

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第三名

032917

低脂冰淇淋與物理的火花

學校名稱：新北市立海山高級中學(附設國中)

作者： 國二 楊祐宇 國二 涂宇軒 國二 伍恩霈	指導老師： 胡心如 張惟捷
---	-----------------------------

關鍵詞：冰淇淋、物理測量、冰淇淋函數

摘要

本研究探討不同因素對冰淇淋的影響，從成分、減少油脂含量、打發鮮奶油著手，並研發簡易測量方法——利用位能、摩擦力等科學概念測量硬度，讓數字客觀地說話，研究製作出步驟簡單、少添加物且低脂的冰淇淋。研究過程中我們對於冰淇淋相關知識，如成分、製作技巧等，以及能量、摩擦力的概念有了更深刻的印象。

利用本實驗結果推算出「冰淇淋函數」，在同油脂量冰淇淋不同溫度下得到對應的硬度(摩擦力)，及最後找出同溫下不同油脂量的冰淇淋所對應的硬度(摩擦力)，可客製化適合不同客群的冰淇淋，並且利用打發鮮奶油時間降低冰淇淋的油脂含量，研發出低脂冰淇淋。

壹、研究動機

冰淇淋是炎炎夏日不可或缺的食物，每到夏天總是忍不住嚐幾口冰淇淋。不過，時下食安問題層出不窮，無法掌握原料真實性；新聞也曾報導：吃一支冰淇淋等於喝下兩匙油。如何在享受冰淇淋的同時兼顧健康？同時我們也學到了功、能量轉換及摩擦力等相關知識(國中理化第四冊第六章力與壓力、第五冊第三章功與機械應用)。於是，我們想**研發出少添加物又低脂的冰淇淋，並運用能量轉換及摩擦力的概念找出測量冰淇淋性質的方法。**

貳、研究目的

為了**蒐集資料並分析及改良出利於每個人能做出自己想要的冰之客製化的冰淇淋食譜**，我們將朝以下目的前進。

- 一、蒐集資料並分析**比較冰淇淋成分**，比較後擇出最少加工及食品添加劑的作為使用材料。
- 二、研發**測量冰淇淋**性質的方法，並將其**科學量化**及繪製成圖表後加以比較。
- 三、測量市售冰品及尋求相關文獻，與我們自製的冰淇淋比較。
- 四、調整變因，測量分析後找出冰淇淋**最佳化**方式。
 - (一) 探討**不打發鮮奶油**對冰淇淋軟硬度的影響。
 - (二) 探討使用 **30g、20g、15g** 鮮奶油與不同**打發秒數**對冰淇淋的影響。

