

屏東縣第 65 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：濃度與彭巴效應之研究

關 鍵 詞：濃度、解離、依數性

編號：B2011

目錄

摘要-----	p.3
壹、前言-----	p.3
貳、研究設備及器材-----	p.4
參、研究過程與方法-----	p.5
肆、研究結果-----	p.8
伍、討論-----	p.12
陸、結論-----	p.14
柒、參考資料和其他-----	p.19

摘要

我們依照溶質的水溶液依數性，選用三種溶質，分別是蔗糖、食鹽和氯化鈣。然後討論濃度和溶質的依數性對水的彭巴效應影響。然後我們操作的變因有水量、裝水容器的水面表面積、溶質的種類和溶質的重量。最後發現，加入溶質依然有彭巴效應，溶質越多，表面結冰時間越短，依數性越大，表面結冰時間越短。但食鹽卻是個特例，反而結冰時間是最長的，比純水的時間還長。

壹、前言

一、研究動機：

在理化課本的第五章：溫度與熱量這個單元時，老師說：「在相同的條件下，你們相信熱水可能比冷水更快結冰嗎？」這句話激起我們的好奇心。在我們搜尋資料的過程當中，我們發現：不同的物質種類、不同的濃度、不同的表面積、不同的起始溫度，可能會影響水的結冰。所以這開始我們的研究之旅。

二、研究目的：

- (一)、在不同的起始溫度下，使用同一種裝水容器，在裝入不同的水量時，研究水的彭巴效應之關係。
- (二)、在 20ml 的水量下，調配相同濃度的不同種類的溶質，在裝入不同的容器時，研究濃度與彭巴效應之關係。
- (三)、在相同的條件下，取相同的水量裝入不同大小的燒杯中，研究水面表面積與彭巴效應之關係。

三、文獻回顧：

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。

「降溫」這個過程，也許不如字面看起來的這麼簡單。「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。

不管怎麼說所謂「彭巴效應」並沒有給出準確定義：並未給出熱水是幾度，冷水是幾度，容器的形狀，水的純度。甚至連結冰的定義都不明確：出現了可見的冰塊還是出現第一粒晶種？實際的實驗的結果是：熱水有的時候結冰比冷水快，大部分時間還是冷水快。因為實際結晶動力學的複雜性，和過冷過程的不確定性，冷水過冷沒結冰熱水沒過冷直接結冰了的情況也是會發生的。

