

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

最佳(鄉土)教材獎

031625

冰冰有理－關於糖水結冰濃度梯度的研究

苗栗縣立苗栗國民中學

作者姓名：

國一 彭俊維 國一 陳怡安

指導老師：

廖啟宏 唐宗銘

中華民國第 四十五 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科別：理化科

組別：國中組

作品名稱：冰冰有理——關於糖水結冰濃度梯度的研究

關鍵詞：濃度梯度、比重、重量百分濃度

編號：

冰冰有理－關於糖水結冰濃度梯度的研究

壹、摘要：

本實驗是將白砂糖溶於水，裝入寶特瓶中，放入冰箱結冰，完全結冰後再利用鋸子將含有白砂糖的冰塊鋸成五層，待其融化後，測量每層的比重大小，以瞭解：1.固定結冰速度，改變糖水濃度；2. 固定糖水濃度，改變結冰速度；3.固定糖水濃度與結冰速度，改變結冰時放置方式，在這三種情形下其濃度梯度的分布情形，更進一步試著做出使白砂糖能在冰棒中分布更均勻的冰棒。

貳、研究動機

炎炎夏日即將到來，在炎熱的天氣下，能夠吃一支涼涼的冰棒，真是一大享受；但是每次當我們在吃冰棒的時候，通常都會覺得不是第一口很甜，愈吃愈不甜，最後甚至沒味道，就是覺得第一口沒什麼味道，愈吃愈甜，最後變得很甜，到底為什麼會有這種現象呢？而我們又可以用什麼方法可以製造出，從第一口吃到最後一口都味道一致、十分可口的冰棒呢？於是便引發了我們更深度研究的興趣！

參、研究目的

- (一)固定結冰速度，改變糖水濃度測量白砂糖分布的關係。
- (二)固定糖水濃度，改變結冰速度測量白砂糖分布的關係。
- (三)固定糖水濃度與結冰速度，改變結冰時放置方式測量白砂糖分布的關係。

肆、研究設備及器材

編號	器材名稱	規格	數量	備註	編號	器材名稱	規格	數量	備註
1	白細砂糖		3000gw		7	比 重 計		1 支	
2	電 子 秤	200gw	1 個	精確至 0.1g	8	電 冰 箱		1 台	
3	量 筒	500 cc	1 支		9	溫 度 計		1 支	-22℃～112℃
4	量 筒	100 cc	1 支		10	玻 璃 棒		1 支	
5	寶 特 瓶	600 cc	40 個	同一種	11	鋸 子		1 支	
6	塑 膠 杯	700 cc	15 個	附杯蓋	12	滴 管		1 支	

伍、研究過程或方法

【說明】：結冰速度應測量糖水從置入冰箱開始，至其完全結冰為止之時間，所需時間愈短者，結冰速度愈快。但實際測量其完全結冰所需時間，有其困難。但我們知道：環境溫度愈低，物體結冰速度愈快。所以我們用冰箱冷凍庫的溫度來表示糖水結冰速度，愈低溫者代表結冰速度愈快。

實驗一：製作糖水濃度與比重換算圖：

(一)配置不同濃度的溶液：

1.配置體積 600 cc，溶有 60 gw 細砂糖的溶液：

(1)取 5 個 600 cc寶特瓶洗淨，待寶特瓶乾燥後，用簽字筆編上 0gw、60gw、120gw、

180gw、240gw 的編號。

- (2)利用電子秤稱取 60 gw 的細砂糖，將砂糖倒入 500 cc量筒中，加入水使其刻度到 500 cc，攪拌均勻使砂糖完全溶解，紀錄下所使用的水體積。
 - (3)另外拿一個 100 cc量筒，內裝 100 cc水。
 - (4)將步驟(2)、(3)中的 500 cc量筒倒入 60gw 的寶特瓶中，搖晃均勻，不足部分以 100 cc量筒中的水補足，紀錄下所使用的水體積。
 - (5)利用步驟(2)、(4)中所測量出的砂糖質量與水的體積，計算出砂糖水的重量百分率濃度大小。
 - (6)利用比重計測量出此砂糖水的比重大小。
- 2.重複 1 的過程，分別配置體積 600 cc，溶有 0gw、120gw、180gw、240gw 細砂糖的溶液四瓶，並分別計算出砂糖水的重量百分率濃度大小與測量出此四瓶砂糖水的比重大小。

實驗二：固定結冰速度，改變糖水濃度，測量白砂糖分布的關係：

(一)配置不同濃度的溶液：

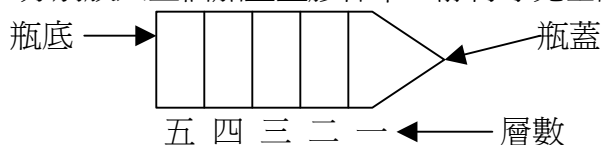
1.配置體積 600 cc，溶有 60 gw 細砂糖的溶液：

- (1)取 3 個 600 cc寶特瓶洗淨，待寶特瓶乾燥後，用簽字筆編上 60gw-1、60 gw -2、60 gw -3 的編號。
- (2)利用電子天平稱取 60 gw 的細砂糖，將砂糖倒入 500 cc量筒中，加入水使其刻度到 500 cc，攪拌均勻使砂糖完全溶解，紀錄下所使用的水體積。
- (3)另外拿一個 100 cc量筒，內裝 100 cc水。
- (4)將步驟(2)、(3)中的 500 cc量筒倒入 60gw 的寶特瓶中，搖晃均勻，不足部分以 100 cc量筒中的水補足，紀錄下所使用的水體積。
- (5)重複步驟(2)、(3)、(4)步驟，配置 60 gw -2、60 gw -3 寶特瓶中的溶液。