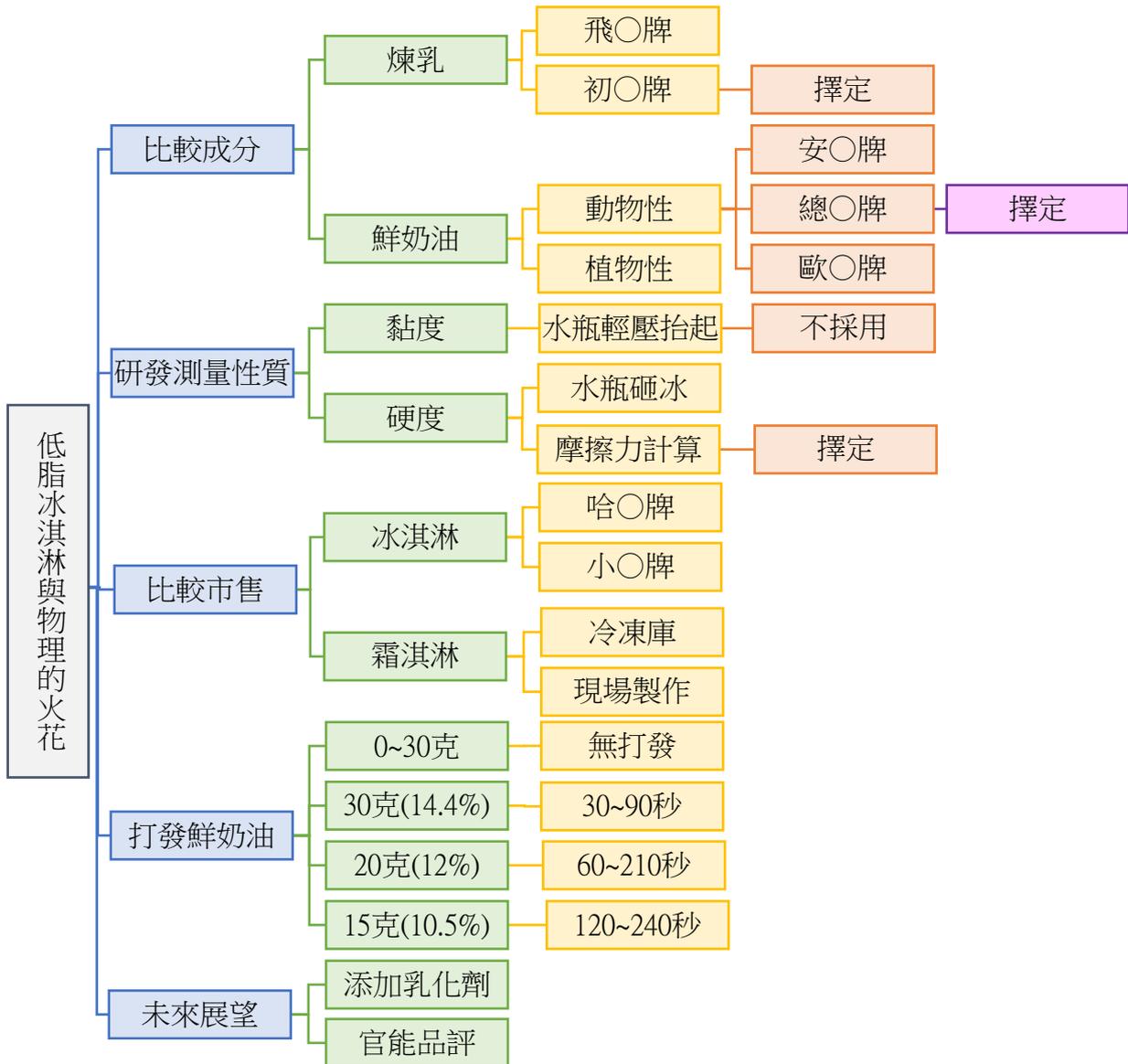


圖 1 科展製作流程 Map

參、研究設備及器材



圖 2 牛奶



圖 3 煉乳



圖 4 鮮奶油



圖 5 電動攪拌器



圖 6 紅外線溫度計



圖 7 量尺



圖 8 手機



圖 9 尺



圖 10 裝水寶特瓶



圖 11 筷子



圖 12 紙碗



圖 13 電子秤



圖 14 冰箱



圖 15 各市售冰品



圖 16 遊標尺

肆、研究過程或方法

一、重要歷程與改良

(一) 冰淇淋食譜

我們從網路上找了一些食譜，**考量其材料最少、最不複雜**，選擇下列此種：

1. 配方

牛奶 100g、鮮奶油 60g、煉乳 30g

2. 步驟

將材料放入密封袋混合，再按三比一比例混合冰塊及鹽巴，並包裹住裝有材料的密封袋，待冰淇淋結凍後即可食用。

3. 改良

為了節省材料，實驗材料用量依原食譜比例**減半**。而此利用鹽巴及冰塊混合的冷凍方法，冰淇淋不易結凍、測量，所以改將冰淇淋**冰入冷凍庫四小時**。

(二) 比較冰淇淋使用之材料的成分

不同品牌的煉乳、鮮奶油有不同的成分，對健康也有不同影響。為了找出最佳原料，做出健康冰淇淋，我們從市面上挑選幾種煉乳及鮮奶油品牌比對成分。

1. 不同成分介紹

將所有煉乳及鮮奶油的成分列表並整理出成分中的非食品添加劑與食品添加劑，然後查詢資料，列出其特性及用途。

(1) 非食品添加劑（表格由作者自行整理）

表格 1 各種非食品添加劑之特性與用途

成分	特性	用途
砂糖	雙醣，經分解產生果糖及葡萄糖	各類食品
乳粉	生乳經脫脂、乾燥後製成的粉末	沖泡飲用
麥芽糖	增稠、保香、保濕	果凍、罐頭、飲料、醬製品
椰子油	硬度較高，口感較一般鮮奶油差	便宜的冰淇淋
鮮乳	經殺菌過的牛乳	飲用
鮮奶油	剛擠出的生乳靜置後會有濃稠的脂肪聚集於表面，這便是鮮奶油，可分成很多種，特性皆不同	蛋糕裝飾、製造冰淇淋
乳脂	是奶乳中的脂肪部分	改善烘焙食品的外觀和結構
大豆卵磷脂	維持油脂與水均勻混合	乳化劑
葡萄糖漿	保質期長，使產品口味不易改變	水果罐頭、果汁飲料、麵包、
單水葡萄糖	屬於有機化合物，有甜味但不如蔗糖，易溶於水，微溶於酒精	食品填充劑、口感補充原料
完全氫化棕櫚仁油	飽和脂肪酸高，熔點與熱穩定性高，其氧化穩定性與質感接近部分氫化油。氫化是使氫分子與不飽和脂肪分子中的碳雙鍵加成反應變成飽和脂肪，形成氫化脂肪	油炸食物