貳、研究設備及器材



蔗糖



食鹽



氯化鈣



紅外線溫度計



加熱裝置、溫度計



甘鍋夾、培養皿、燒杯



冰箱



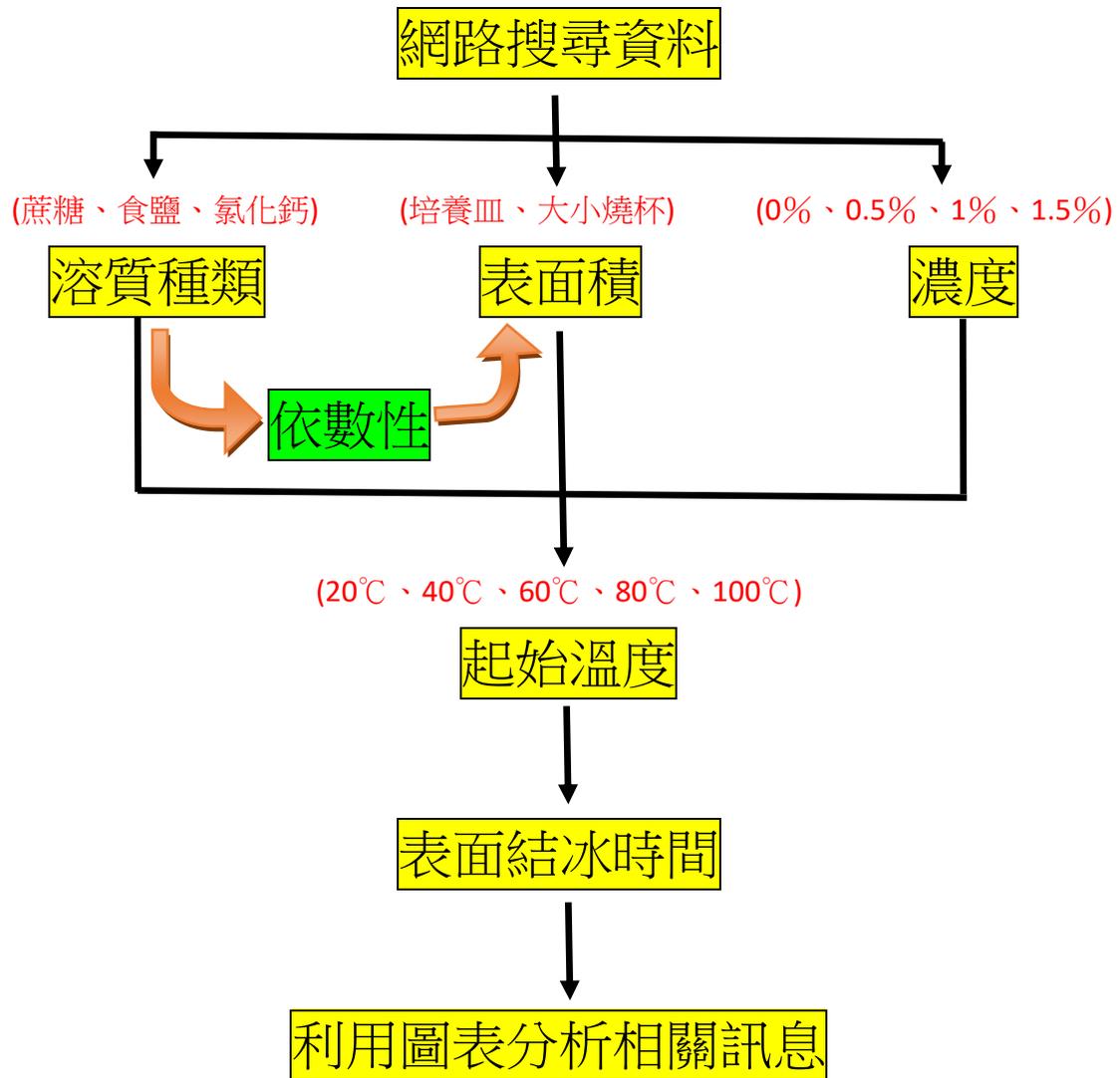
量筒



電子秤

參、研究過程與方法

一、實驗架構：



二、實驗步驟：

(一)、將不同的水量，依不同的溫度，加入培養皿和不同大小的燒杯中，如下圖 01 所示。

1. 20ml 的水量：依 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
2. 40ml 的水量：依 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
3. 60ml 的水量：依 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在 100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。

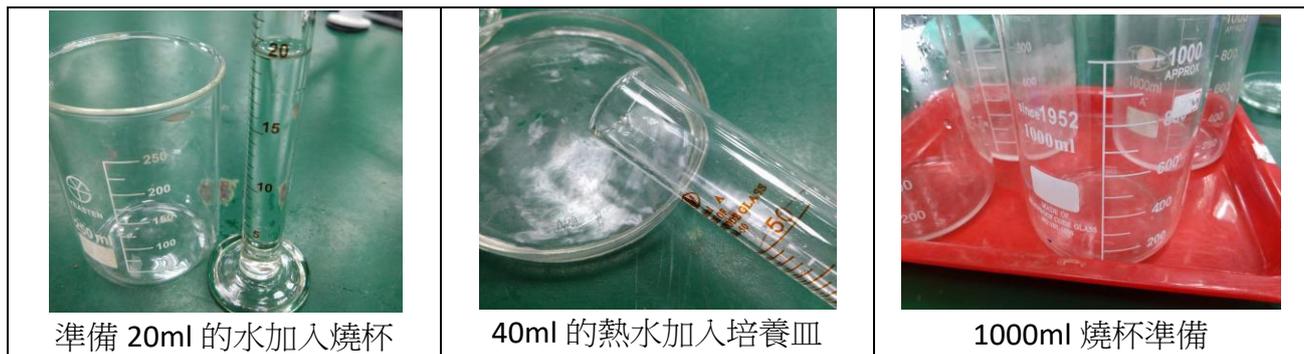


圖 01 為將不同的水量，到入不同大小的容器中

(二)、水量固定為 20ml，溶質種類為蔗糖，依不同的濃度，在不同的起始溫度下，加入培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，如下圖 02 所示。

1. 蔗糖 0.1 公克，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
2. 蔗糖 0.2 公克，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
3. 蔗糖 0.3 公克，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。