2.重複 1 的過程，分別配置體積 600 cc，溶有 120 gw 細砂糖的溶液三瓶；體積 600 cc，溶有 180 gw 細砂糖的溶液三瓶；體積 600 cc，溶有 240 gw 細砂糖的溶液三瓶。

(二)將冰箱的溫度調至強冷(約零下 22℃)，將(一)中所配置不同濃度的溶液共 12 瓶，放入冰箱中使其結冰。

(三)結冰完成後，將已結冰的寶特瓶取出，利用鋸子將每一個寶特瓶中的冰鋸成五等份，分別放入五個加蓋塑膠杯中，靜待冰完全融化成糖水。



(四)利用比重計測量每一個塑膠杯所收集到的糖水比重，並紀錄下來。

實驗三：固定糖水濃度，改變結冰速度，測量白砂糖分布的關係：

(一)配置相同濃度的溶液：

1.配置體積 600 cc，溶有 60 gw 細砂糖的溶液：

- (1)取 3 個 600 cc寶特瓶洗淨，待寶特瓶乾燥後，用簽字筆編上-12℃-1、-12℃-2、-12℃-3 的編號。

- (2)利用電子天平稱取 60 gw 的細砂糖，將砂糖倒入 500 cc量筒中，加入水使其刻度到 500 cc，攪拌均勻使砂糖完全溶解，紀錄下所使用的水體積。
- (3)另外拿一個 100 cc量筒，內裝 100 cc水。
- (4)將步驟(2)、(3)中的 500 cc量筒倒入-12°C-1 的寶特瓶中，搖晃均勻，不足部分以 100 cc量筒中的水補足，紀錄下所使用的水體積。
- (5)重複步驟(2)、(3)、(4)步驟，配置-12°C-2、-12°C-3 寶特瓶中的溶液。
- 2.重複 1 的過程，分別配置體積 600 cc，溶有 60 gw 細砂糖的溶液六瓶，分別用簽字筆編上、-2°C-1、-2°C-2、-2°C-3 的編號。
- (二)將(一)中所配置的溶液共 6 瓶，放入結冰溫度分別為-12°C、-2°C的冰箱中使其結冰。
- (三)結冰完成後，將已以結冰的寶特瓶取出，利用鋸子將每一個寶特瓶中的冰鋸成五等份，分別放入五個加蓋塑膠杯中，靜待冰完全融化成糖水。
- (四)利用比重計測量每一個塑膠杯所收集到的糖水比重，並紀錄下來。

實驗四：固定糖水濃度與結冰速度，改變結冰時放置方式，測量白砂糖分布的關係：

(一)配置相同濃度的溶液：

1.配置體積 600 cc，溶有 60 gw 細砂糖的溶液：

- (1)取 3 個 600 cc寶特瓶洗淨，待寶特瓶乾燥後，用簽字筆編上水平-1、水平-2、水平-3 的編號。
- (2)利用電子天平稱取 60 gw 的細砂糖，將砂糖倒入 500 cc量筒中，加入水使其刻度到 500 cc，攪拌均勻使砂糖完全溶解紀錄下所使用的水體積。
- (3)另外拿一個 100 cc量筒，內裝 100 cc水。
- (4)將步驟(2)、(3)中的 500 cc量筒倒入水平-1 的寶特瓶中，搖晃均勻，不足部分以 100 cc量筒中的水補足，紀錄下所使用的水體積。
- (5)重複步驟(2)、(3)、(4)步驟，配置水平-2、水平-3 寶特瓶中的溶液。

2.重複 1 的過程，分別配置體積 600 cc，溶有 60 gw 細砂糖的溶液六瓶，分別用簽字筆編上垂直-1、垂直-2、垂直-3、水平不動-1、水平不動-2、水平不動-3 的編號。

(二)將冰箱的溫度調至中冷(約零下 12°C)，將(一)中所配置相同濃度的溶液共 9 瓶，6 瓶水平放置、3 瓶垂直放置放入冰箱中使其結冰。

(三)在結冰的過程中，利用每節下課的時間，依水平方向將水平-1、水平-2、水平-3 旋轉 180 度；依垂直方向將垂直-1、垂直-2、垂直-3 旋轉 180 度至完全結冰為止。

(四)結冰完成後，將已結冰的寶特瓶取出，利用鋸子將每一個寶特瓶中的冰鋸成五等份，分別放入五個加蓋塑膠杯中，靜待冰完全融化成糖水。

(五)利用比重計測量每一個塑膠杯所收集到的糖水比重，並紀錄下來。

陸、研究結果

(一)實驗一：製作糖水濃度與比重換算圖

比 物 重 量 質 量					
	0 gw	60 gw	120 gw	180 gw	240 gw
平 均 密 度	1.0003gw/cm ³	1.0417 gw/cm ³	1.0803 gw/cm ³	1.118 gw/cm ³	1.139 gw/cm ³
重量百分濃度	0%	9.86%	19.11%	27.61%	37.04%