(2) 食品添加劑（表格由作者自行整理）

表格 2 各種食品添加劑之特性與用途

成分	特性	用途
鹿角菜膠	遇高溫、酸性可能發生降解產生極小分子量而易被吸收，但人體無法分解，恐引發腸胃疾病	增量劑、載體、乳化劑、凝膠劑、包覆劑、保濕劑、安定劑、黏稠劑
乙醯化己二酸二澱粉	修飾澱粉，高耐熱	乳化劑、安定劑、黏稠劑
聚山梨醇酐脂肪酸酯	防止飛濺、減緩老化、改善口感	乳化劑、安定劑
玉米糖膠	增加食品厚實口感、產品黏稠度	安定劑、乳化劑、黏稠劑
關華豆膠	在常溫下可凝固、不耐酸	食品增稠劑、乳化劑、安定劑、黏稠劑
單及雙脂肪酸甘油二乙醯酒石酸酯	維持油脂與水均勻混合	乳化劑
乳酸硬脂酸鈉	淡黃色粉末，特殊臭味，乳化食品中油脂及水分，保持產品穩定	乳化劑、麵粉處理劑、起泡劑、安定劑
檸檬酸鈉	是一種有機酸鈉鹽、白色或無色晶體、有肥皂水味道	調味劑、防腐劑、保鮮劑、緩衝劑、螯合劑、乳化劑、酸度調整劑、安定劑
磷酸氫二鈉	黏著性、保水性	安定劑、黏稠劑、品質改良劑、乳化劑、緩衝劑、酸度調整劑、保濕劑、螯合劑
羥丙基甲基纖維素	半合成、活性小、黏彈性	乳化劑、起泡劑、包覆劑、安定劑、黏稠劑
結蘭膠	可使食品變濃稠、穩定	安定劑、黏稠劑
脂肪酸甘油酯	食品乳化劑，穩定食品的品質	霜淇淋等乳製品

食物經過再製後，營養素就會流失，而人造的食品添加劑營養更少，所以查詢資料比較後，[我們的煉乳及鮮奶油使用經過最少加工和最少食品添加劑的食材作為冰淇淋的材料](#)，以下進一步做不同品牌煉乳、鮮奶油的比較。

2. 不同品牌煉乳的比較

(1) 成分介紹（表格由作者自行整理）

表格 3 各牌煉乳之成分

飛○牌成分	初○牌成分
砂糖、乳粉、麥芽糖、椰子油、脂肪酸 甘油脂、乳酸硬脂酸鈉	鮮乳、砂糖

(2) 說明

兩種品牌相比，飛○牌多了**食品添加劑**(脂肪酸甘油脂、乳酸硬脂酸鈉等)，且初○牌的**牛奶**也較飛○牌的**乳粉**天然健康，故選擇**使用初○牌煉乳**。

3. 不同種類鮮奶油的比較

鮮奶油分為動物性、植物性兩種，我們先針對動、植物性鮮奶油做比較。

(1) 成分介紹（表格由作者自行整理）

表格 4 各種鮮奶油之成分

動物性鮮奶油成分	植物性鮮奶油成分
鮮奶油、聚山梨醇酐脂肪酸酯、乳酸硬脂酸鈉、鹿角菜膠、乙醯化己二酸二澱粉、關華豆膠、脂肪酸甘油脂、玉米糖膠	水、完全氫化棕櫚仁油、糖、單水葡萄糖、葡萄糖漿、乳酸硬脂酸鈉、大豆卵磷脂、單及雙脂肪酸甘油二乙醯酒石酸酯、檸檬酸鈉、磷酸氫二鈉、經丙基甲基纖維素、鹿角菜膠、結蘭膠、鹽、人造香草香料及奶油香精

(2) 說明

植物性鮮奶油中食品添加物較動物性多，並不符合「健康」宗旨，所以**選擇使用動物性鮮奶油**，並進一步從動物性鮮奶油中，比較不同品牌。

4. 不同品牌動物性鮮奶油的比較

(1) 成分介紹（表格由作者自行整理）

表格 5 各牌動物性鮮奶油之成分

安○牌成分	歐○牌及總○牌成分
乳脂、關華豆膠、脂肪酸甘油脂、聚山梨醇酐脂肪酸酯、玉米糖膠、鹿角菜膠	乳脂、鹿角菜膠

(2) 說明

因歐○牌及總○牌鮮奶油成分較單純、無添加劑，且總○牌較容易取得。故選擇使用總○牌鮮奶油。

(三) 研發測量冰淇淋性質的方法

想要知道我們自製的冰淇淋是否成功，口感是否好吃，我們嘗試研發測量冰品性質的方法，將口感(如軟硬度、黏性等)用數字量化。以下為我們的研發歷程。

1. 設計的測量方法（初版）

(1) 測量硬度方法

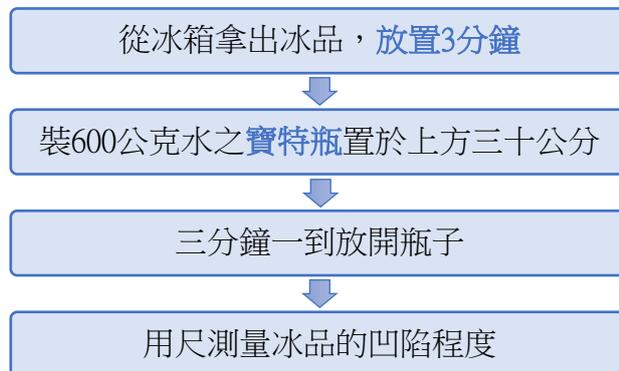


圖 17 測量冰品硬度方法(初版)流程圖



圖 18 測量冰品硬度方法示意圖(初版)