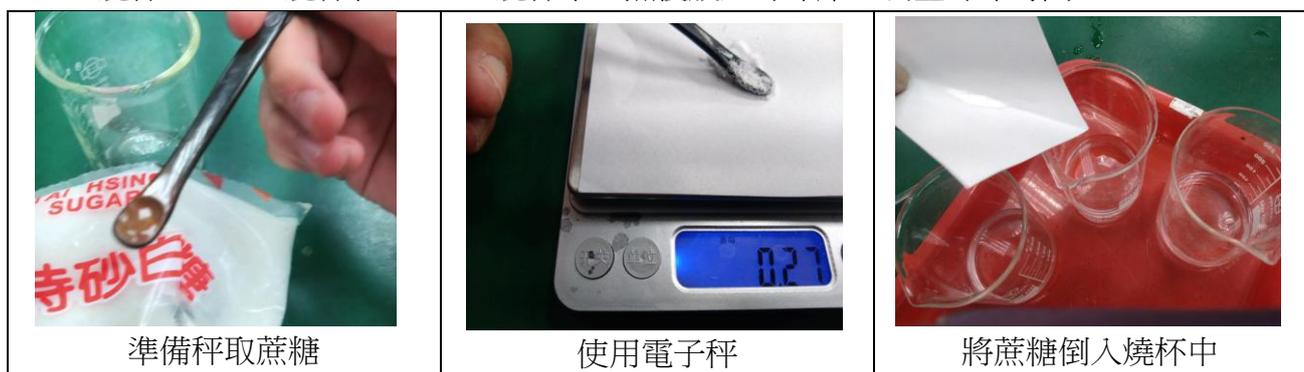


圖 02 為秤取蔗糖加入燒杯中

(三)、水量固定為 20ml，溶質種類為**食鹽(氯化鈉)**，依不同的濃度，在不同的起始溫度下，加入培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，如下圖 03 所示。

1. **食鹽(氯化鈉)0.1 公克**，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
2. **食鹽(氯化鈉)0.2 公克**，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
3. **食鹽(氯化鈉)0.3 公克**，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。

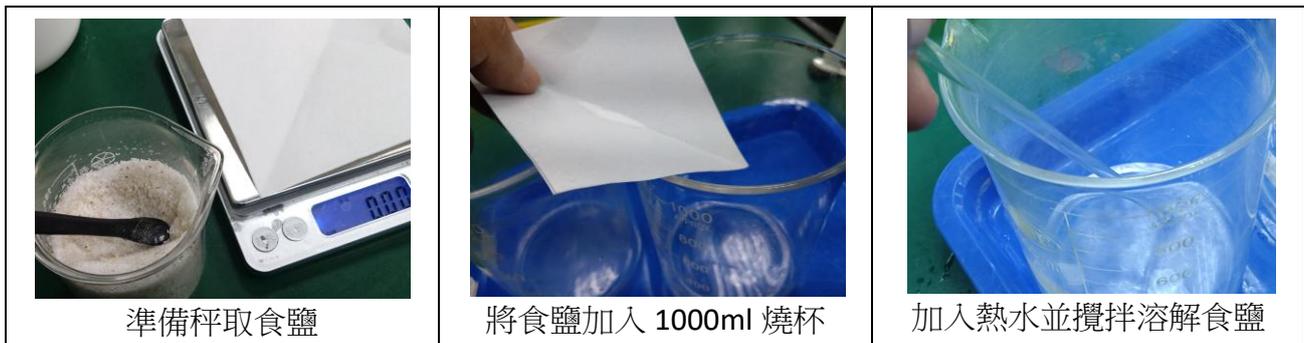


圖 03 為食鹽當溶質加入燒杯的實驗

(四)、水量固定為 20ml，溶質種類為**氯化鈣**，依不同的濃度，在不同的起始溫度下，加入培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，如下圖 04 所示。

1. **氯化鈣 0.1 公克**，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
2. **氯化鈣 0.2 公克**，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。
3. **氯化鈣 0.3 公克**，水 20ml，分別在 20°C、40°C、60°C、80°C、100°C。加入在培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯中，然後放入冷凍庫，測量冷凍時間。

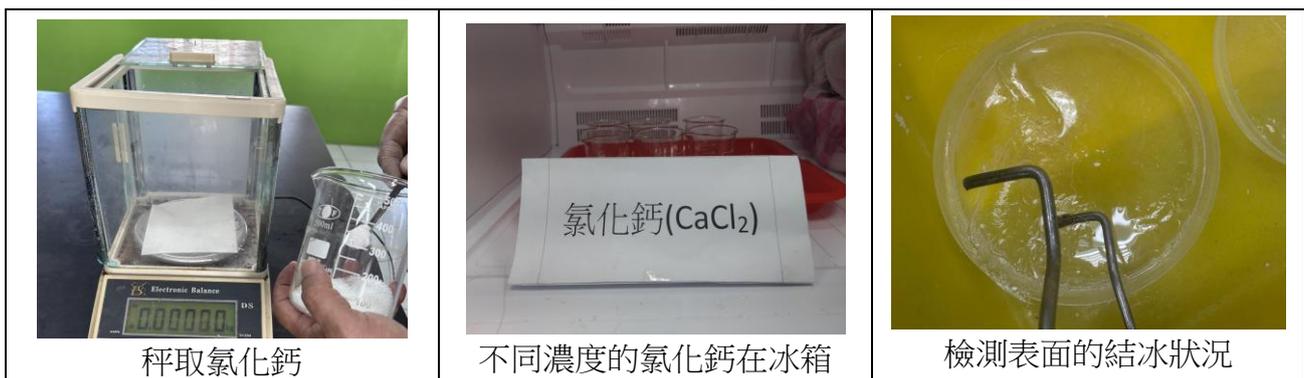


圖 04 為氯化鈣當溶質，放入冷凍室表面結冰的實驗

肆、研究結果

一、將 20ml 的水量，倒入不同大小的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理如下表 05 所示。