實驗一結果：根據上面的實驗結果顯示，我們可以發現：

- 1.糖水中所含有的白砂糖量愈多，則糖水的比重愈大。
- 2.糖水的比重愈大，則糖水的濃度也愈大。

(二)實驗二：固定結冰速度，改變糖水濃度測量白砂糖分布的關係：

比 物 重 量 質 量	質 量 重 量 質 量	層	60 gw	120 gw	180 gw	240 gw
一	平均比重	瓶蓋	1.0203 gw/cm ³	1.0463 gw/cm ³	1.0617 gw/cm ³	1.1013 gw/cm ³
	平均濃度	瓶蓋	5.07%	11.57%	15.42%	25.31%
二	平均比重	一一	1.0210 gw/cm ³	1.0500 gw/cm ³	1.0770 gw/cm ³	1.1090 gw/cm ³
	平均濃度	一一	5.25%	12.49%	19.24%	27.23%
三	平均比重	三	1.0313 gw/cm ³	1.0603 gw/cm ³	1.0823 gw/cm ³	1.1313 gw/cm ³
	平均濃度	三	7.84%	15.07%	20.56%	32.81%
四	平均比重	四	1.0403 gw/cm ³	1.0787 gw/cm ³	1.0957 gw/cm ³	1.1500 gw/cm ³
	平均濃度	四	10.19%	19.66%	23.91%	37.48%
五	平均比重	瓶底	1.0627 gw/cm ³	1.0960 gw/cm ³	1.1160 gw/cm ³	1.1643 gw/cm ³
	平均濃度	瓶底	16.71%	23.99%	28.98%	41.05%
比重差			0.0424 gw/cm ³	0.0497 gw/cm ³	0.0543 gw/cm ³	0.0630 gw/cm ³
濃度差			11.64%	12.42%	13.56%	15.74%
濃度梯度%/cm			0.554%/cm	0.591%/cm	0.646%/cm	0.750%/cm

實驗二結果：根據上面的實驗結果顯示，我們可以發現：

- 1.無論糖水的濃度大小為多少，當它結冰之後，皆會有濃度梯度的產生。
- 2.糖水的濃度愈大，所產生的濃度梯度差距愈大，也就是愈明顯。

(三)實驗三：固定糖水濃度，改變結冰速度測量白砂糖分布的關係：

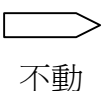
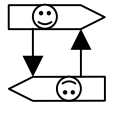
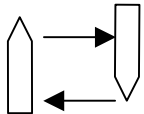
比 重 層		溫 度	-2℃	-12℃	-22℃
一 瓶蓋	比重平均		1.0240 gw/cm ³	1.0273 gw/cm ³	1.0203 gw/cm ³
	濃度平均		6.00%	6.82%	5.07%
二	比重平均		1.0297 gw/cm ³	1.0303 gw/cm ³	1.0210 gw/cm ³
	濃度平均		7.42%	7.57%	5.25%
三	比重平均		1.0357 gw/cm ³	1.0390 gw/cm ³	1.0313 gw/cm ³
	濃度平均		8.92%	9.74%	7.82%
四	比重平均		1.0403 gw/cm ³	1.0413 gw/cm ³	1.0403 gw/cm ³

	濃度平均	10.07%	10.32%	10.07%
五	比重平均	1.0470 gw/cm ³	1.0553 gw/cm ³	1.0627 gw/cm ³
瓶底	濃度平均	11.74%	13.82%	15.67%
	比重差	0.0230 gw/cm ³	0.0280 gw/cm ³	0.0424 gw/cm ³
	濃度差	5.74%	7.00%	10.60%
	濃度梯度%/cm	0.273%/cm	0.259%/cm	0.505%/cm

