 量筒

參、研究方法、過程與結果討論

一、前置作業


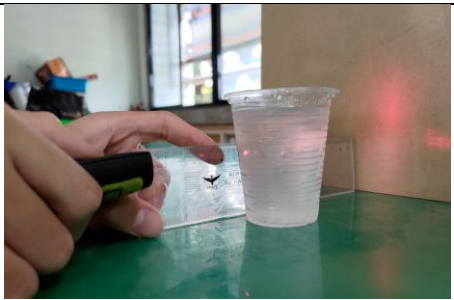
(一) 為了「確認冰塊是否完全結冰」，我們先討論驗證的方法：

1、利用雷射筆光的折射：

假設：照理論「光從一個介質進入不同的介質會改變它原本的前進方向」，

我們認為「如果杯子裡的水有完全結冰的話，雷射筆的光從空氣射入後，在冰塊中應該會沿著一條直線前進」，「如果杯子裡的水沒有完全結冰的話，雷射筆的光從空氣射入後，在冰塊中應該會先沿著一條直線前進，碰到水會改變原本的前進方向，碰到冰後應該會改變原本的前進方向」。

結果：經過實驗發現，我們的假設錯誤，因為雷射筆的光從空氣進入冰塊後，整條光束就散掉了，無法觀測。

	
<p>以雷射筆照射杯子裡的水的測試</p>	<p>杯子裡的水完全結冰時，以雷射筆照射的測試</p>

2、採用將冰塊擊碎的方式：

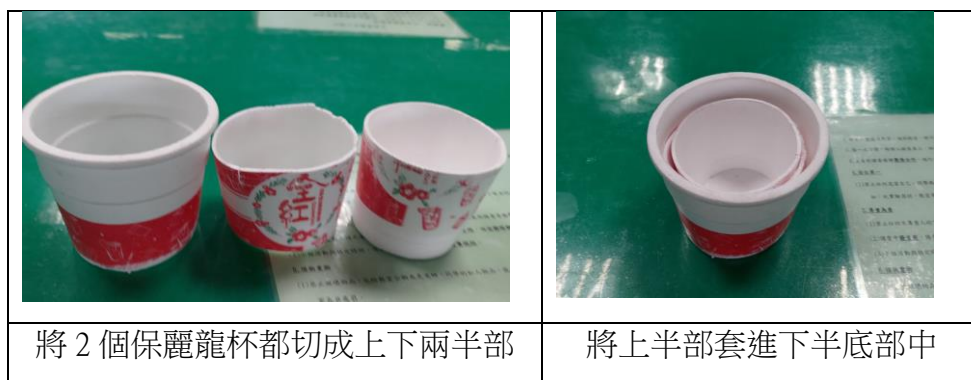
假設：如果杯子裡的水完全結冰，將冰敲碎後應沒有水的存在；如果杯子裡的水沒有完全結冰，將冰敲碎後應仍會有水的存在。

結果：經過實驗發現，我們的假設正確，當杯子裡的水完全結冰，將冰敲碎後完全沒有水的存在；如果杯子裡的水沒有完全結冰，將冰敲碎後仍會有水的存在。



(二) 校正溫度計讀數：以學校自然教室外面飲水機的水，先取出熱水，使用酒精溫度計和電子溫度計同時放進，測量熱水溫度，記錄電子溫度計與酒精溫度計的溫差，並以簽字筆記錄在電子溫度計表面。

(三) 自製保溫器：利用保麗龍飲料杯，用美工刀將保麗龍杯中間切成上下兩半，兩個高度一樣高，再將上半部套進下半底部中即可。



(四) 設計並製作積木：因發現在裝滿水的杯子裡插進溫度計後容易翻倒，經過討論，決定利用樂高積木做出一個架子，先測量實驗所用的塑膠杯的寬度與高度，再按照所測量的寬度與高度做出一個架子，將裝好的架子先放進冷凍庫內，再將裝滿水並插進溫度計的塑膠杯依續放進架子裡。



(五) 討論將水和糖水冷凍的方法：在進行實驗之前，我們先討論如何將水和糖水冷凍的方法：

- 1、將不同溫度的水同時放進冰箱冷凍庫哩，然後在相同時間同時測溫，起初以為這個方法應該是很好的方式，但經實際練習的結果，想像和實際差別太大，單單同時量取不同溫度的水並同時放進冷凍庫就讓我們手忙腳亂，儘管我們嘗試用冷水和熱水來調溫，但因高溫的水降溫速度很快，用這個方式來製作冰塊會讓我們無法精準地以正確的溫度做實驗，而且因時間關係也不允許我們一次實驗只進行一兩件樣本進行實驗，因此不採用這個方法。
- 2、一次只以一個溫度一個時間的方式來進行一個實驗，這個方式表面上應該會是最準確的，但因自然實驗室裡的冰箱放置自然課所需的器材，需時常開開關關，我們無法掌控冰箱門開開關關的次數與打開的時間，而且這個方法需要太久的時間了，而且因時間關係也不允許，因此不採用這個方法。
- 3、將相同溫度的水樣本數份同時放進冰箱，依實驗需要每固定時間就快速取

出樣本測量，因這種方法是固定每隔 20 分鐘就取出樣本測量，我們比較好掌控冰箱門打開的次數與時間，影響會是最小，所以我們採取這個方法做實驗。



二、研究方法、過程與結果討論

實驗一、熱水和冷水哪一種水比較快結冰？

問題一、水的溫度高低是否會影響結冰的速度

假設：熱水有時候會比較快結冰

(研究方法)

- 1、以學校自然教室外面飲水機的 RO 逆滲透的水來做研究，利用從飲水機取出來的熱水（80°C），並添加該台飲水機的溫水（約 25°C）來調溫，將水調到實驗需要的溫度。
- 2、取 100g20°C 的水 14 份，分別放進不同的塑膠杯中。
- 3、每杯都放進一支溫度計後，再放進冰箱冷凍庫中，並依序排列。
- 4、直至塑膠杯中的水完全結冰後，實驗停止。
- 5、依序比較 20 分鐘、40 分鐘、60 分鐘、80 分鐘、100 分鐘、120 分鐘、140 分鐘、160 分鐘、180 分鐘、200 分鐘、220 分鐘、240 分鐘、260 分鐘、280 分鐘後探討結冰過程水的重量變化，以及結冰過程溫度的變化，並記錄下來。
- 6、再依 30°C、40°C、50°C、60°C、70°C 和 80°C，分別取適量的水，重複步驟 1 至步驟 4，探討結冰過程水的重量變化，以及結冰過程溫度的變化，並記錄下來。

(研究過程與結果)

我們依照步驟 1 至步驟 6 的方法，探討冰和水的重量關係，以及結冰過程溫度的變化，並將結果記錄下來：

時間 (分)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
20°C														
水剩餘重量 (g)	100	90.81	80.2	74	64.2	67.55	65.78	56.21	29.44	0	0	0	0	0
溫度 (°C)	6.2	0.9	1.1	0.8	0.7	0.8	0.9	0.5	-0.2	-10.3				

時間 (分)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
30°C														
水剩餘重量 (g)	100	100	92.73	87.68	90.9	75.96	71.03	76.4	67.9	53.12	30.83	0	0	0
溫度 (°C)	15.6	8.6	0.7	1	0.8	0.8	0.5	0.2	0.1	0.1	-0.2	-12.2		

時間 (分) \ 40°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
水剩餘重量 (g)	100	100	100	100	97.51	81.76	57.81	39.7	34	41.83	51.15	29.76	10.5	0
溫度 (°C)	24.1	15.6	5.5	3.1	1.2	0.6	0.1	0.2	0.2	0.8	0.5	-0.2	-4.2	-13.6

時間 (分) \ 50°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
水剩餘重量 (g)	100	100	96.65	84.4	76.74	70.92	66.6	51.45	41.22	32.1	21.4	9.2	0	0
溫度 (°C)	21.6	11.8	1.7	0.8	0.7	0.3	0.9	0.5	0.8	0.2	-0.1	-0.4	-12.5	

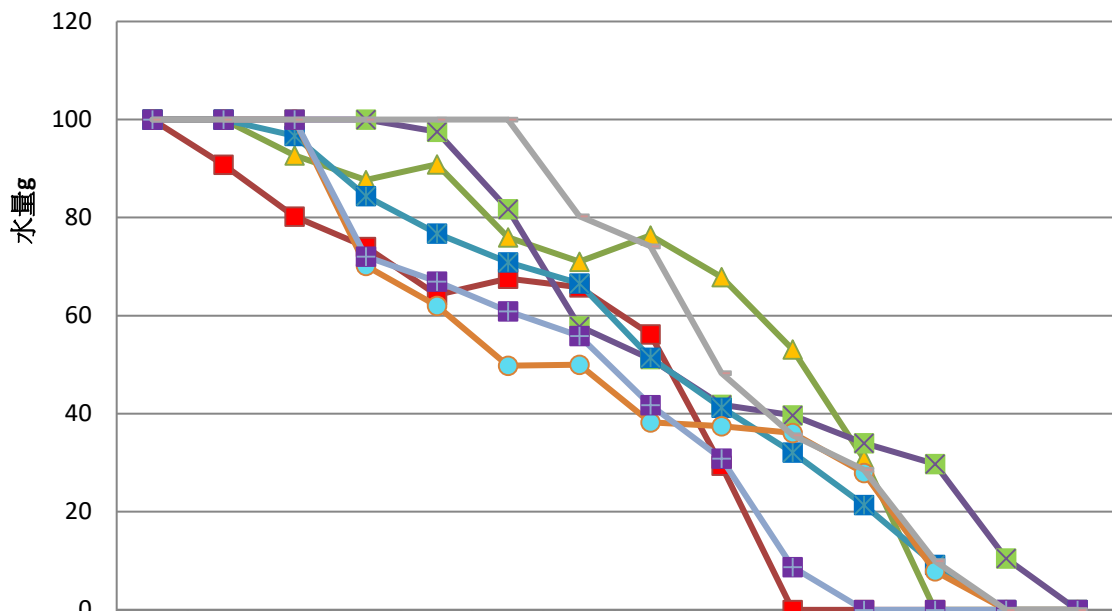
時間 (分) \ 60°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
水剩餘重量 (g)	100	100	100	70.2	62.03	49.79	50	38.22	37.44	36.1	27.91	7.91	0	0
溫度 (°C)	24	9.4	4.2	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.2	-0.2	-12.7	