分鐘	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	12	11	11	10	9
100ml 燒杯	13	13	11	10	10
250ml 燒杯	13	11	11	9	9
1000ml 燒杯	12	11	10	9	8

表 05 為 20ml 的水量在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

二、將 40ml 的水量，倒入不同大小的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理如下表 06 所示。

分鐘	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	12	12	11	11	11
100ml 燒杯	13	14	12	10	11
250ml 燒杯	13	11	12	10	10
1000ml 燒杯	12	12	11	9	9

表 06 為 40ml 的水量在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

三、將 60ml 的水量，倒入不同大小的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理如下表 07 所示。

分鐘	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	13	12	12	12	11
100ml 燒杯	14	14	13	11	11
250ml 燒杯	14	11	12	10	10
1000ml 燒杯	13	12	11	10	10

表 07 為 60ml 的水量在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

四、將 20ml 的水量，加入蔗糖 0.1 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 08 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	12	11	10	10	9
100ml 燒杯	12	12	11	10	10
250ml 燒杯	12	10	10	9	9
1000ml 燒杯	11	10	10	9	8

表 08 為在 20ml 的水量加 0.1 公克的蔗糖，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

五、將 20ml 的水量，加入蔗糖 0.2 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 09 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	12	11	10	9	9
100ml 燒杯	12	11	11	10	10
250ml 燒杯	12	10	10	9	8
1000ml 燒杯	11	10	9	9	7

表 09 為在 20ml 的水量加 0.2 公克的蔗糖，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

六、將 20ml 的水量，加入蔗糖 0.3 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 10 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	11	11	10	9	8
100ml 燒杯	12	11	10	10	9
250ml 燒杯	12	10	9	9	8
1000ml 燒杯	10	10	9	9	7

表 10 為在 20ml 的水量加 0.3 公克的蔗糖，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

七、將 20ml 的水量，加入食鹽(氯化鈉)0.1 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 11 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	14	13	11	11	10
100ml 燒杯	14	14	13	11	11
250ml 燒杯	14	13	13	11	10
1000ml 燒杯	13	13	12	11	10

表 11 為在 20ml 的水量加 0.1 公克的食鹽，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

八、將 20ml 的水量，加入食鹽(氯化鈉)0.2 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 12 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	15	14	12	12	11
100ml 燒杯	16	14	14	13	12
250ml 燒杯	16	15	13	12	11
1000ml 燒杯	15	14	12	12	11

表 12 為在 20ml 的水量加 0.2 公克的食鹽，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

九、將 20ml 的水量，加入食鹽(氯化鈉)0.3 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 13 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	16	15	14	12	12
100ml 燒杯	17	14	15	13	13
250ml 燒杯	17	15	15	14	13
1000ml 燒杯	16	14	14	13	12

表 13 為在 20ml 的水量加 0.3 公克的食鹽，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

十、將 20ml 的水量，加入氯化鈣 0.1 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 14 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	11	10	10	9	7
100ml 燒杯	11	10	10	9	7
250ml 燒杯	12	9	9	9	7
1000ml 燒杯	10	10	9	8	7

表 14 為在 20ml 的水量加 0.1 公克的氯化鈣，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

十一、將 20ml 的水量，加入氯化鈣 0.2 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 15 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	11	9	10	8	7
100ml 燒杯	11	10	10	9	8
250ml 燒杯	12	9	9	8	7
1000ml 燒杯	10	10	9	7	7

表 15 為在 20ml 的水量加 0.2 公克的氯化鈣，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

十一、將 20ml 的水量，加入氯化鈣 0.3 公克到培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯和 1000ml 燒杯等大小不同的容器中，然後放入冰箱中測量其表面冷凍的時間。我們將所收集到的數據整理，如下表 16 所示。

	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
培養皿	11	10	10	8	7
100ml 燒杯	10	10	9	9	8
250ml 燒杯	11	9	9	8	7
1000ml 燒杯	10	9	8	7	6