實驗三結果：根據上面的實驗結果顯示，我們可以發現：

- 1.無論結冰的溫度大小為多少，當它結冰之後，皆會有濃度梯度的產生。
- 2.結冰得溫度愈低，所產生的濃度梯度愈大，也就是愈明顯。

(四)實驗四：固定糖水濃度與結冰速度，改變結冰時放置方式測量白砂糖分布的關係：

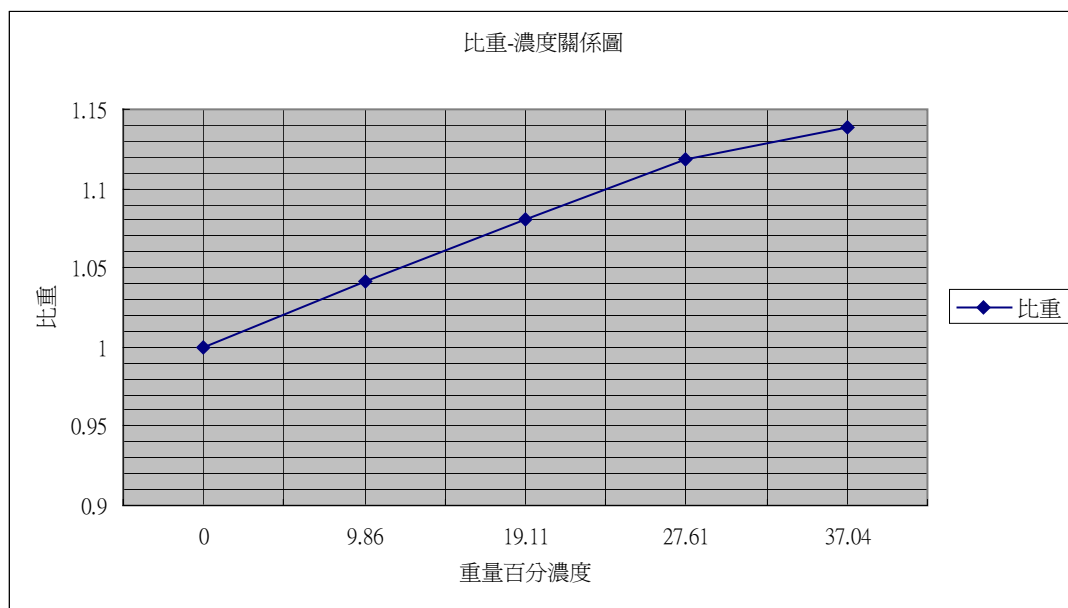
密度方式		水平放置  不動	垂直放置  不動	水平旋轉  不動	垂直旋轉  不動
一	比重平均	1.0377 gw/cm ³	1.0273 gw/cm ³	1.0433 gw/cm ³	1.0433 gw/cm ³
	濃度平均	9.42%	6.87%	10.82%	10.82%
二	比重平均	1.0403 gw/cm ³	1.0303 gw/cm ³	1.0430 gw/cm ³	1.0367 gw/cm ³
	濃度平均	10.07%	7.57%	10.74%	9.17%
三	比重平均	1.0407 gw/cm ³	1.0390 gw/cm ³	1.0423 gw/cm ³	1.0350 gw/cm ³
	濃度平均	10.17%	9.74%	10.57%	8.75%
四	比重平均	1.0420 gw/cm ³	1.0413 gw/cm ³	1.0397 gw/cm ³	1.0350 gw/cm ³
	濃度平均	10.49%	10.32%	9.92%	8.75%
五	比重平均	1.0400 gw/cm ³	1.0553 gw/cm ³	1.0410 gw/cm ³	1.0303 gw/cm ³
	濃度平均	9.99%	13.82%	10.24%	7.57%
瓶底	比重差	0.0043 gw/cm ³	0.0280 gw/cm ³	0.0036 gw/cm ³	0.0130 gw/cm ³
	濃度差	1.07%	6.95%	0.90%	3.25%
	濃度梯度%/cm	0.05%/cm	0.331%/cm	0.04%/cm	0.155%/cm

實驗四結果：根據上面的實驗結果顯示，我們可以發現：

- 1.垂直不動放置比水平不動放置所造成的濃度梯度現象明顯許多。
- 2.垂直旋轉比水平旋轉所造成的濃度梯度現象明顯許多。
- 3.水平不動放置與水平旋轉所造成的濃度梯度現象差不多，也不明顯。
- 4.垂直不動放置比垂直旋轉所造成的濃度梯度現象明顯許多。