時間 (分) \ 70°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
水剩餘重量 (g)	100	100	100	72.05	67	60.9	55.9	41.78	30.85	8.74	0	0	0	0
溫度 (°C)	14.6	6.3	3.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.2	-0.2	-0.5	-10.4			

時間 (分) \ 80°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
水剩餘重量 (g)	100	100	100	100	100	100	80.31	74.18	48.27	35.66	28.6	10	0	0
溫度 (°C)	39.5	21.8	7.9	5.3	4.3	2.3	0.6	0.8	0.7	0.4	-0.2	-0.5	-12.1	



不同溫度水的結冰過程剩餘的水量與時間關係

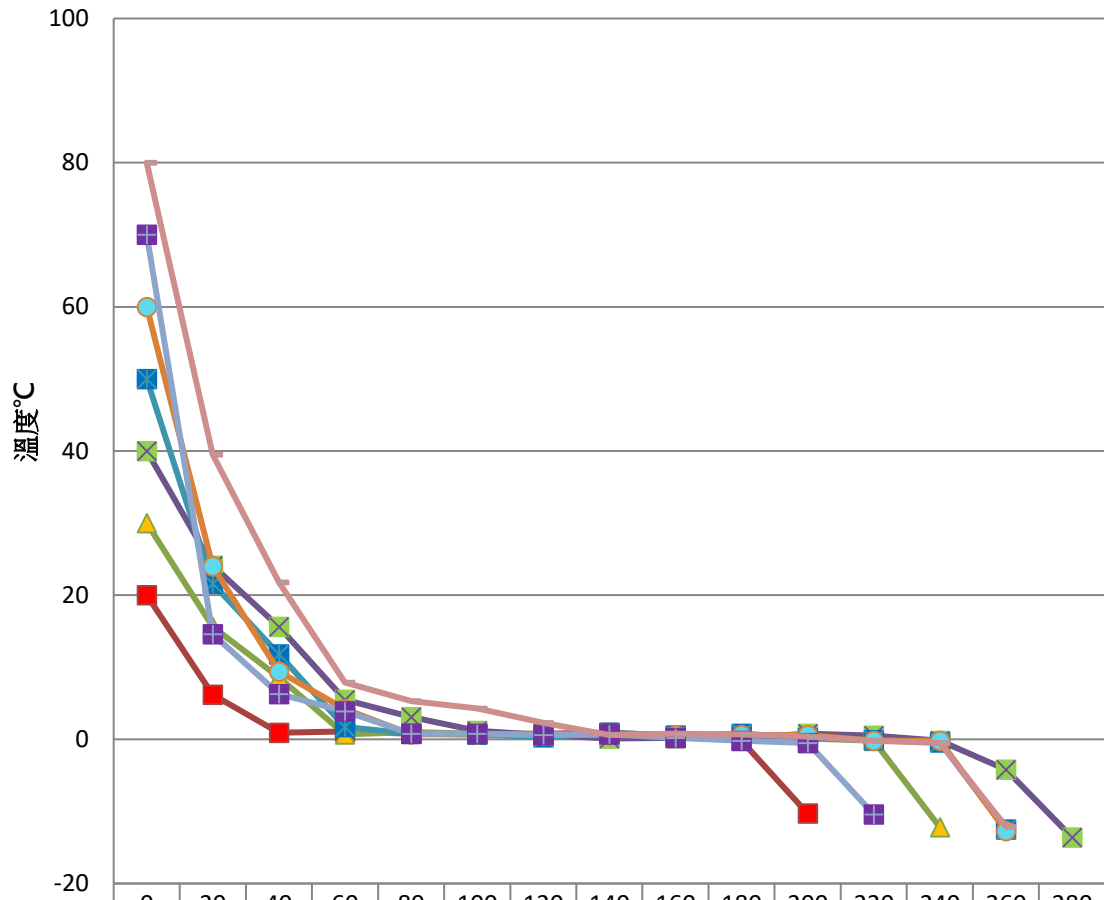


小結：

- 1、隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水還沒有結冰的水重量是逐漸在減少，一直到杯子裡的水完全結冰。
- 2、我們可以推論：隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水的結冰量是逐漸在增加，一直到杯子裡的水完全結冰。



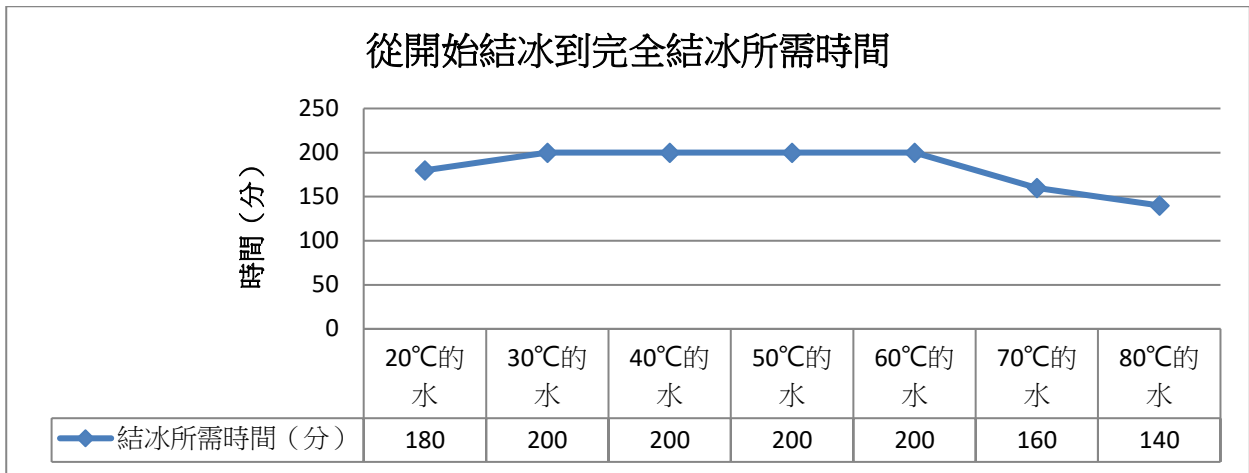
不同溫度水結冰過程每20分鐘的溫度變化



	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
20°C的水	20	6.2	0.9	1.1	0.8	0.7	0.8	0.9	0.5	-0.2	-10.3				
30°C的水	30	15.6	8.6	0.7	1	0.8	0.8	0.5	0.2	0.1	0.1	-0.2	-12.2		
40°C的水	40	24.1	15.6	5.5	3.1	1.2	0.6	0.1	0.2	0.2	0.8	0.5	-0.2	-4.2	-13.6
50°C的水	50	21.6	11.8	1.7	0.8	0.7	0.3	0.9	0.5	0.8	0.2	-0.1	-0.4	-12.5	
60°C的水	60	24	9.4	4.2	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.2	-0.2	-12.7	
70°C的水	70	14.6	6.3	3.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.2	-0.2	-0.5	-10.4			
80°C的水	80	39.5	21.8	7.9	5.3	4.3	2.3	0.6	0.8	0.7	0.4	-0.2	-0.5	-12.1	

小結：

- 1、從上圖與表我們發現：在前 60 分鐘，隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水的溫度是逐漸在降低；約 60 分鐘後一直到完全結冰期間，溫度的變化不大；因這個實驗過程是「當杯子裡的水完全結冰後就停止測量」，所以我們也發現：當杯子裡的水完全結冰後，溫度又開始下降。
- 2、不論是什麼溫度，放進冷凍庫後的前 20 分鐘「溫度的下降速度最快」；放進冷凍庫後的 20 至 40 分鐘「溫度的下降速度開始減緩」；放進冷凍庫後的 40 至 60 分鐘「溫度的下降速度又更緩慢」；當杯子裡的水完全結冰後，溫度又開始急速下降。



小結：

- 1、80°C 的水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 70°C 的水還快，70°C 的水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 60°C 的水還快。
- 2、80°C 的水從開始結冰到完全結冰所需的時間的確比其他溫度的水所需的時間更短，其次是 70°C 的水；而 20°C 的水雖然是最早結冰，但完全結冰所需的時間並不是最快的。