(2) 測量黏度方法

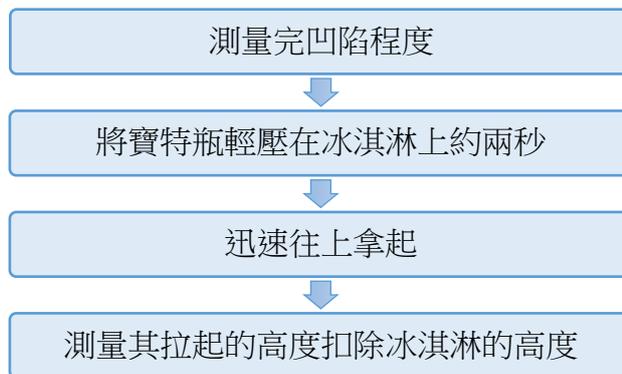


圖 19 測量冰品黏度方法(初版)流程圖



圖 20 測量冰品黏度方法示意圖(初版)

2. 說明

(1) 測量硬度的數值越高表示凹陷程度越大，冰淇淋越軟；測量黏度的數值越高則表示能拉起來越高，冰淇淋越黏。而在研發測量的初版想要測量出又軟又黏，意即數值越大越好的冰淇淋。

3. 黏度測量方法改良

- (1) 因為測量黏度的方法有甚多因素影響，例如：將寶特瓶輕壓在冰淇淋 2 秒使用的力氣大小、瓶蓋與冰淇淋接觸的面積、拿起寶特瓶時的速率快慢等等皆會影響數據，誤差太多難以控制，所以之後測量時不考慮測量黏度變因。

4. 硬度測量方法改良

- (1) 原為將冰品自冰箱拿出後測量硬度，後考量拿出時的溫度可能因冰箱溫度或天氣狀況而有所不同，產生測量時的誤差。為了更精確知道溫度與硬度的關係，因此改成測量投擲物丟下時的溫度，每隔一段時間測量並測量多次。
- (2) 原使用寶特瓶做為投擲物測量凹陷痕跡，但此方法只能得知一次的硬度數據，且可能因投擲失誤而砸毀紙碗。為了增加測量同一冰淇淋的測量次數，避免投擲失誤，所以投擲物以筷子取代寶特瓶。
- (3) 測量凹陷程度之值的方法改成：將筷子插入後取出，用遊標尺測量出筷子上冰淇淋的殘留痕跡，此值即為凹陷深度。



圖 21 測量溫度之示意圖



圖 22 投擲筷子之示意圖

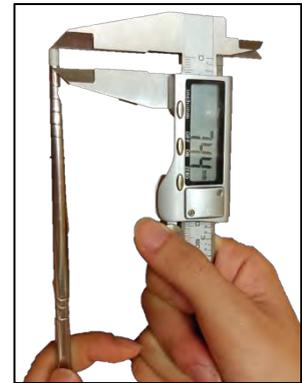


圖 23 測量深度之示意圖

- (4) 若以凹陷程度表示硬度，不同投擲物會有不同結果。所以我們進一步設計一種硬度測量模型(圖 24)。模型中投擲物落下後，與冰品接觸面摩擦力做負功使投擲物停止下降。我們藉由能量轉換的概念及相關公式推出此摩擦力後，再以摩擦力表示硬度。以下為公式推導過程：

$$W = F \times S = E_k + E_p \quad (\text{功} = \text{力} \times \text{距離} = \text{動能} + \text{位能且動能與位能總和不變})$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (m = \text{質量(kg)}, v = \text{速度(m/s)})$$

$$E_p = mgh \quad (m = \text{質量(kg)}, g = \text{重力加速度}, h = \text{筷子丟下到靜止經過距離(m)})$$

① ∴最高點⇒位能最大，動能為 0

$$\begin{aligned}\therefore W_{\text{筷}} &= E_k + E_p = 0 + E_p = 0 + mgh \\ &= mg(h_1 + h_2)\end{aligned}$$

② ∴剛接觸冰淇淋還未陷入

$$\therefore W_{\text{筷}} = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_1$$

③ ∴筷子陷入冰品內，使筷子與冰品的接觸面摩擦力作負功讓筷子停止

$$\therefore W_{\text{筷}} = W_{\text{摩}} = F_{\text{摩}} \times S = F_{\text{摩}} \times h_1$$