柒、討論

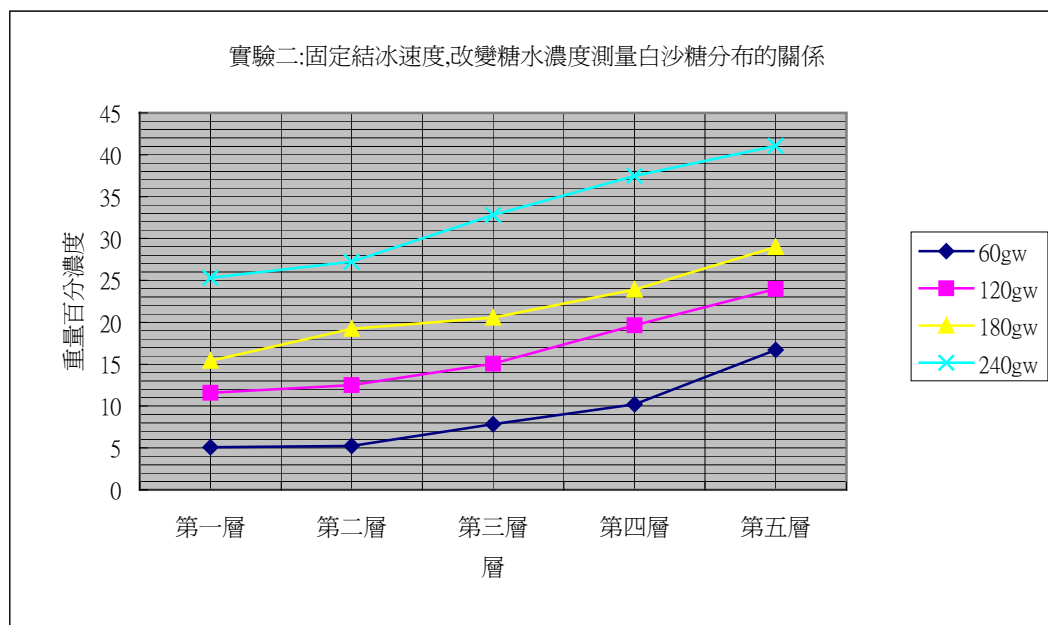
(一)實驗一：製作糖水濃度與比重換算圖：



實驗一討論：根據上面實驗的結果顯示，我們可以推論：

1. 比重與濃度之間存有顯著一種線性關係。
2. 我們可以利用內插法和外插法找出已知密度，但未知濃度的糖水濃度。

(二)實驗二：固定結冰速度，改變糖水濃度測量白砂糖分布的關係：

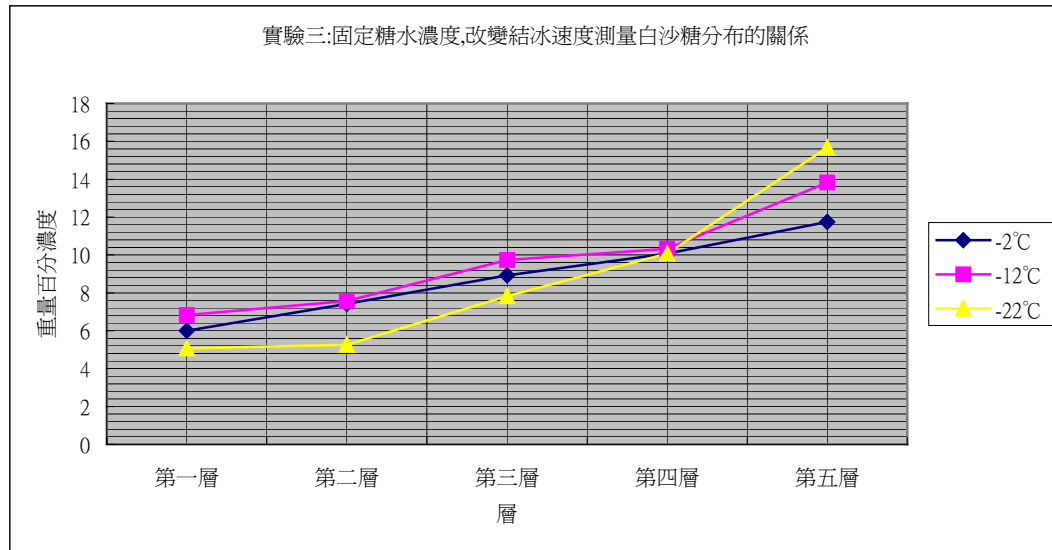


實驗二討論：根據上面實驗的結果顯示，我們可以推論：

1. 一般而言，水溶液由上層開始結冰，當電冰箱的溫度開始下降時，上層糖水對白砂糖的溶解度會減小，漸漸達到飽和，所以有一部分的白砂糖會被析出，受到地球引力的影響而沉澱到下層，所以下層糖水的濃度會比上層大。
2. 當糖水的濃度愈大時，上層的糖水因飽和析出而下沉的糖愈多，所以下層糖水的濃度也就會變得愈大，造成上下層糖水濃度差異更大。
3. 在本次實驗中，應該是電冰箱結冰的速度夠快，所以造成有些上層的白砂糖尚未析出或已析出但未到達下層之前，便已結成冰，所以造成濃度雖然增大許多，但並沒有使

下層形成飽和溶液。

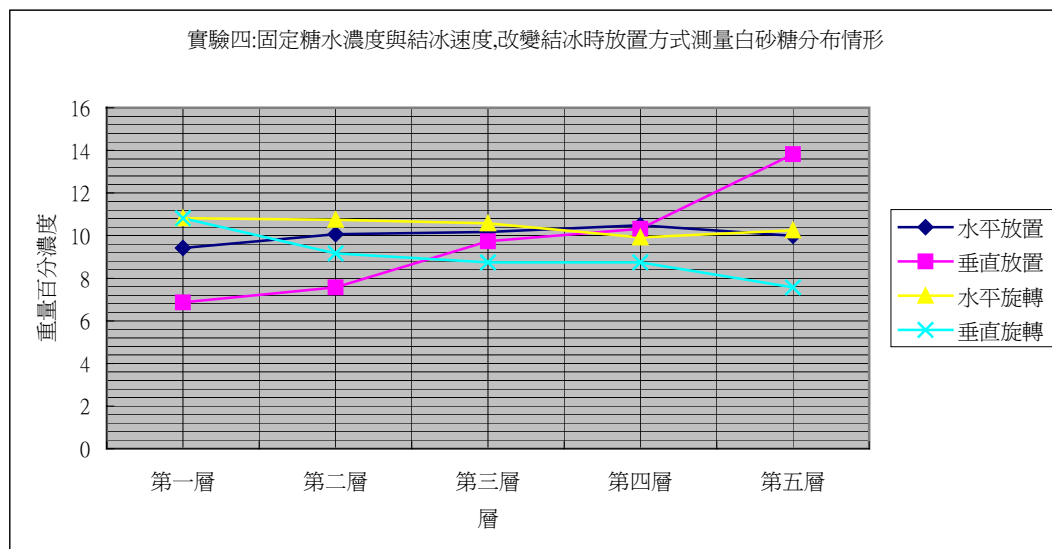
(三)實驗三：固定糖水濃度，改變結冰速度測量白砂糖分布的關係：



實驗三討論：根據上面實驗的結果顯示，我們可以推論：

- 1.當結冰的溫度愈低時，上層的糖水愈快達到飽和，白砂糖愈快被析出，受到地球引力的影響而沉澱到下層，所以下層糖水的濃度也就會變得愈大，造成上下層糖水濃度差異更大。
- 2.工業上有一種分離技術，稱之為「冷凍分離法」，便是利用溫度下降時，溶質的溶解度降低析出，而達到分離溶劑與溶質的目的，其效果十分良好，而且冷凍結冰時的溫度愈低，其分離的效果愈佳。