討論：

綜合「不同溫度水的結冰過程剩餘的水量與時間關係」和「不同溫度水結冰過程每 20 分鐘的溫度變化」兩份圖表，我們可以發現：

- 1、20°C 的水放進冷凍庫後，在 40 分鐘後就開始有結冰的現象，再來是 30°C 和 50°C 的水，最慢的是 80°C 的水，一直到 140 分鐘後才開始有結冰的現象。
- 2、最快完全結冰的是 20°C 的水，其次是 70°C 的水，最慢的是 40°C 的水。
- 3、從這個實驗我們可以發現：室溫 25°C 附近的冷水（20°C 和 30°C）的確比其他溫度的水快結冰，但並不是溫度較低的水會比溫度較高的水快結冰。
- 4、隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水還沒有結冰的水重量是逐漸在減少，一直到杯子裡的水完全結冰；隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水的結冰量是逐漸在增加，一直到杯子裡的水完全結冰。
- 5、在前 60 分鐘，隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水的溫度是逐漸在降低；約 60 分鐘後一直到完全結冰期間，溫度的變化不大；但當杯子裡的水完全結冰後，溫度又開始急速下降。

- 6、不論是什麼溫度的水，放進冷凍庫後的前 20 分鐘「溫度的下降速度最快」；放進冷凍庫後的 20 至 40 分鐘「溫度的下降速度開始減緩」；放進冷凍庫後的 40 至 60 分鐘「溫度的下降速度又更緩慢」；當杯子裡的水完全結冰後，溫度又開始急速下降。
- 7、80°C 的水從開始結冰到完全結冰所需的時間的確比其他溫度的水所需的時間更短，其次是 70°C 的水；而 20°C 的水雖然是最早結冰，但完全結冰所需的時間並不是最短的。
- 8、20°C 的水在結冰過程溫度下降的速度明顯比 70°C 和 80°C 等較高溫的水，降溫的速度較慢，也就是 20°C 的水從 20°C 降至 0°C 所需的時間，明顯比 70°C 和 80°C 等較高溫的水降至 0°C 所需的時間較慢。
- 9、「80°C 的水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 70°C 的水還短，70°C 的水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 60°C 的水還短。」這個部分正符合彭巴效應所指「熱水在有時候會比冷水還要快結冰」這樣一個不符合科學常理且反直覺的現象，所以我們的假設「熱水有時候會比較快結冰」是成立的。

問題二、水的溫度越高，降溫的速度是否越快

假設：水的溫度越高，降溫的速度有時候越快

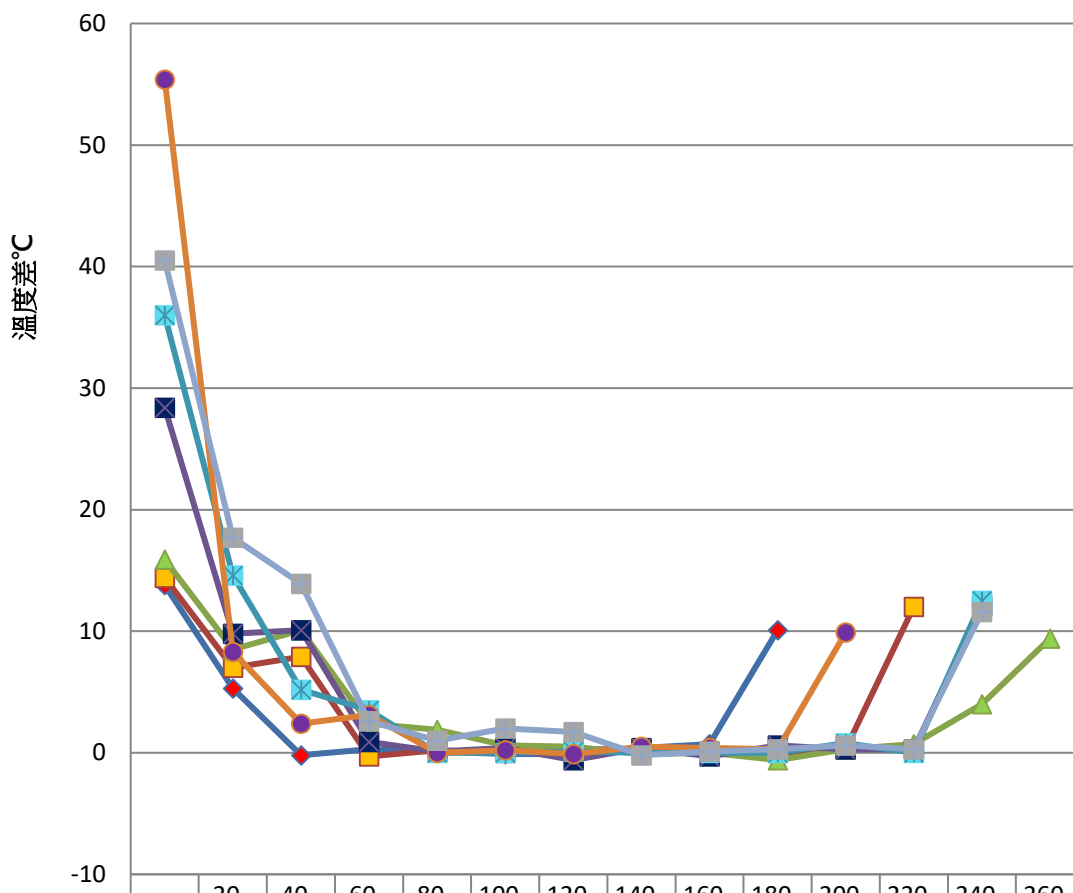
(研究方法)

- 1、延續問題一的實驗操作。
- 2、針對問題一「不同溫度水結冰過程每 20 分鐘的溫度變化」做進一步的分析，並將分析結果記錄下來。

(研究過程與結果)



不同溫度水結冰過程每20分鐘的溫度變化量



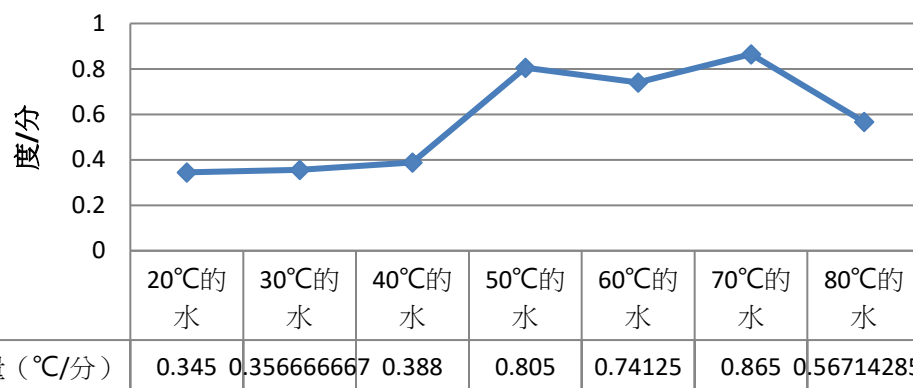
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	200-220	220-240	240-260	260-280
20°C冰重	13.8	5.3	-0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.1	0.4	0.7	10.1				
30°C冰重	14.4	7	7.9	-0.3	0.2	0	0.3	0.3	0.1	0	0.3	12		
40°C冰重	15.9	8.5	10.1	2.4	1.9	0.6	0.5	-0.1	0	-0.6	0.3	0.7	4	9.4
50°C冰重	28.4	9.8	10.1	0.9	0.1	0.4	-0.6	0.4	-0.3	0.6	0.3	0.3	12.1	
60°C冰重	36	14.6	5.2	3.5	0	0	0.1	0	0	0	0.8	0	12.5	
70°C冰重	55.4	8.3	2.4	3.1	0	0.2	-0.1	0.5	0.4	0.3	9.9			
80°C冰重	40.5	17.7	13.9	2.6	1	2	1.7	-0.2	0.1	0.3	0.6	0.3	11.6	

小結：

- 1、前 20 分鐘的溫度變化量，以 70°C 的溫度下降速度最快，其次是 80°C，接下來是 60°C → 50°C → 40°C → 30°C → 20°C。
- 2、因實驗是在完全結冰後就停止實驗，所以我們發現當杯子裡的水完全結冰後，因溫度又開始快速降，所以溫度變化量又開始快速增加。

	20°C的水	30°C的水	40°C的水	50°C的水	60°C的水	70°C的水	80°C的水
溫度變化量 (°C)	13.8	21.4	38.8	48.3	59.3	69.2	79.4
結冰所需時間 (分)	40	60	100	60	80	80	140

從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量



小結：

- 1、從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 20°C 的水比較快，80°C 的水最久。
- 2、基本上，從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，高溫（超過 60°C）的水會比 30°C 和 50°C 的水所需的時間多，但 40°C 的水卻不成立，這個部分我們曾在不同時間重複做兩次，所得結果都是一樣，可能有我們沒有發現的外在因素影響到實驗結果。
- 3、從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），以 70°C 的水的值最高，其次是 50°C 的水，再來是 60°C 的水，最低的是 20°C 的水；基本上，從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），高於 50°C 的中高溫的水會比低於 40°C 的水單位時間溫度變化量的數值大。
- 4、20°C 的水從開始冷凍到出現結冰的溫差最小，出現結冰所需的時間也是最短，但是如換算成從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間）所得的值卻不是最大；而 70°C 的水從開始冷凍到出現結冰的溫差最大，出現結冰所需的時間也是最久，但是如換算成從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間）所得的值反而卻是最大，其次是 60°C 的水。

討論：

- 1、我們進一步分析可以發現：在 20°C 到 70°C 的範圍內，溫度較高的水在前 20 分鐘的溫度下降速度變化量，會比溫度較低的溫度下降速度變化量還要大。這個部分符合文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法。所以我們的假設「水的溫度越高，降溫的速度有時候越快」大致上是成立的。
- 2、從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），以 70°C 的水的值最高，其次是 50°C 的水，再來是 60°C 的水，最低的是 20°C 的水；基本上，從開始冷凍