④ ∴能量守恆定律：能量不會憑空消失(位能轉動能轉熱能)

$$\begin{aligned}\therefore \text{①、②、③能量皆相同} &\Rightarrow mg(h_1 + h_2) = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_1 = F_{\text{摩}} \times h_1 \\ &\Rightarrow mg(h_1 + h_2) = F_{\text{摩}} \times h_1\end{aligned}$$

$$F_{\text{摩}} = \frac{mg(h_1+h_2)}{h_1} = \frac{mgh_1 + mgh_2}{h_1} = mg + \frac{mgh_2}{h_1} = mg \left(1 + \frac{h_2}{h_1}\right) \text{ (單位:N)}$$

實驗中的固定常數有：m=0.0085kg、g=9.8m/s²、h₂=0.3m，將這些值代入

公式中可得到：
$$F_{\text{摩}} = 0.0085 \times 9.8 \times \left(1 + \frac{0.3}{h_1}\right)$$

將投擲物凹陷程度代入公式得到摩擦力後，以測量時的溫度為 X 軸、摩擦力為 Y 軸，繪製成綜合圖表，並找出最符合這些點的二次函數趨勢線。此方法算出之值(F_摩)可以更客觀地表示及推算硬度(數值越大代表越硬；越小代表越軟)。

得出趨勢線的方程式後，還能算出此函數某兩個溫度間(訂為-3 到-10°C)的平均變化率；即算出在-3 到-10°C 之間，硬度(摩擦力)變化量與溫度變化量的比值。

$$\frac{[-3^\circ\text{C 時的硬度(摩擦力)] - [-10^\circ\text{C 時的硬度(摩擦力)]}{(-3^\circ\text{C}) - (-10^\circ\text{C})}$$

而算出之平均變化率的絕對值越大，就代表函數在這兩個指定溫度之間變化的越大，意即上升或下降的越快；若平均變化率的絕對值越小，代表在指定的兩個溫度間的硬度(摩擦力)下降越慢。平均變化率越小，代表食用時整體口感會較為一致(不會一開始很硬，後面吃起來很軟)，軟硬度品質穩定。

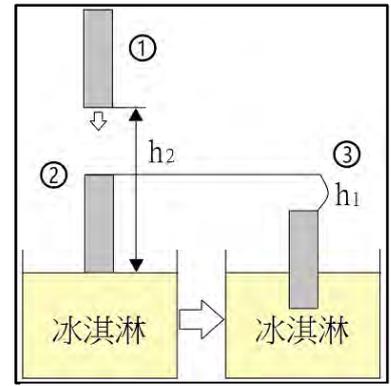


圖 24 投擲物投擲過程示意圖

5. 測量硬度(摩擦力)方法 (確定版)