(四)實驗四：固定溶液濃度與結冰速度，改變結冰時放置方式測量白砂糖分布的關係：

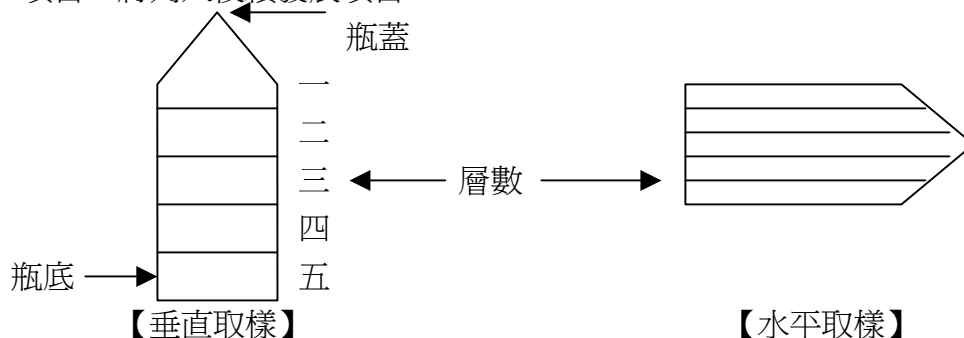


實驗四討論：根據上面實驗的結果顯示，我們可以推論：

- 1.因為我們在鋸開冰塊取樣時，是以垂直方向分層，所以造成垂直放置比水平放置所造成的濃度梯度現象明顯許多。
- 2.垂直旋轉時因為上層每一節課都在改變，所以析出的白砂糖有時在上層，有時在下層，

類似有攪拌的功能，所以產生濃度梯度的現象會比垂直放置小許多。事實上，第五層的糖水濃度比第一層還小，應該是因為第一次翻轉後，糖水就結冰了，所以往後無論再如何翻轉，濃度皆不再改變。

3. 水平旋轉時因為析出的白砂糖，只是在很窄的範圍內來回，所以所造成的濃度梯度現象和水平放置差不多；可是如果我們把取樣的方式改成水平方向，則水平放置所造成的濃度梯度現象一定會比水平旋轉明顯許多。此次實驗因切割技術問題無法克服，尚未進行此一項目，將列入後續發展項目。



捌、結論

- (一)在南一版自然與生活科技課本第二章第一節「水與生命的關係」中，曾經提到「、、寒帶地區的湖泊，冬天結冰時，只有水的上層結冰、、」，此一現象便是在實驗二中所提及的，一般水溶液皆由上層開始結冰，所析出的溶質會造成下層所需的結冰溫度更低，所以下層水溶液更難結冰，此一現象正好可以提供寒帶地區的水中生物，有一個可以繼續生存的環境，而不至於被凍死；正因為上層所含有的溶質較少，所以雖然在北極的冰山是由海水凝固而成，但由於冰山位於海水上層，其中所含有的鹽分較低，因此探險家可以直接取用這些冰塊煮成水來食用，而不至於太鹹。
- (二)根據實驗三、實驗四的結果，我們可以知道：在冰塊的結冰過程中，濃度梯度會受到結冰速度與放置方式的影響，冰棒的製作過程為了講求快速、方便，會將原料倒入模型中，以垂直的方式放入製冰機中，讓其在低溫下快速冷凍，因此會造成冰棒中溶質分布不均的現象，所以吃起來也會有一頭甜、一頭不甜的現象；因此我們自己在製作冰棒時，我們可以將結冰速度調慢(即冷凍溫度不要太低)，並且在結冰過程中「水平放置」且「不停旋轉」，可以使其中的溶質分布更為均勻，也就可以享受到一支從第一口到最後一口味道皆一致的可口冰棒！
- (三)在實驗三中所提及的「冷凍分離法」是一種利用溫度下降時，溶質因為溶解度降低而析出，以達到分離溶劑與溶質的目的，其效果十分良好，而且不需要加入其他化學物質，造成環境的污染。例如：「廢水冷凍再生系統」便是利用低溫快速冷凍，將廢水冷凍成較純淨的冰與含水率低的污泥餅，分離後可將較純淨的冰回收，以提供空調系統降溫使用；在部分寒冷的國家或地區，便在冬天利用大自然的力量(此時氣溫降到攝氏零度以下)，來進行廢水的冷凍分離，一方面可將廢水回收利用，減少污染，另一方面，也可以減少因需要處理廢水所消耗的能源(節省約 83% 能源)，真是一舉數得。
- (四)在南一版自然與生活科技課本第二章第二節「水的分布」中，曾經提到「、、未來如何取用海水，或許也是解決水源不足的辦法之一」，而「冷凍分離法」的技術也運用在海水淡化上，以前我們會利用煮沸法來分離海水中的鹽類和純水，需要使用較多的能源，

但是此一技術是利用低溫將海水快速冷凍，便可將海水中所溶解的物質與較純淨的水分離開來，上方的冰塊中含有大量純淨的水，可將其解凍之後，供給食用或灌溉用(當然在使用之前要先經過檢驗，以瞭解是否適合食用或灌溉用)，若在較為炎熱的地區進行此一技術，需要花費較多的能源，但如果在較為寒冷的地區進行，因為氣溫可以自然降到攝氏零度以下，所以便可以多加利用，以增加可以使用的水資源。