到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），高於 50°C 的中高溫的水會比低於 40°C 的水單位時間溫度變化量的數值大，再對照文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法，我們認為「更快降溫」代表「單位時間溫度變化量的數值會比較大，所以這個部分也是符合文獻探討中所提：劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』的看法。

3、儘管 80°C 的水在前 20 分鐘的溫度下降速度變化量，並沒有比 70°C 的水、60°C 的水和 50°C 的水大，60°C 的水在前 20 分鐘的溫度下降速度變化量，並沒有比 50°C 的水大，但是因為「彭巴效應」是指「熱水在『有時候』會比冷水還要快結冰」，並不是指「熱水『都會』比冷水還要快結冰」，「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」，所以基於前面幾點的討論，我們的假設「水的溫度越高降溫的速度有時候越快」是成立的。

問題三、水的溫度高低是否會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的水量

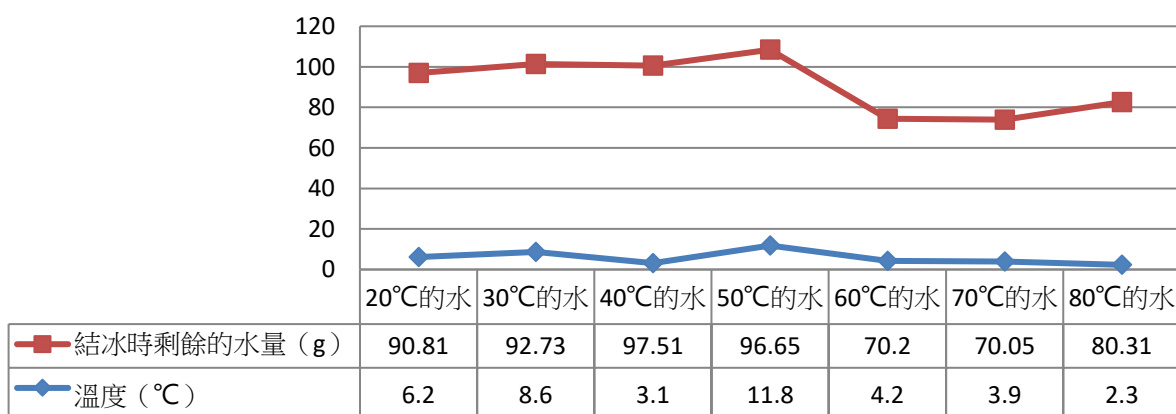
假設：水的溫度高低可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的水量

(研究方法)

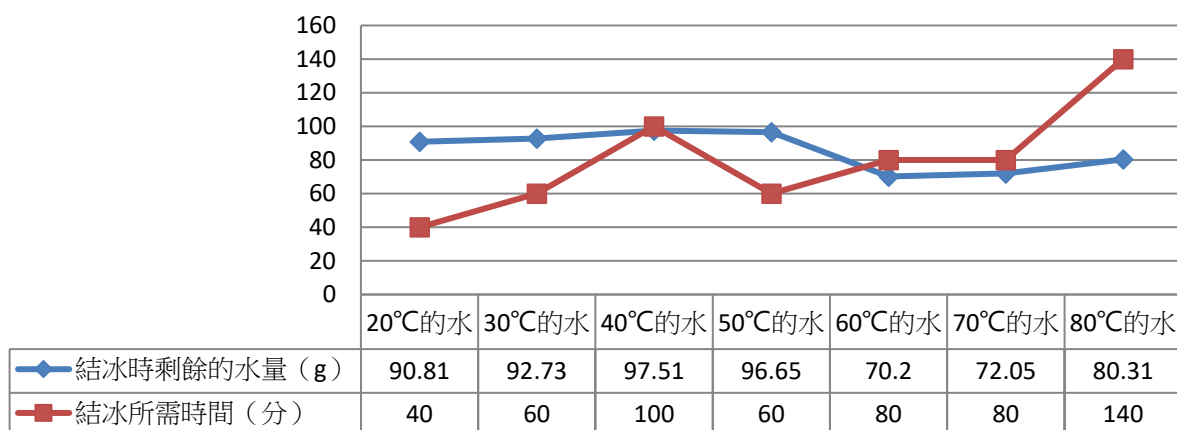
- 1、延續問題一與問題二的實驗操作。
- 2、針對問題一「不同溫度水結冰過程每 20 分鐘的溫度變化」與「不同溫度水的結冰過程剩餘的水量與時間關係」做進一步的分析，並將分析結果記錄下來。

(研究過程與結果)

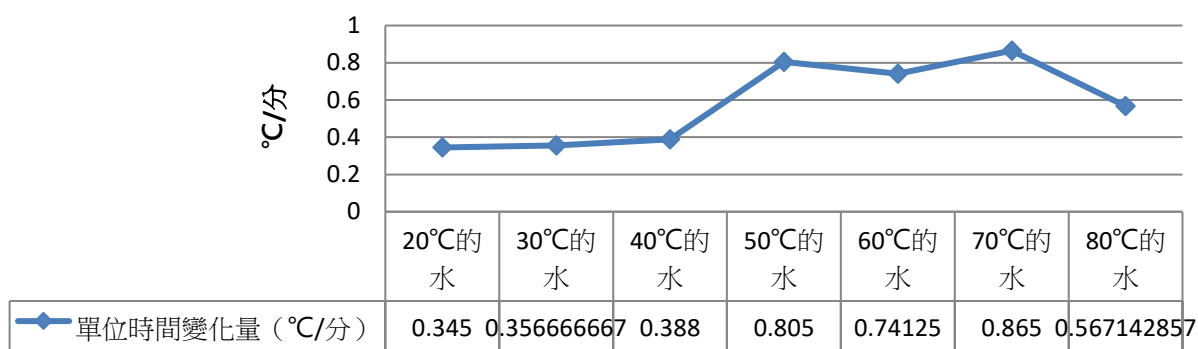
開始結冰時杯子剩餘的水量與溫度關係圖



從開始冷凍到出現冰塊時剩餘水量與結冰所需時間



從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量



小結：

- 1、60°C至 80°C等溫度較高的樣本，開始結冰時杯子剩餘的水量，明顯比 20°C至 50°C等溫度中低的樣本還要少，而且少許多。
- 2、從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 20°C的水比較快，80°C的水最久；若在忽略 40°C的前提下，60°C和 70°C等較高溫的樣本，還是比 30°C和 50°C等溫度較中低溫的樣本，開始結冰時所需的時間較久。

討論：

- 1、再進一步搭配「從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量」，我們發現 20°C的水、30°C的水和 40°C的水等這幾項較低溫的樣本，因為降溫的單位時間溫度變化量明顯比 60°C的水、70°C和 80°C的水等較高溫的樣本數值還要低，剛開始結冰的結冰量也明顯比較少。
- 2、因為 60°C至 80°C等溫度較高的樣本，開始結冰時杯子剩餘的水量，明顯比 20°C至 50°C等溫度中低的樣本還要少，而且少許多。另外，就從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 20°C的水比較快，80°C的水最久；若在忽略 40°C的前提下，60°C

(含)以上的較高溫的樣本，還是比低於 60°C 等溫度較中低溫的樣本，需要比較久的時間才會開始結冰。所以我們事前的假設：水的溫度高低可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的水量，雖然不是隨著溫度的增減而改變，但是整體的方向大致是符合我們的假設。

- 3、基於前面幾點的討論，我們的假設「水的溫度高低可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時殘餘的水量」是成立的，雖然不是隨著溫度的增減而改變，但是整體的方向大致是符合我們的假設。

實驗二、糖水溫度的高低是否會影響結冰的速度呢？

問題四、糖水的溫度高低是否會影響到結冰的速度？

假設：溫度較高的糖水有時候比較快結冰

(研究方法)

- 1、調配 6% 的糖水：以學校自然教室外面的飲水機的水來研究，從飲水機取出來的熱水 (80°C)，先調出比所需溫度高 5°C 至 7°C 的水 470g，加入 30g 的糖並急速攪拌至糖完全溶解。
- 2、取 100g 20°C 的糖水 12 份，分別放進不同的塑膠杯中，帶溫度降至所需的溫度。
- 3、每杯都放進一支溫度計後，再放進冰箱冷凍庫中，並依序排列。
- 4、直至塑膠杯中的水完全結冰後，實驗停止。
- 5、依序比較 20 分鐘、40 分鐘、60 分鐘、80 分鐘、100 分鐘、120 分鐘、140 分鐘、160 分鐘、180 分鐘、200 分鐘、220 分鐘、240 分鐘後探討結冰過程糖水的重量變化，以及結冰過程溫度的變化，並記錄下來。
- 6、再依 40°C 和 60°C，分別取適量的糖水，重複步驟 1 至步驟 4，探討結冰過程糖水的重量變化，以及結冰過程溫度的變化，並記錄下來。