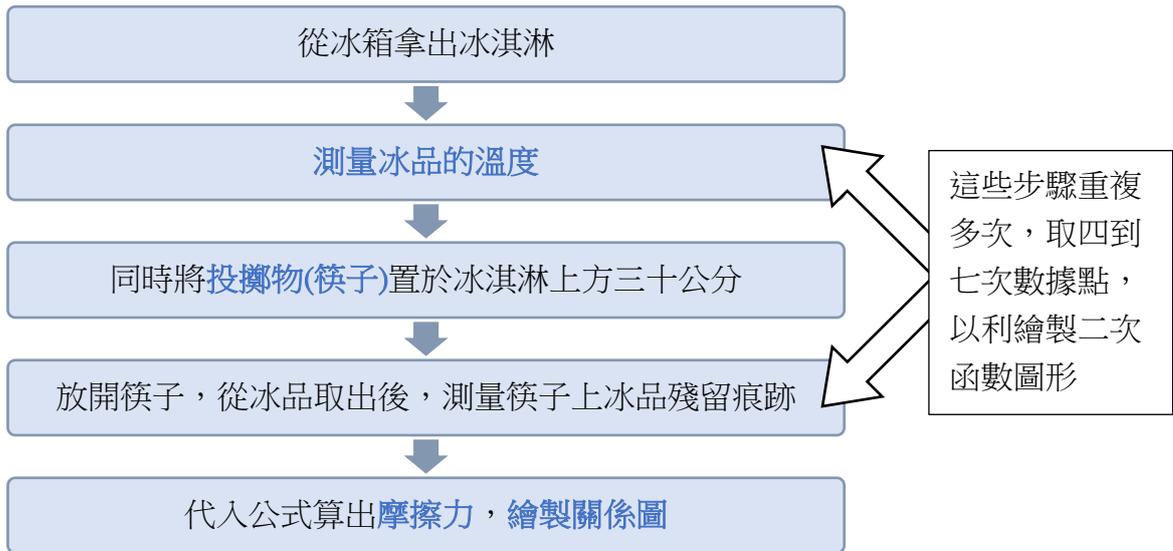


圖 25 測量冰品硬度方法(確定版)流程圖

6. 與知名冰淇淋品牌的主廚訪談

為了更瞭解冰淇淋並幫助研究進行，我們有幸邀請了知名冰淇淋品牌的主廚進行訪談，整理之重點如下(完整記錄詳見附錄)：

- (1) 冰淇淋**打發**才会有綿密的口感
⇒研究鮮奶油打發不同時間對冰淇淋的影響
- (2) 打發過程需將鮮奶油**冰浴**(泡冰塊水)以保持低溫



圖 26 打發鮮奶油

(四) 定案方法

經由前面(一)至(三)的歷程，找出冰淇淋食譜、最健康食材及研發出測量方法後，我們最後定案實驗步驟如下：

1. 製作冰淇淋

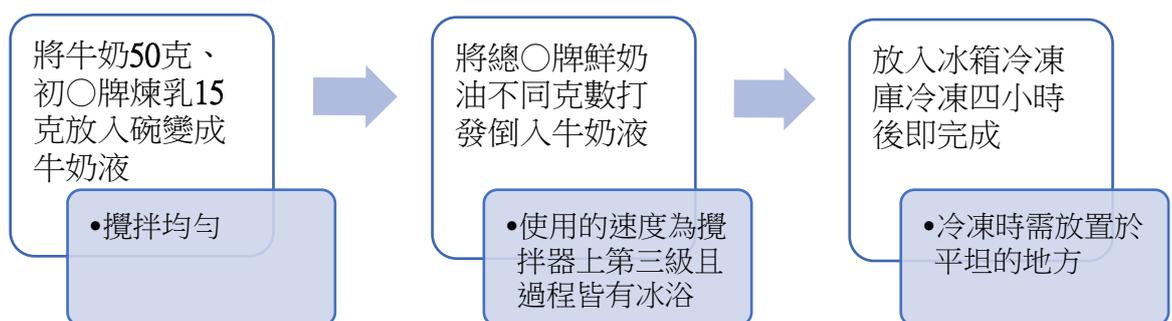


圖 27 製作冰淇淋之定案實驗步驟流程圖

2. 測量冰品的硬度(摩擦力)

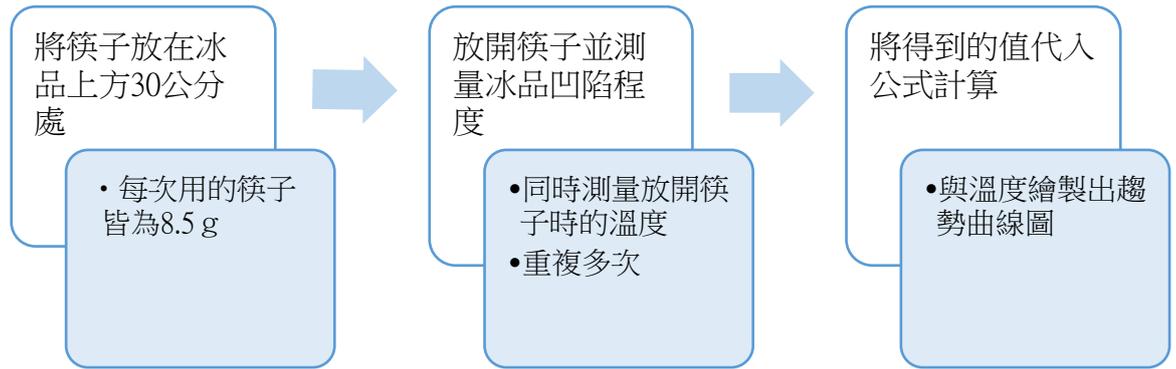


圖 28 測量冰品性質之定案實驗步驟流程圖

二、實驗

(一)實驗一：比較不同種類市售冰品軟硬度

為了與我們自製的冰淇淋比較，我們購買了市面上常見的冰品，先比較計算油脂含量百分比，再進行測量其硬度(摩擦力)。

1. 操縱變因：各類冰品：小○牌冰淇淋、哈○牌冰淇淋、冷凍庫霜淇淋、手擠霜淇淋
2. 實驗記錄（小○牌冰淇淋）(油脂含量重量百分比：7.3%)：

表格 6 市售冰品(小○牌冰淇淋)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8.6	-5.2	-3.8	-3.4	-0.4
	硬度(N)	6.33	3.21	3.21	2.86	1.75
(2)	溫度(°C)	-6.2	-4.2	-3.8	-1.8	-0.8
	硬度(N)	2.86	2.58	2.58	1.17	1.04
(3)	溫度(°C)	-7.8	-5.0	-3.2	-1.6	-0.4
	硬度(N)	5.08	2.86	1.65	1.75	1.27