表 16 為在 20ml 的水量加 0.3 公克的氯化鈣，在不同起始溫度、不同容器的表面冷凍溫度

伍、討論

一、為了可以大量取得實驗的數據，所以實驗時，我們會有以下實驗的操作，如下圖 17 所示。

(一)、一次製作大量溫度相同的實驗。我們一次使用 1000ml 的燒杯加熱，然後一次加熱二杯。然後將水溫到達目標溫度時，我們就會將水倒入已經準備好的大小不同容器中。



圖 17 為一次加熱大量熱水後，同時使用在不同條件的實驗

(二)、一次將六個中燒杯、小燒杯放入冰箱的冷凍庫中，如下圖 18-1 所示。

(三)、大燒杯因為體積的關係，一次最多只能放置 4 個，如下圖 18-2 所示。

(四)、為了配合水溫的一致，我們會將不同濃度，但相同水溫得溶液一起冷凍，然後再測量其表面冷凍的時間。最後再整理在電腦中。然後用 Excel 處理，如下圖 18-3 所示。

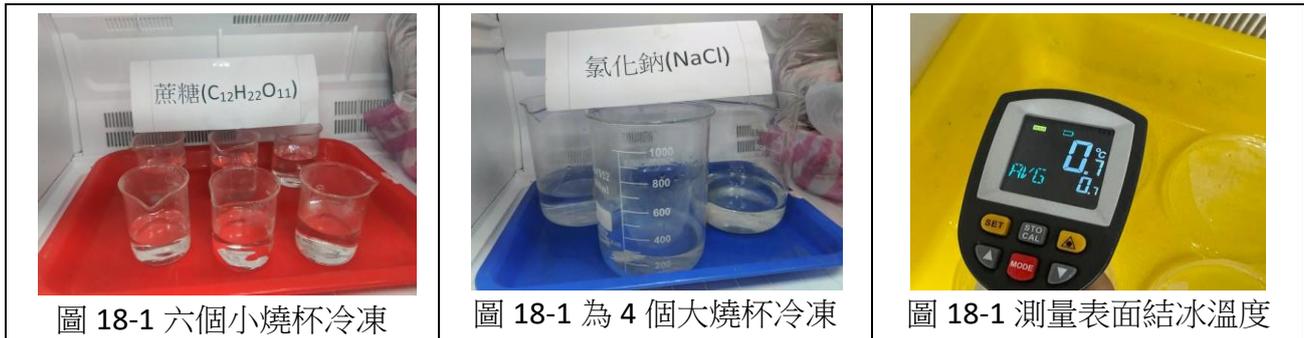


圖 18 為我們在冷凍庫有限的空間下的實驗操作

二、因為 40ml 和 60ml 的水量，在表面結冰所花的時間稍微太長，所以在添加溶質的實驗中，我們將水量都固定為 20ml。我們討論的因素如下：

(一)、由水量的實驗數據中，我們大致可以發現，彭巴效應和水量的相關性很小。主要還是和容器的表面積相關性較大。

(二)、若在加溶質的情況之下，水量也是變因之一，則實驗的次數會太多，可能會導致實驗時間不足。

(三)、這個單元的實驗目的為溶質的濃度和依數性對彭巴效應的影響。所以盡可能的聚焦在這變因之上。

三、我們測量結冰的溫度，在經過討論之後，有以下幾個原則，如下圖 19 所示：

- (一)、先測試不同容器、不同水量的大約結冰時間。然後依照這個時間為每個不同實驗的第一次開啟冰箱的時間，如下圖 19-1 所示。
- (二)、在第一次開啟冰箱冷凍庫之後，馬上測量溫度並記錄。依照所測量到的溫度，然後在決定下次冰箱開啟的時間，時間以分鐘為間隔單位，如下圖 19-2 所示。
- (三)、表面是否結冰，先用溫度測量，在以肉眼觀察，最後再用鑷子確定，如下圖 19-3 所示。



圖 19 為測量結冰時間的注意事項

四、我們為了節省實驗的時間、為了取得大量的數據。所以我們將水量固定為 20ml，將溶質的量選用為 0.1 公克、0.2 公克、0.3 公克，所以導致濃度較淡。再加上我們測量的時間是以分鐘為單位，所以這會導致我們的誤差值偏大。為了避免誤差值更大，所以我們有以下幾個措施：

- (一)、開關冰箱的門縫不要太大，打開的時間不要太長。
- (二)、燒杯容器一旦在冷凍庫擺好之後，就不要再移動或晃動燒杯了。
- (三)、拍照、測時間、開關冰箱，三人動作要分工合作並且迅速。