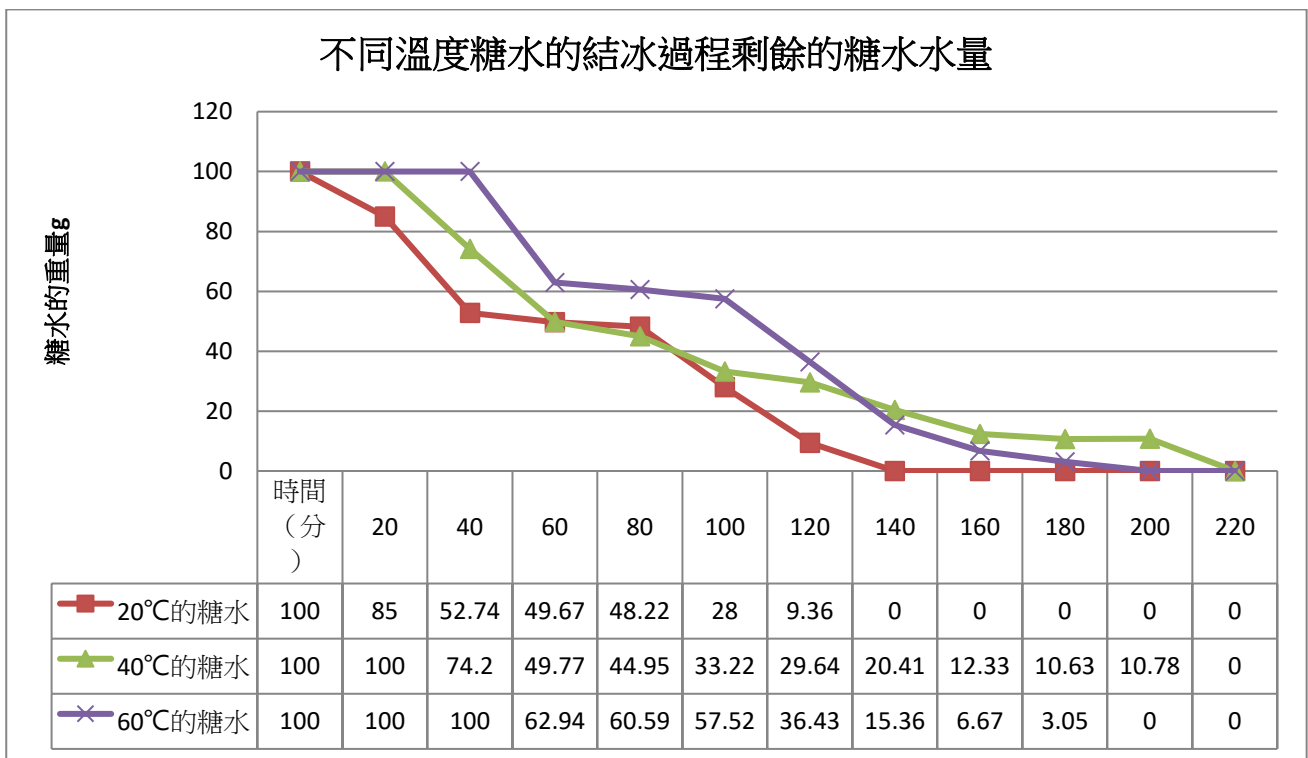
(研究過程與結果)

我們依照步驟 1 至步驟 6 的方法，探討冰和糖水的重量關係，以及結冰過程溫度的變化，並將結果記錄下來：

時間 (分) 20°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180
剩餘糖水的重量	100	85	52.74	49.67	48.22	28	9.36	0	0
溫度	5.1	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	-2.2	-5	-12

時間(分) 40°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
剩餘糖水的重量	100	100	74.2	49.77	44.95	33.22	29.64	20.41	12.33	10.63	10.78	0
溫度	18.9	5.4	0.3	0.3	0.1	0	-0.3	-0.5	-0.5	-1.4	-2	-14.1

時間(分) 60°C	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
剩餘糖水的重量	100	100	100	62.94	60.59	57.52	36.43	15.36	6.67	3.05	0
溫度	28.3	11.1	2.6	0.3	0	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8	-11.2

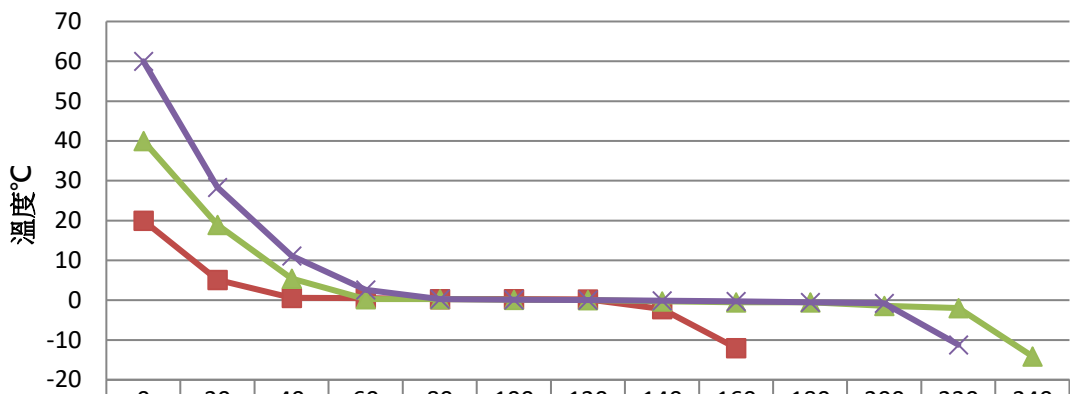


小結：

- 1、隨著冷凍時間的增加，每一種溫度糖水的剩餘糖水重量是逐漸在減少，一直到完全結冰。
- 2、隨著冷凍時間的增加，每一種溫度糖水的結冰量是逐漸在增加，一直到完全結冰。



不同溫度糖水結冰過程每20分鐘的溫度變化

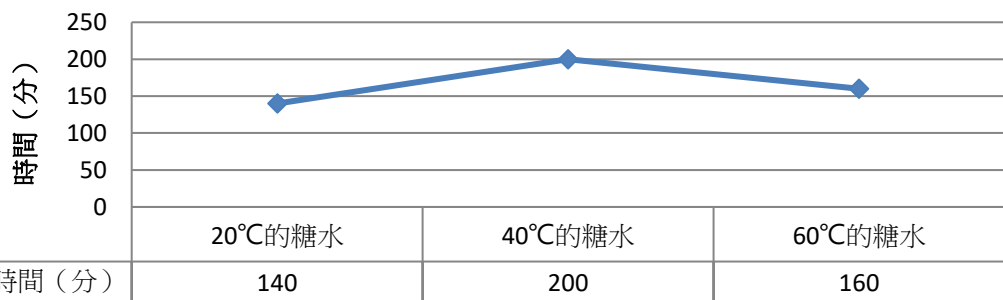


20°C的糖水	20	5.1	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	-2.2	-12				
40°C的糖水	40	18.9	5.4	0.3	0.3	0.1	0	-0.3	-0.5	-0.5	-1.4	-2	-14.1
60°C的糖水	60	28.3	11.1	2.6	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8	-11.2	

小結：

- 1、從上圖與表我們發現：在前 40 分鐘，隨著冷凍時間的增加，每一種溫度糖水的溫度是逐漸在降低；約 40 分鐘後一直到完全結冰之間，溫度的變化不大；因這個實驗過程是「當杯子裡的糖水完全結冰後就停止測量」，所以我們也發現：當杯子裡的糖水完全結冰後，溫度又開始下降。
- 2、不論是什麼溫度，放進冷凍庫後的前 20 分鐘「溫度的下降速度最快」；放進冷凍庫後的 20 至 40 分鐘「溫度的下降速度開始減緩」；放進冷凍庫後的 40 至 60 分鐘「溫度的下降速度又更緩慢」；當杯子裡的糖水完全結冰後，溫度又開始急速下降。

從開始結冰到完全結冰所需時間（分）



小結：

- 1、60°C的糖水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 40°C的水還快，但卻比 20°C的水還慢。
- 2、20°C的糖水從開始結冰到完全結冰所需要的時間是最短的。

討論：

綜合「不同溫度糖水的結冰過程剩餘水量」和「不同溫度糖水結冰過程每 20 分鐘的溫度變化」兩份圖表，我們可以發現：

- 1、20°C 的糖水放進冷凍庫後，在 20 分鐘後就開始有結冰的現象，再來是 40°C 的糖水，在 40 分鐘後就開始有結冰的現象，最慢的是 60°C 的糖水，一直到 60 分鐘後才開始有結冰的現象。
- 2、最快完全結冰的是 20°C 的糖水，其次是 60°C 的糖水，最慢的是 40°C 的糖水。
- 3、從這個實驗我們可以發現：室溫 25°C 附近的糖水（20°C）的確比其他溫度的糖水快結冰，但並不是溫度較低的糖水會比溫度較高的糖水快結冰。
- 4、隨著冷凍時間的增加，每一種溫度糖水的剩餘重量是逐漸在減少，一直到完全結冰；隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的結冰量是逐漸在增加，一直到完全結冰。
- 5、在前 40 分鐘，隨著冷凍時間的增加，每一種溫度糖水的溫度是逐漸在降低；約 40 分鐘後一直到完全結冰之間，溫度的變化不大；因這個實驗過程是「當杯子裡的糖水完全結冰後就停止測量」，所以我們也發現：當杯子裡的糖水完全結冰後，溫度又開始下降。
- 6、不論是什麼溫度的糖水，剛放進冷凍庫後的前 20 分鐘「溫度的下降速度最快」；放進冷凍庫後的 20 至 40 分鐘「溫度的下降速度開始減緩」；放進冷凍庫後的 40 至 60 分鐘「溫度的下降速度又更緩慢」；當杯子裡的水完全結冰後，溫度又開始急速下降。
- 7、60°C 的糖水從開始結冰到完全結冰所需的時間的確比其他溫度的糖水所需的時間更短；而 20°C 的糖水雖然是最早結冰，但完全結冰所需的時間並不是最短的。
- 8、20°C 的糖水在結冰過程溫度下降的速度明顯比 60°C 等較高溫的糖水，降溫的速度較慢，也就是 20°C 的水從 20°C 降至 0°C 所需的時間，明顯比 60°C 等較高溫的水降至 0°C 所需的時間較長。
- 9、「60°C 的糖水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 40°C 的糖水還短，但卻比 20°C 的糖水長。」這個部分正符合彭巴效應所指「熱水在有時候會比冷水還要快結冰」這樣一個不符合科學常理且反直覺的現象。
- 10、基於前面的討論，我們的假設「溫度較高的糖水有時候比較快結冰」是成立的，雖然不是溫度較高的糖水一定比較低溫的糖水快結冰，但是「60°C 的糖水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 40°C 的糖水快，但卻比 20°C 的糖水慢。」是符合我們的假設，