3. 實驗記錄（哈○牌冰淇淋）(油脂含量重量百分比：18.5%)：

表格 7 市售冰品(哈○牌冰淇淋)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-9.6	-9.2	-7.8	-6.4	-4.4	-3.2	-3.0
	硬度(N)	8.41	8.41	6.33	5.08	3.65	1.55	1.4
(2)	溫度(°C)	-10.2	-8.8	-7.8	-6.0	-5.2	-4.0	-3.4
	硬度(N)	12.6	8.41	5.08	5.08	4.25	2.01	1.65
(3)	溫度(°C)	-9.2	-8.6	-7.6	-6.4	-4.6	-4.4	-3.2
	硬度(N)	8.41	8.41	6.33	5.08	3.65	3.21	1.65

4. 實驗記錄（冷凍庫霜淇淋）(油脂含量重量百分比：7.5%)：

表格 8 市售冰品(冷凍庫霜淇淋)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8.2	-6.2	-5.4	-3.8	-2.8	-2.6	-1.4
	硬度(N)	3.15	2.71	2.55	2.08	2.47	2.00	1.85
(2)	溫度(°C)	-11.4	-4.0	-3.4	-2.6	-1.2	0.4	1.2
	硬度(N)	4.64	2.78	2.43	1.78	1.88	1.71	1.38
(3)	溫度(°C)	-7.4	-5.2	-4.4	-3.2	-2.4	-1.6	0.8
	硬度(N)	3.20	2.64	2.50	1.96	1.79	1.69	1.45

5. 實驗記錄（手擠霜淇淋）(油脂含量重量百分比：5.9%)：

表格 9 市售冰品(手擠霜淇淋)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-4.4	-3.6	-2.6	-1.6	-0.6	0.6
	硬度(N)	0.82	0.81	0.76	0.76	0.72	0.70
(2)	溫度(°C)	-6.8	-5.2	-3.4	-1.6	-0.4	0.8
	硬度(N)	1.03	1.00	0.85	0.76	0.74	0.70
(3)	溫度(°C)	-3.0	-2.2	-1.6	-0.4	0.0	
	硬度(N)	0.81	0.77	0.76	0.71	0.67	

6. 綜合圖表

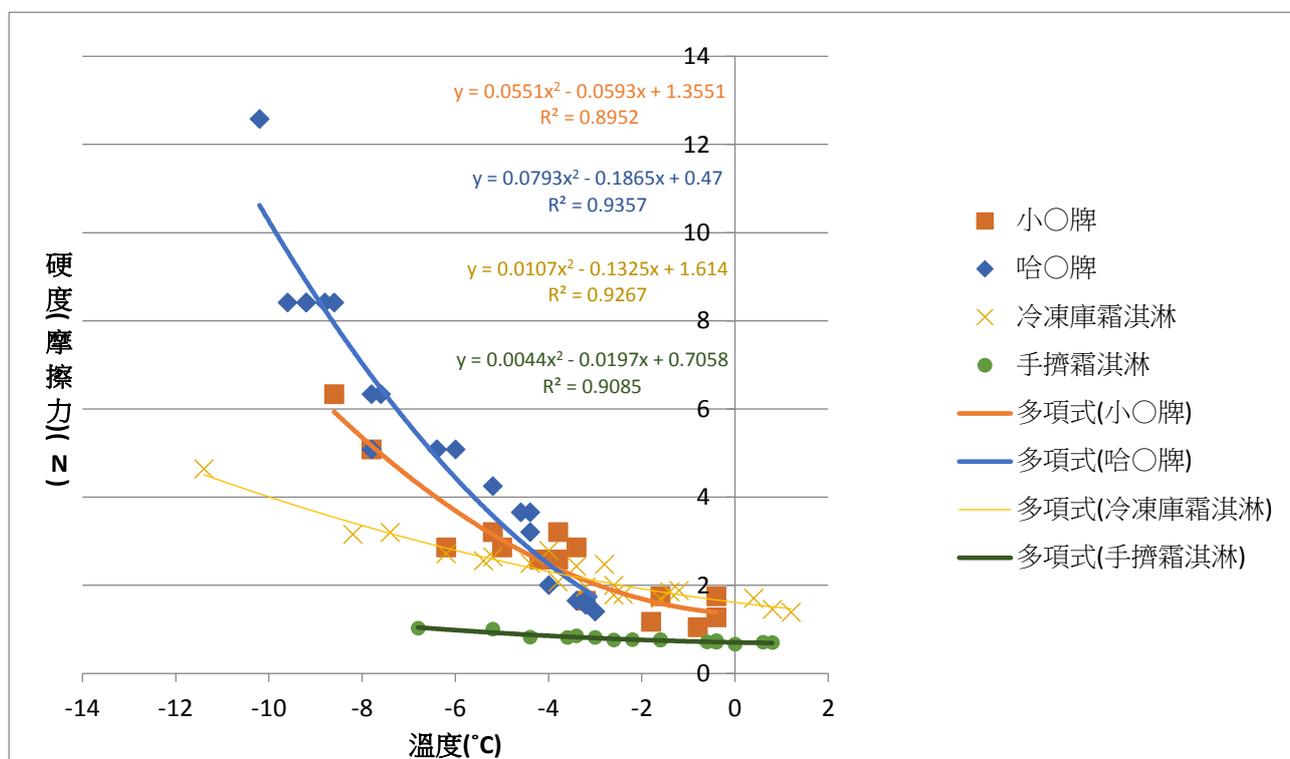


圖 29 市售冰淇淋與霜淇淋溫度與硬度(摩擦力)關係圖

7. 利用上圖的趨勢線方程式，代入不同溫度值，可找到不同溫度時的硬度(摩擦力)。

表格 10 市售冰品趨勢線分析(硬度單位為 N)