五、由實驗數據，我們看出，添加相同重量的溶質之後，溶質干擾表面結冰時間為：食鹽 > 純水 > 蔗糖 > 氯化鈣。我們作了以下討論：

- (一)、若依化合物的依數性來看，應該是，氯化鈣 > 食鹽 > 蔗糖 > 純水。可是食鹽卻是最大。那應該和食鹽某些特性有關。若去除食鹽這個選項，我們就可以發現，溶質在水中的解離所造成的依數性，和表面結冰時間成反關係。
- (二)、依照吸放熱，食鹽溶於水是吸熱反應，氯化鈣溶於水是放熱反應，蔗糖溶於水是吸放熱很小。所以這使否也會影響彭巴效應。

六、在水溫 80°C、100°C 時，將培養皿或燒杯放入冷凍冰箱之後。因為容器周圍有大量的水蒸氣，倒置容器邊緣會很容易地產生冰晶。我們針對這個現象作了以下討論：

- (一)、水蒸氣所產生的這個冰晶，因為是結晶在容器的周圍，所以不列入我們紀錄表面結冰的時間。
- (二)、因為冰晶在容器周圍產生，所以可能因為凝結核的形成，導致表面更容易結冰。因為我們觀察到，表面的結冰會從周圍開始向中央開始結晶，如下圖 20 所示。

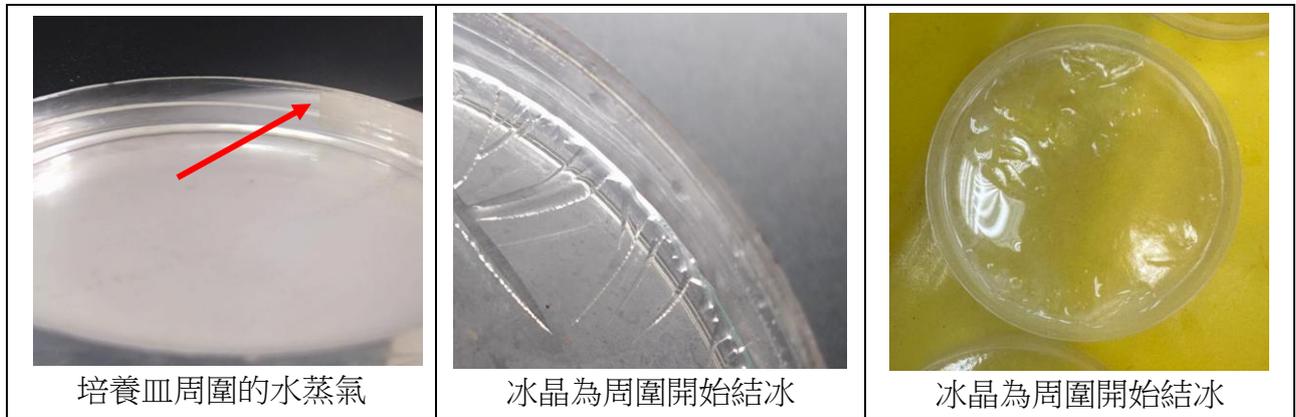


圖 20 為容器周圍的水氣和冰晶

七、原本我們還要考慮容器是否加蓋的實驗，然後對照在有無加蓋的情況之下，彭巴效應否受到影響，如下圖 21 所示。因為以下一些原因，導致我們放棄這個選項。

- (一)、加上蓋子之後，蓋子內側會有水蒸氣，然後水蒸氣會最先結冰。然後會影響我們觀察內側的水面結冰情況。
- (二)、加蓋之後，因為冰箱的冷空氣無法直接接觸水的表面，所以容器的材質也會影響水的結冰時間。
- (三)、加蓋之後，蓋子和水面之間的空氣多寡，也是隔離熱傳導的因素之一。

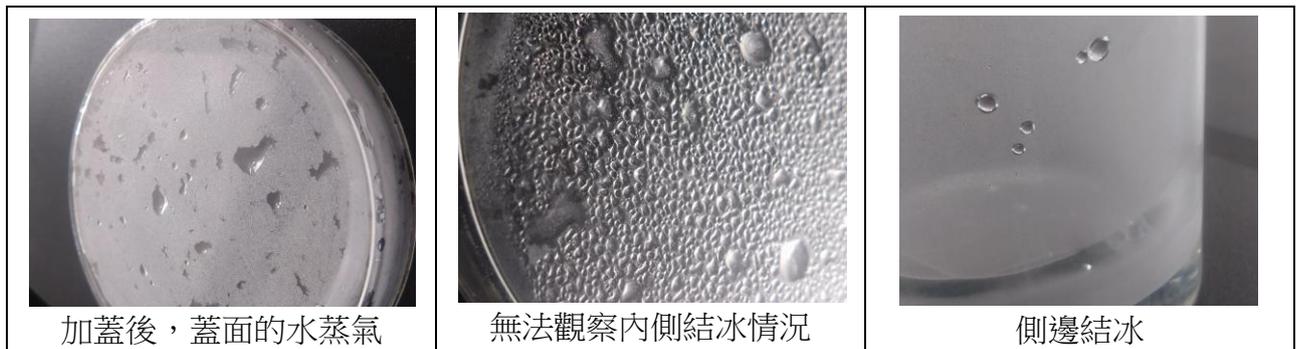


圖 21 為容器加蓋後，觀察水結冰的缺點

陸、結論

一、下圖分別是培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯、1000ml 燒杯，裝入不同的水量之後，在不同的起始溫度下，放入冷凍庫，所測得的表面結冰時間曲線圖，如下圖 22 所示。我們可以得到以下結論：