也符合劉詠鯤老師所說的「彭巴效應」為「高溫物體可以比中溫物體更快降溫」，而不是「更快結冰」。

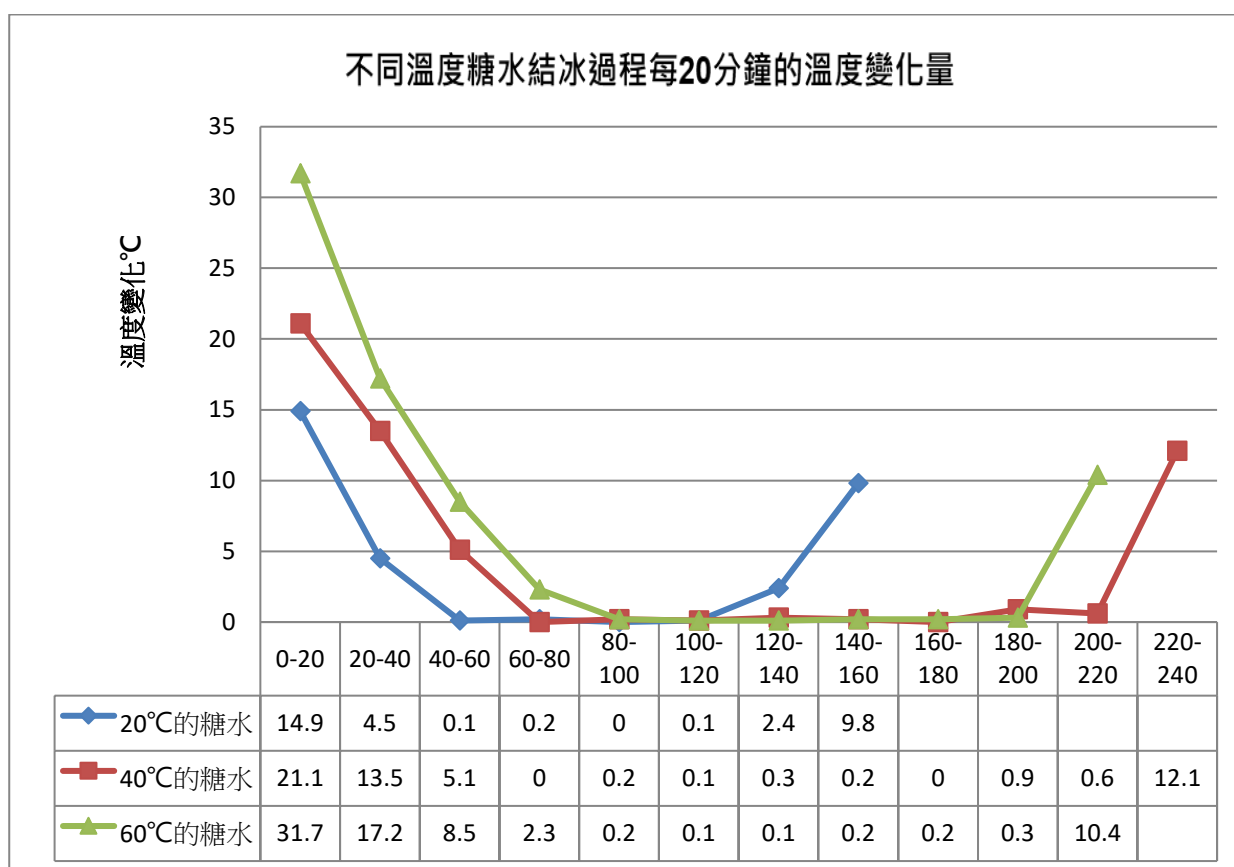
問題五、糖水的溫度越高，降溫的速度是否越快

假設：糖水的溫度越高，降溫的速度可以越快

(研究方法)

- 1、延續問題四的實驗操作。
- 2、針對問題四「不同溫度的糖水結冰過程每 20 分鐘的溫度變化」做進一步的分析，並將分析結果記錄下來。

(研究過程與結果)

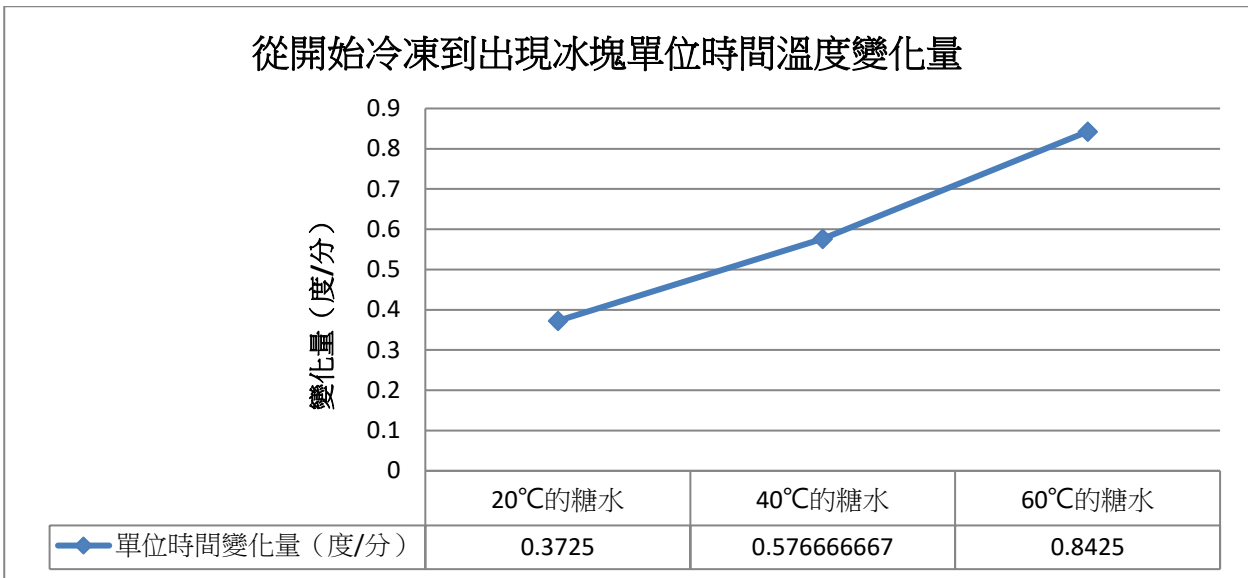


小結：

- 1、前 20 分鐘的溫度變化量，以 60°C 的糖水下降速度最快，其次是 40°C，最後是 20°C。
- 2、因實驗是在完全結冰後就停止實驗，所以我們發現當杯子裡的糖水完全結冰後，每 20 分鐘的溫度量又開始急速增加。

	20°C 的糖水	40°C 的糖水	60°C 的糖水
溫度變化量 (°C)	14.9	34.6	67.4
結冰所需時間 (分)	40	60	80

從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量



小結：

- 1、從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 20°C 的糖水比較快，60°C 的糖水最久。
- 2、基本上，從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，高溫（60°C）會比 20°C 和 40°C 的糖水長，40°C 會比 20°C 的糖水長。
- 3、從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），以 60°C 的糖水的值最高，其次是 40°C 的糖水，最低的是 20°C 的糖水；基本上，從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），高溫的糖水會比較低溫的糖水單位時間溫度變化量的數值大。

討論：

- 1、我們進一步分析可以發現：溫度較高的糖水在前 20 分鐘的溫度下降速度變化量，會比溫度較低的糖水還要大。這個部分符合文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法。所以我們的假設「糖水的溫度越高，降溫的速度可以越快」是成立的，同時也符合「彭巴效應—熱水在有時候會比冷水還要快結冰」。
- 2、從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），以 60°C 的糖水的值最高，其次是 40°C 的糖水，最低的是 20°C 的糖水；基本上，從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），高溫的糖水會比比比較低溫的糖水單位時間溫度變化量的數值大，再對照文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法，我們認為「更快降溫」代表「單位時間溫

度變化量的數值會比較大，所以這個部分也是符合文獻探討中所提劉詠鯤老師認為彭巴效應為「高溫物體可以比中溫物體更快降溫」的看法。

- 3、20°C的糖水從開始冷凍到出現結冰的溫差最小，出現結冰所需的時間也是最短，但是如換算成從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間）所得的值卻不是最大；而 60°C的糖水從開始冷凍到出現結冰的溫差最大，出現結冰所需的時間也是最久，但是如換算成從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間）所得的值反而卻是最大，符合文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法，同時也符合「彭巴效應—熱水在有時候會比冷水還要快結冰」。
- 4、基於前面幾點的討論，我們的假設「糖水的溫度越高降溫的速度可以越快」是成立的。