(五)在本次實驗中，為了避免實驗過程與數據的誤差，所以我們採取了以下幾種方法來避免誤差的產生，以求取實驗結果更為準確：

- 1.利用電子天平來量取白砂糖的質量，以避免傳統上皿天平因砝碼生鏽或左右擺動，造成實驗誤差。
 - 2.使用逆滲透水來調配溶液，以減少自來水中的添加物或井水中的雜質造成實驗結果不夠準確。
 - 3.利用大型量筒來量測水的體積，此種量取方式比使用燒杯準確多了。
 - 4.寶特瓶結冰前先用簽字筆畫上五等份，以方便結冰後，容易鋸下我們所需要的分層樣本。
 - 5.鋸下的樣本放置在附蓋塑膠杯中帶其融化，以避免部分水蒸氣散失到空氣中，影響實驗結果。
 - 6.每次密度測量至少三次，並求取平均值，以減少人為的誤差。
- 以上的每種做法都希望將誤差降至最小，以做出最準確的實驗結果。

玖、參考資料及其他

- (一)郭重吉(民93)。孕育生命的搖籃。載於郭重吉主編，**自然與生活科技第1冊**(28及37頁)。台南市：南一書局。
- (二)郭重吉(民92)。認識物質的世界。載於郭重吉主編，**自然與生活科技第3冊**(17及23頁)。台南市：南一書局。
- (三)郭重興(民78)。載於郭重興主編，**牛頓化學辭典**(130頁)。台北市：牛頓出版股份有限公司。
- (四)謝文德(民78年12月)。**淺談廢水冷凍再生利用技術**。民94年4月20日，取自：
http://she.moeaidb.gov.tw/issue/issue13/tec13_4.htm
- (五)江佑中、陳坤翰、陳慧臻、謝凌霏(無日期)。**使用前搖一搖一討論濃度梯度的問題**。民94年3月10日，取自：<http://pckchem.ncue.edu.tw/sci-fair/36-2.htm>
- (六)小蕃薯問號小博士：**海水為什麼不能喝？**(無日期)。民94年4月20日，取自：
<http://kids.yam.com/why/article/article678.html>

拾、附錄：實驗數據：

(一)實驗一：製作糖水濃度與比重換算圖：

比 重 物	管 量	0 gw	60 gw	120 gw	180 gw	240 gw
白 砂 糖		0 gw	60 gw	120 gw	180 gw	240 gw
水		600 gw	549 gw	508 gw	472 gw	408 gw
總 質 量		600 gw	609 gw	628 gw	652 gw	648 gw
重量百分濃度		0%	9.86%	19.11%	27.61%	37.04%
第 一 次		1.000 gw/cm ³	1.042 gw/cm ³	1.082 gw/cm ³	1.117 gw/cm ³	1.138 gw/cm ³
第 二 次		1.000 gw/cm ³	1.042 gw/cm ³	1.080 gw/cm ³	1.118 gw/cm ³	1.140 gw/cm ³
第 三 次		1.001 gw/cm ³	1.041 gw/cm ³	1.079 gw/cm ³	1.119 gw/cm ³	1.139 gw/cm ³
平 均 比 重		1.0003gw/cm ³	1.0417 gw/cm ³	1.0803 gw/cm ³	1.118 gw/cm ³	1.139 gw/cm ³

(二)實驗二：固定結冰速度，改變糖水濃度，測量白砂糖分布的關係：

比 重 層	管 量	60 gw	120 gw	180 gw	240 gw
一	1	1.020 gw/cm ³	1.048 gw/cm ³	1.062 gw/cm ³	1.100 gw/cm ³
	2	1.021 gw/cm ³	1.046 gw/cm ³	1.062 gw/cm ³	1.101 gw/cm ³
	3	1.020 gw/cm ³	1.045 gw/cm ³	1.0610 gw/cm ³	1.103 gw/cm ³
	平均	1.0203 gw/cm ³	1.0463 gw/cm ³	1.0617 gw/cm ³	1.1013 gw/cm ³
二	1	1.020 gw/cm ³	1.052 gw/cm ³	1.075 gw/cm ³	1.110 gw/cm ³
	2	1.022 gw/cm ³	1.050 gw/cm ³	1.078 gw/cm ³	1.110 gw/cm ³
	3	1.021 gw/cm ³	1.048 gw/cm ³	1.078 gw/cm ³	1.107 gw/cm ³
	平均	1.0210 gw/cm ³	1.0500 gw/cm ³	1.0770 gw/cm ³	1.1090 gw/cm ³
三	1	1.030 gw/cm ³	1.063 gw/cm ³	1.084 gw/cm ³	1.131 gw/cm ³
	2	1.032 gw/cm ³	1.058 gw/cm ³	1.082 gw/cm ³	1.131 gw/cm ³
	3	1.032 gw/cm ³	1.060 gw/cm ³	1.081 gw/cm ³	1.132 gw/cm ³
	平均	1.0313 gw/cm ³	1.0603 gw/cm ³	1.0823 gw/cm ³	1.1313 gw/cm ³
四	1	1.042 gw/cm ³	1.080 gw/cm ³	1.098 gw/cm ³	1.151 gw/cm ³
	2	1.040 gw/cm ³	1.077 gw/cm ³	1.096 gw/cm ³	1.152 gw/cm ³
	3	1.039 gw/cm ³	1.079 gw/cm ³	1.093 gw/cm ³	1.147 gw/cm ³
	平均	1.0403 gw/cm ³	1.0787 gw/cm ³	1.0957 gw/cm ³	1.1500 gw/cm ³
五	1	1.063 gw/cm ³	1.091 gw/cm ³	1.115 gw/cm ³	1.163 gw/cm ³
	2	1.064 gw/cm ³	1.097 gw/cm ³	1.113 gw/cm ³	1.161 gw/cm ³
	3	1.061 gw/cm ³	1.100 gw/cm ³	1.110 gw/cm ³	1.169 gw/cm ³
	平均	1.0627 gw/cm ³	1.0960 gw/cm ³	1.1160 gw/cm ³	1.1643 gw/cm ³