圖 22 為不同容器裝不同水量，在不同起始溫度下的表面冷凍時間折線圖

- (一)、彭巴效應確實存在，它的效果和水量之多寡、容器的種類無關。郵摺線圖的趨勢可以很明顯的看出，越高溫的水，確實越容易結冰。
- (二)、在相同的水量之下比較，我們有一個重大的發現，容器可以給的表面積越大，表面結冰的時間會越短。

二、下圖分別是培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯、1000ml 燒杯，在裝有水量 20ml 之後，再裝入不同重量的蔗糖之後，在不同的起始溫度下，放入冷凍庫，所測得的表面結冰時間曲線圖，如下圖 23 所示。我們可以得到以下結論：



圖 23 為不同容器裝不同重量的蔗糖，在不同起始溫度下的表面冷凍時間折線圖

- (一)、由圖 23 的折線圖所示，可以明顯的發現，在有蔗糖的溶質情況之下，彭巴效應依然還是存在的。
- (二)、由圖 23 的折線圖所示，我們可以稍稍發現，不同重量的蔗糖對水的彭巴效應影響不大。
 1. 20°C 到 100°C 的表面結冰，大約相差三分鐘左右。
 2. 20°C 的表面結冰，大約都在 12 分鐘左右，100°C 的表面結冰，大約都在 9 分鐘左右。

三、下圖分別是培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯、1000ml 燒杯，在裝有水量 20ml 之後，再裝入不同重量的食鹽(氯化鈉)之後，在不同的起始溫度下，放入冷凍庫，所測得的表面結冰時間曲線圖，如下圖 24 所示。我們可以得到以下結論：



圖 24 為不同容器裝不同重量的食鹽，在不同起始溫度下的表面冷凍時間折線圖

- (一)、雖然加入食鹽之後，水溶液也有彭巴效應，但效果稍稍比蔗糖和氯化鈣差了一些。
- (二)、一樣的重量濃度之下，氯化鈉的表面結冰時間反而較多一些。和純水比較的結果也是，所以在水中加入食鹽，反而會讓表面結冰的時間稍長 2~3 分鐘左右。

四、下圖分別是培養皿、100ml 燒杯、250ml 燒杯、1000ml 燒杯，在裝有水量 20ml 之後，再裝入不同重量的氯化鈣之後，在不同的起始溫度下，放入冷凍庫，所測得的表面結冰時間曲線圖，如下圖 25 所示。我們可以得到以下結論：



圖 25 為不同容器裝不同重量的氯化鈣，在不同起始溫度下的表面冷凍時間折線圖

- (一)、整體而言，0.3 公克的氯化鈣，表面結冰的時間是最短的。而且最快表面結冰的，也表現在 0.3 公克的氯化鈣水溶液。
- (二)、和食鹽、蔗糖比較之下、氯化鈣的整體表現時間是較短的。