問題六、糖水的溫度高低是否會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的糖水量

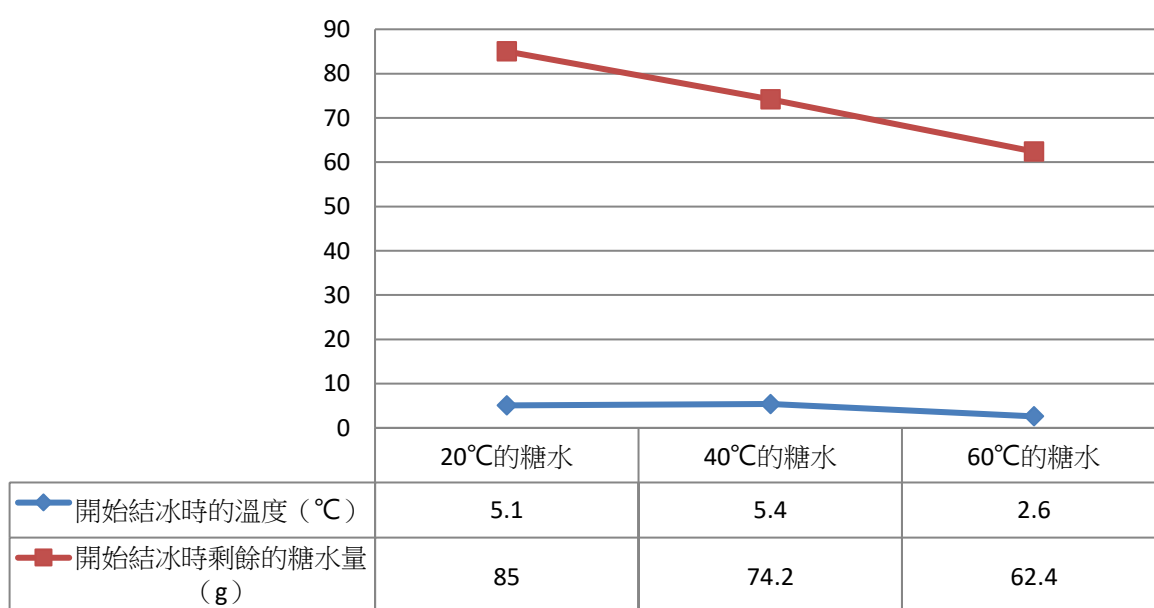
假設：糖水的溫度高低可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的糖水量

(研究方法)

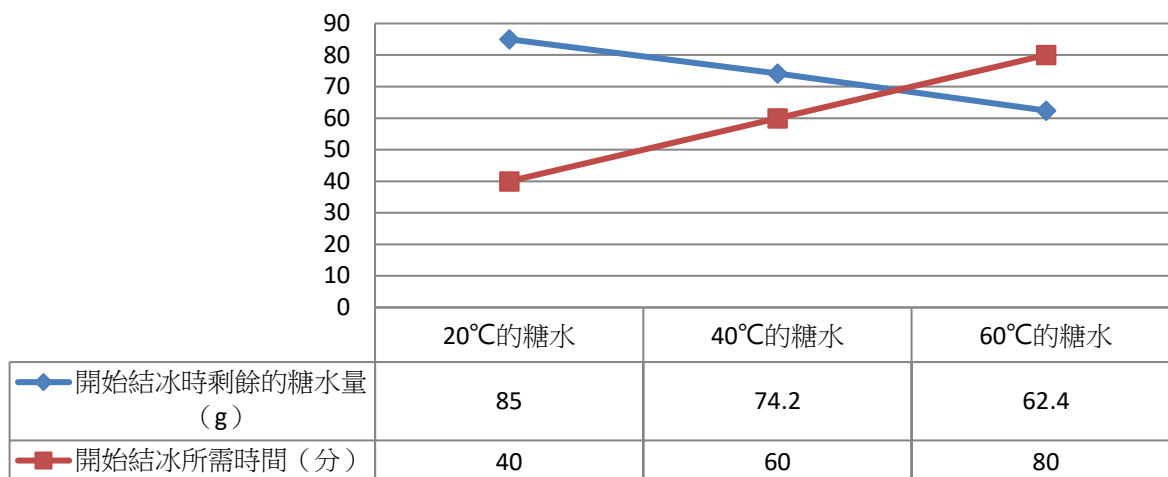
- 1、延續問題四與問題五的實驗操作。
- 2、針對問題一「不同溫度糖水結冰過程每 20 分鐘的溫度變化」與「不同溫度糖水的結冰過程剩餘的糖水量與時間關係」做進一步的分析，並將分析結果記錄下來。

(研究過程與結果)

開始結冰時杯子剩餘的水量與溫度關係圖



開始結冰時杯子剩餘的糖水量與時間關係圖



小結：

- 1、從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 20°C 的糖水比較短，60°C 的糖水最長；較高溫的樣本，還是比溫度較低溫的樣本，開始結冰時所需的時間較久。
- 2、當開始結冰時，以 60°C 糖水的溫度只有 2.6°C 最低，40°C 糖水的溫度次高，20°C 的糖水開始結冰時的溫度最高；而 60°C 糖水開始結冰時剩餘的糖水量也只剩 62.4g，也是最少，40°C 糖水開始結冰時剩餘的糖水量次多，20°C 的糖水最多。
- 3、溫度較高的樣本，開始結冰時杯子剩餘的糖水量，明顯比溫度低的樣本還要少，而且少許多。

討論：

- 1、再進一步搭配「從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量」，我們發現 20°C 的糖水和 40°C 的糖水等這幾項較低溫的樣本，因為降溫的單位時間溫度變化量明顯比 60°C 的糖水等較高溫的樣本數值還要低，剛開始結冰的結冰量也明顯比較少，所以，我們認為 60°C 的糖水等較高溫的樣本降溫的速度快，剛開始結冰的結冰量也明顯比較多。
- 2、因為溫度較高的樣本，開始結冰時杯子剩餘的糖水量，明顯比溫度較低的樣本還要少，而且少許多。另外，就從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 20°C 的水比較快，60°C 的水最久；60°C（含）以上的較高溫的樣本，還是比低於 60°C 等溫度較中低溫的樣本，開始結冰時所需的時間較久。所以我們事前的假設：糖水的溫度高低會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的糖水量，所以整體的方向是符合我們的假設。
- 3、60°C 的糖水開始出現結冰時，溫度只有 2.6°C，這和其他 40°C 和 20°C 的糖水（開始結冰的溫度分別為 5.1°C 和 5.4°C）比起來，60°C 的糖水開始出現結冰時的溫度明顯更低許多；60°C 的糖水開始結冰時剩餘的糖水量也只剩 62.4g，這和其他 40°C 和 20°C 的糖

水（開始結冰時剩餘的糖水量也只剩 85g 和 74.2g）比起來，60°C 的糖水開始出現結冰時剩餘的糖水量明顯更少許多。所以，我們認為 60°C 的糖水等較高溫的樣本降溫的速度快，剛開始結冰的結冰量也明顯比較多；40°C 的糖水降溫速度第二快，所以剛開始結冰的結冰量排第二；20°C 的糖水降溫速度最慢，所以剛開始結冰的結冰量也最少。

4、基於前面幾點的討論，我們的假設「糖水的溫度高低可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的糖水量」是成立的。

問題七、可否將熱騰騰的原料直接放進冷凍庫製冰？

(研究方法)

- 1、詢問製作衛生冰塊的工廠、飲料店與有做冰棒的冰果室的工作人員。
- 2、將詢問結果記錄下來並分析。

(研究過程與結果)

我們先上網搜尋資料，目前大量製做衛生冰塊的方法是將自來水經三道水處理去除細砂、微生物、各種懸浮物質、化學物質以及鈣鎂離子等，再以 RO 逆滲透機將生水進一步處理成 RO 逆滲透水（如下圖），然後再經過 UV 紫外線殺菌後，再經由冷凍製冰機急速冷凍製作衛生冰塊：



本圖取自弘興製冰廠 冰品製作流程

至於市面上所賣的冰棒，我們詢問屏東市大連路上的一家專做冰棒的店家，他們說他們是先將原料加熱煮沸煮熟後，殺死水裡面的細菌和病毒，然後將煮好的原料放一下下後，再放進冷凍製冰機中急速冷凍製作冰棒，而且現在都是急速冷凍，就算是熱熱的放進去也沒關係，但他們還是會放一下再放進冷凍製冰機裡面製作冰棒。