(三)實驗三：固定糖水濃度，改變結冰速度，測量白砂糖分布的關係：（我們調整冰箱的溫度，理論上，溫度愈低，結冰速度愈快）

比 重 層		溫度	-2℃	-12℃	-22℃
一	1		1.021 gw/cm ³	1.026 gw/cm ³	1.020 gw/cm ³
	2		1.023 gw/cm ³	1.027 gw/cm ³	1.021 gw/cm ³
	3		1.026 gw/cm ³	1.029 gw/cm ³	1.020 gw/cm ³
	平均		1.0240 gw/cm ³	1.0273 gw/cm ³	1.0203 gw/cm ³
二	1		1.030 gw/cm ³	1.030 gw/cm ³	1.020 gw/cm ³
	2		1.032 gw/cm ³	1.031 gw/cm ³	1.022 gw/cm ³
	3		1.027 gw/cm ³	1.030 gw/cm ³	1.021 gw/cm ³
	平均		1.0297 gw/cm ³	1.0303 gw/cm ³	1.0210 gw/cm ³
三	1		1.035 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³	1.030 gw/cm ³
	2		1.037 gw/cm ³	1.039 gw/cm ³	1.032 gw/cm ³
	3		1.035 gw/cm ³	1.038 gw/cm ³	1.032 gw/cm ³
	平均		1.0357 gw/cm ³	1.0390 gw/cm ³	1.0313 gw/cm ³
四	1		1.042 gw/cm ³	1.043 gw/cm ³	1.042 gw/cm ³
	2		1.039 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³
	3		1.040 gw/cm ³	1.041 gw/cm ³	1.039 gw/cm ³
	平均		1.0403 gw/cm ³	1.0413 gw/cm ³	1.0403 gw/cm ³
五	1		1.050 gw/cm ³	1.054 gw/cm ³	1.063 gw/cm ³
	2		1.045 gw/cm ³	1.058 gw/cm ³	1.064 gw/cm ³
	3		1.046 gw/cm ³	1.054 gw/cm ³	1.061 gw/cm ³
	平均		1.0470 gw/cm ³	1.0553 gw/cm ³	1.0627 gw/cm ³

(四)實驗四：固定糖水濃度與結冰速度，改變結冰時放置方式，測量白砂糖分布的關係：

比 重 層		方式	水平放置	垂直放置	水平旋轉	垂直旋轉
一	1		1.037 gw/cm ³	1.026 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³	1.046 gw/cm ³
	2		1.041 gw/cm ³	1.027 gw/cm ³	1.047 gw/cm ³	1.037 gw/cm ³
	3		1.035 gw/cm ³	1.029 gw/cm ³	1.043 gw/cm ³	1.047 gw/cm ³
	平均		1.0377 gw/cm ³	1.0273 gw/cm ³	1.0433 gw/cm ³	1.0433 gw/cm ³
二	1		1.040 gw/cm ³	1.030 gw/cm ³	1.039 gw/cm ³	1.037 gw/cm ³
	2		1.042 gw/cm ³	1.031 gw/cm ³	1.048 gw/cm ³	1.036 gw/cm ³
	3		1.039 gw/cm ³	1.030 gw/cm ³	1.042 gw/cm ³	1.037 gw/cm ³
	平均		1.0403 gw/cm ³	1.0303 gw/cm ³	1.0430 gw/cm ³	1.0367 gw/cm ³
三	1		1.045 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³	1.042 gw/cm ³	1.032 gw/cm ³
	2		1.037 gw/cm ³	1.039 gw/cm ³	1.043 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³
	3		1.040 gw/cm ³	1.038 gw/cm ³	1.042 gw/cm ³	1.033 gw/cm ³
	平均		1.0407 gw/cm ³	1.0390 gw/cm ³	1.0423 gw/cm ³	1.0350 gw/cm ³
四	1		1.042 gw/cm ³	1.043 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³	1.032 gw/cm ³
	2		1.044 gw/cm ³	1.040 gw/cm ³	1.039 gw/cm ³	1.041 gw/cm ³
	3		1.040 gw/cm ³	1.041 gw/cm ³	1.039 gw/cm ³	1.032 gw/cm ³
	平均		1.0420 gw/cm ³	1.0413 gw/cm ³	1.0397 gw/cm ³	1.0350 gw/cm ³
五	1		1.038 gw/cm ³	1.054 gw/cm ³	1.043 gw/cm ³	1.026 gw/cm ³
	2		1.043 gw/cm ³	1.058 gw/cm ³	1.041 gw/cm ³	1.035 gw/cm ³
	3		1.039 gw/cm ³	1.054 gw/cm ³	1.039 gw/cm ³	1.030 gw/cm ³
	平均		1.0400 gw/cm ³	1.0553 gw/cm ³	1.0410 gw/cm ³	1.0303 gw/cm ³

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國中組 理化科

最佳(鄉土)教材獎

031625

冰冰有理－關於糖水結冰濃度梯度的研究

苗栗縣立苗栗國民中學

評語：

1. 取材鄉土，研究結果可參。
2. 創意性較不足。
3. 不同強度，對梯度的改變，值得再探討。