五、在水量 20ml 之下，比較相同的溫度下，加入不同的溶質，比較表面結冰時間的折線圖，如下圖 26 所示。我們得到以下幾個結論：

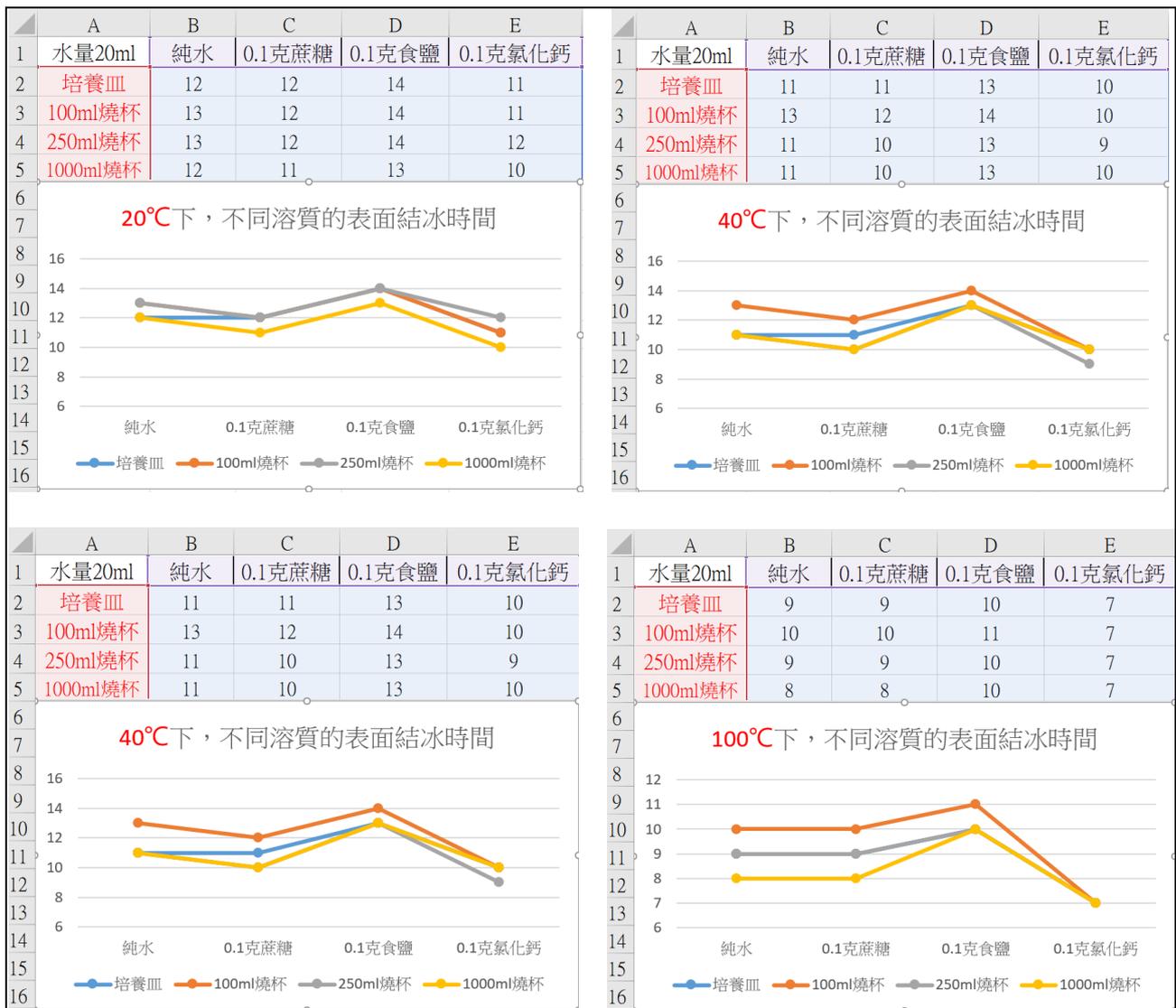


圖 26 為相同水量、溫度容器下，比較不同溶質對水的表面結冰時間折線圖

(一)、由圖可以很明顯的看出，添加相同重量的溶質之後，溶質干擾表面結冰時間為：

食鹽 > 純水 > 蔗糖 > 氯化鈣

(二)、由圖也可以明顯發現，容器裝相同的水量之後，若水的表面積越大，則表面結冰的時間越短。所以 1000ml > 250ml > 培養皿 > 100ml 燒杯容器。

六、因為食鹽的表面結冰時間比純水還長。所以在去除食鹽這個參數之後，可以發現彭巴效應的效果，會受依數性的影響，同時也會受重量濃度的影響。

柒、參考資料及其他

一、翰林出版社，自然科學第四冊，第 3 章 電解質與酸鹼鹽。

二、翰林出版社，自然科學第四冊，第 4 章 反應速率和平衡。

三、龍騰出版社，選修化學(I)，第 3 章 液態與溶液 3-3 溶液的依數性質。

四、CASE 報科學，熱水比冷水更快結冰？，2020 年 09 月 18 日。

取自：<https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=35675>

五、維基百科，彭巴效應。

取自：

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A7%86%E6%BD%98%E5%B7%B4%E7%8E%B0%E8%B1%A1>

六、維基百科，依數性。

取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BE%9D%E6%95%B0%E6%80%A7>

七、陳藹然，科學 ONLINE，依數性質（Colligative Properties）2009/07/31

取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4489>

八、影片，台視新聞，發現科學，解密彭巴效應 熱水竟比冷水更快結冰？

取自：https://www.youtube.com/watch?v=t_rHQ2bt1RY

九、影片，地球科普記，寒冷的冬天，為何熱水比冷水更容易結冰？神奇的“姆潘巴現象”！

取自：<https://www.youtube.com/watch?v=ptNLqIgyiXc>

十、影片，中時新聞網，熱水較快結冰！實證「彭巴效應」之謎。

取自：<https://www.youtube.com/watch?v=7dauHmfbXck>