肆、研究結論

- 1、隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水和糖水還沒有結冰的剩餘重量是逐漸在減少，溫度也是逐漸在降低，而且下降速度逐漸變慢，一直到杯子裡的水或糖水完全結冰後，溫度又開始急速下降。
- 2、隨著冷凍時間的增加，每一種溫度的水和糖水的結冰量是逐漸在增加，一直到杯子裡的水或糖水完全結冰。而且，剛放進冷凍庫後的水和糖水在前 20 分鐘「溫度的下降速度最快」，然後「溫度的下降速度開始減緩」，當杯子裡的水或糖水完全結冰後，溫度又開始急速下降。
- 3、80°C 的水從開始結冰到完全結冰所需的時間的確比其他溫度的水所需的時間更短，其次是 70°C 的水，而 70°C 的水又比 60°C 的水短，但 60°C 的水卻沒有比 50°C 的水低，反而是一樣多，50°C 的水也是和 40°C 的水一樣多；而 20°C 的水雖然是最早結冰，但完全結冰所需的時間並不是最快的。這個部分正符合彭巴效應所指「熱水在有時候會比冷水還要快結冰」這樣一個不符合科學常理且反直覺的現象，也符合劉詠鯤老師「『彭巴效應』為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』，而不是『更快結冰』」的主張，所以說「熱水有時候會比較快結冰」。
- 4、溫度較高的水在前 20 分鐘的溫度下降速度變化量，會比溫度較低的溫度下降速度變化量還要大，從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），70°C 的水的值比 60°C 的水高，但 60°C 的水卻沒有比 50°C 的水高，反而較低；我們也發現，從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），高於 50°C 的中高溫的水會比低於 40°C 的水單位時間溫度變化量的數值大，再對照文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法，我們認為「更快降溫」代表「單位時間溫度變化量的數值會比較大，所以這個部分也是符合文獻探討中所提劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』的看法。這個部分符合文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法，所以說「水的溫度越高降溫的速度有時候越快」。而且，因為 60°C 至 80°C 等溫度較高的樣本，開始結冰時杯子剩餘的水量，明顯比 20°C 至 50°C 等溫度中低的樣本還要少，而且少許多。
- 5、從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 20°C 的水比較快，80°C 的水最久；若在忽略 40°C 的前提下，60°C（含）以上的較高溫的樣本，還是比低於 60°C 等溫度較中低

溫的樣本，需要比較久的時間才會開始結冰。所以說「水的溫度高低可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的水量」是有可能發生的。

- 6、最早結冰的是 20°C 的糖水，再來是 40°C 的糖水，最慢的是 60°C 的糖水；最快完全結冰的是 20°C 的糖水，其次是 60°C 的糖水，最慢的是 40°C 的糖水。室溫 25°C 附近的糖水（20°C）的確比其他溫度的糖水快結冰，但並不是溫度較低的糖水會比溫度較高的糖水快結冰。但若探討從開始結冰到完全結冰所需的時間，就以 60°C 的糖水所需的時間最短，其次是 40°C 的糖水，最後才是 20°C 的糖水；而 20°C 的糖水雖然是最早結冰，但完全結冰所需的時間並不是最快的。因為 20°C 的糖水在結冰過程溫度下降的速度明顯比 60°C 等較高溫的糖水，降溫的速度較慢，也就是 20°C 的水從 20°C 降至 0°C 所需的時間，明顯比 60°C 等較高溫的水降至 0°C 所需的時間較慢。因此，「60°C 的糖水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 40°C 的糖水還快，但卻比 20°C 的糖水慢。」這個部分正符合彭巴效應所指「熱水在有時候會比冷水還要快結冰」這樣一個不符合科學常理且反直覺的現象。所以「溫度較高的糖水有時候比較快結冰」，雖然不是溫度較高的糖水一定比較低溫的糖水快結冰，但是「60°C 的糖水從開始結冰到完全結冰所需的時間比 40°C 的糖水快，但卻比 20°C 的糖水慢。」是符合我們的假設，也符合劉詠鯤老師所說的「彭巴效應」為「高溫物體可以比中溫物體更快降溫」，而不是「更快結冰」。
- 7、溫度較高的糖水在前 20 分鐘的溫度下降速度變化量，會比溫度較低的溫度下降速度變化量還要大，從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），以 60°C 的糖水的值最高，其次是 40°C 的糖水，最低的是 20°C 的糖水；基本上，從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間），高溫的糖水會比較低溫的糖水單位時間溫度變化量的數值大，「更快降溫」代表「單位時間溫度變化量的數值會比較大，20°C 的糖水從開始冷凍到出現結冰的溫差最小，出現結冰所需的時間也是最短，但是如換算成從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間）所得的值卻不是最大；而 60°C 的糖水從開始冷凍到出現結冰的溫差最大，出現結冰所需的時間也是最久，但是如換算成從開始冷凍到出現冰塊單位時間溫度變化量（溫度變化量/時間）所得的值反而卻是最大，這個部分符合文獻探討中所提「劉詠鯤老師認為彭巴效應為『高溫物體可以比中溫物體更快降溫』」的看法，同時也符合「彭巴效應—熱水在有時候會比冷水還要快結冰」，所以「糖水的溫度越高降溫的速度可以越快」。

- 8、因為 60°C 的糖水降溫的單位時間溫度變化量明顯比 40°C 的糖水大，剛開始結冰的剩餘的糖水量也明顯比較少；而 40°C 的糖水降溫的單位時間溫度變化量明顯比 20°C 的糖水大，剛開始結冰的剩餘的糖水量也明顯比較少；從開始冷凍到出現冰塊所需的時間，還是以 60°C 的糖水最久，其次是 40°C 的糖水，最快的是 20°C 的糖水；60°C 的糖水開始出現結冰時，溫度只有 2.6°C，這和其他 40°C 和 20°C 的糖水（開始結冰的溫度分別為 5.1°C 和 5.4°C）比起來，60°C 的糖水開始出現結冰時的溫度明顯更低許多；60°C 的糖水開始結冰時剩餘的糖水量也只剩 62.4g，這和其他 40°C 和 20°C 的糖水（開始結冰時剩餘的糖水量也只剩 85g 和 74.2g）比起來，60°C 的糖水開始出現結冰時剩餘的糖水量明顯更少許多。所以，我們認為 60°C 的糖水等較高溫的樣本降溫的速度快，剛開始結冰的結冰量也明顯比較多；40°C 的糖水降溫速度第二快，所以剛開始結冰的結冰量排第二；20°C 的糖水降溫速度最慢，所以剛開始結冰的結冰量也最少。所以「糖水的溫度高低可能會影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的糖水量」。
- 9、雖然「較高溫的糖水降溫的速度快，剛開始結冰的結冰量也明顯比較多，糖水的溫度越高，降溫的速度可以越快」，根據「彭巴效應—熱水在有時候會比冷水還要快結冰、熱牛奶常常比冷牛奶先結冰」，古希臘時代的哲學家亞里斯多德，他也曾描述：「先前被加熱的水，有助於更快結冰」，但是，「彭巴效應」至今仍然充滿了許多的外在因素，在結冰過程中牽扯到的種種複雜因素，受到許多不同的因素影響，如煮沸及冷凝的過程不一定相同，甚至就連最終結果也都有討論空間，因此，做衛生冰塊的工廠沒有直接使用熱開水來製作冰塊，而是使用有經過 RO 逆滲透處理過的水，經過冷凍製冰機以急速冷凍製作冰塊；而自製冰棒的店家，他們也不會將剛煮沸的原料直接放進冷凍製冰機中急速冷凍，他們都會先把剛煮沸的原料先放一下下後，再放進冷凍製冰機裡面製成冰棒，而且現在都是急速冷凍，就算是熱熱的放進去也沒關係，但他們還是會放一下再放進冷凍製冰機裡面製作冰棒，所以製作衛生冰塊與冰棒的廠商與店家，並沒有因為「彭巴效應—熱水在有時候會比冷水還要快結冰、熱牛奶常常比冷牛奶先結冰」的關係，而使用較高溫的水或剛煮沸的原料來製作衛生冰塊與冰棒。
- 10、在完成這個研究後，我們在討論時對「彭巴效應」突然間也有另外的看法：「彭巴效應」就如同我們爬山時要同時從山頂或半山腰走到山腳下，一個從山頂出發往山下走，另一個從半山腰出發順著「原」道路往山下走，理論上從半山腰出發的人應該是會比較快回到山腳下，但是從山頂出發的那位有可能因直接走捷徑而更快走到山腳下，也有可能從山頂沿山坡直接下切直線走下山而比較快到山腳下，這樣的解釋，正

如「彭巴效應」所指「熱水在有時候會比冷水還要快結冰」一樣，「熱水」就如同是「在山頂」，「冷水」就如同是「在半山腰」，「冷水降溫的過程」就如同是「從半山腰順著『原』道路出發走到山腳下」的過程，但是從山頂出發的那位有可能因直接走捷徑而更快走到山腳下，也有可能從山頂沿山坡直接下切直線走下山而比較快到山腳下，熱水「有時候」會比較快結冰，水的溫度越高降溫的速度「有時候」越快，水的溫度高低「可能會」影響最早出現冰塊的時間與結冰時剩餘的水量，以上都是「可能」會出現，而不是「一定」會出現。

伍、參考資料及其他

一、心得

在這次的科展從題目的發想，到開始進行研究，設計實驗，和整個過程中，我們學到了如何耐心等待冰塊結冰，和團隊合作的精神，雖然在這次的過程中有些挫折和小差錯，但是在老師的細心的指導和鼓勵下，我們還是克服了這個困難，完成整個實驗研究。從這個實驗中我們發現了熱水「有時候」比冰水還快結冰，和水的溫度越高降溫的速度「有時候」越快。謝謝老師在這次的實驗中耐心和細心教導我們和鼓勵我們，讓這次的實驗過程非常順利進行，也謝謝同學們的陪伴下，和努力下，才有這麼好的一個結果。

二、參考資料：

1. 劉詠鯤（2020年09月18日）•「CASE報科學」的「『熱水比冷水更快結冰?』—彭巴效應的新線索」•取自 <https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=35675>
2. 韻涵（2000）•一碗冰淇淋惹出的大麻煩！熱水結冰比冷水快？半世紀爭議終於解開•泛科學•取自 <https://pansci.asia/archives/190853>
3. 弘興製冰廠•冰品製作流程•取自 http://www.hs-icemaking.url.tw/hot_cg24581.html
4. 溪湖糖廠•製冰過程•取自 <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2004/C0415500648/ice.htm>