溫度(°C)	小○牌 冰淇淋	哈○牌 冰淇淋	冷凍庫 霜淇淋	手擠 霜淇淋	硬度(摩擦力) 最小項目	硬度(摩擦力) 最大項目
-10	7.46	10.27	4.01	1.34	手擠霜淇淋	哈○牌冰淇淋
-9	6.35	8.57	3.67	1.24	手擠霜淇淋	哈○牌冰淇淋
-8	5.36	7.04	3.36	1.15	手擠霜淇淋	哈○牌冰淇淋
-7	4.47	5.66	3.07	1.06	手擠霜淇淋	哈○牌冰淇淋
-6	3.69	4.44	2.79	0.98	手擠霜淇淋	哈○牌冰淇淋
-5	3.03	3.39	2.54	0.91	手擠霜淇淋	哈○牌冰淇淋
-4	2.47	2.48	2.32	0.86	手擠霜淇淋	哈○牌冰淇淋
-3	2.03	1.74	2.11	0.80	手擠霜淇淋	冷凍庫霜淇淋
平均變化率 (-10~-3 °C)	-0.7756	-1.2174	-0.2716	-0.0769		

8. 實驗發現

- (1) 經計算**油脂含量重量百分比大小比較**(%): 哈○牌冰淇淋>冷凍庫冰淇淋>小○牌冰淇淋>手擠冰淇淋。
- (2) **硬度**(摩擦力)整體以**手擠霜淇淋較軟**，**哈○牌冰淇淋較硬**。
- (3) 由圖 29 中可看出兩種**霜淇淋的趨勢線皆非常平緩**，而**硬度(摩擦力)趨勢線平均變化率(-10~-3°C)絕對值皆小於 0.3**，冰淇淋則大致介於 0.7~1.3 之間。

(二)實驗二：不打發鮮奶油，比較不同質量對冰淇淋軟硬度的影響

根據各種資料以及主廚的說法，加入冰淇淋中的鮮奶油都必須經過打發。於是我們想先瞭解，如果鮮奶油未經打發，是否還能在冰淇淋中發揮效果。

1. 操縱變因：使用不同克數鮮奶油:0g、15g、20g、30g
2. 實驗記錄(鮮奶油 0g) (油脂含量重量百分比：4.9%)：

表格 11 自製冰淇淋(鮮奶油 0g 未打發)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-12	-10.2	-8.6	-7	-6	-4.6
	硬度(N)	15.51	12.27	8.12	7.29	6.12	5.76
(2)	溫度(°C)	-10.6	-9	-8	-6.2	-5	-4
	硬度(N)	12.96	9.3	8.58	6.93	5.84	5.36
(3)	溫度(°C)	-11.2	-9.2	-7.2	-5.8	-4.2	-3.4
	硬度(N)	14.36	9.3	8.39	5.99	5.29	4.49

3. 實驗記錄(鮮奶油 15g) (油脂含量重量百分比：10.5 %)：

表格 12 自製冰淇淋(鮮奶油 15g 未打發)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-9.2	-7.2	-6.2	-3.8	-2	-0.4
	硬度(N)	8.64	6.77	4.17	3.16	2.68	1.88
(2)	溫度(°C)	-5.4	-2.8	-1.6	-0.4	0.6	
	硬度(N)	4.95	2.99	2.80	2.41	1.90	

4. 實驗記錄(鮮奶油 20g) (油脂含量重量百分比：12 %)：

表格 13 自製冰淇淋(鮮奶油 20g 未打發)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-5.4	-3.2	-2.4	-1.6	-0.8
	硬度(N)	5.71	3.23	2.90	2.68	1.61
(2)	溫度(°C)	-6.6	-3.4	-2	-1.4	-0.8
	硬度(N)	6.97	3.49	3.10	2.76	1.96

5. 實驗記錄(鮮奶油 30g) (油脂含量重量百分比：14.4%)：

表格 14 自製冰淇淋(鮮奶油 30g 未打發)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-5.6	-4.8	-2.6	-1.2	0
	硬度(N)	6.71	6.68	3.93	2.44	1.50
(2)	溫度(°C)	-3	-2.4	-1.4	0	
	硬度(N)	5.42	3.153	2.9	2.33	

6. 綜合圖表

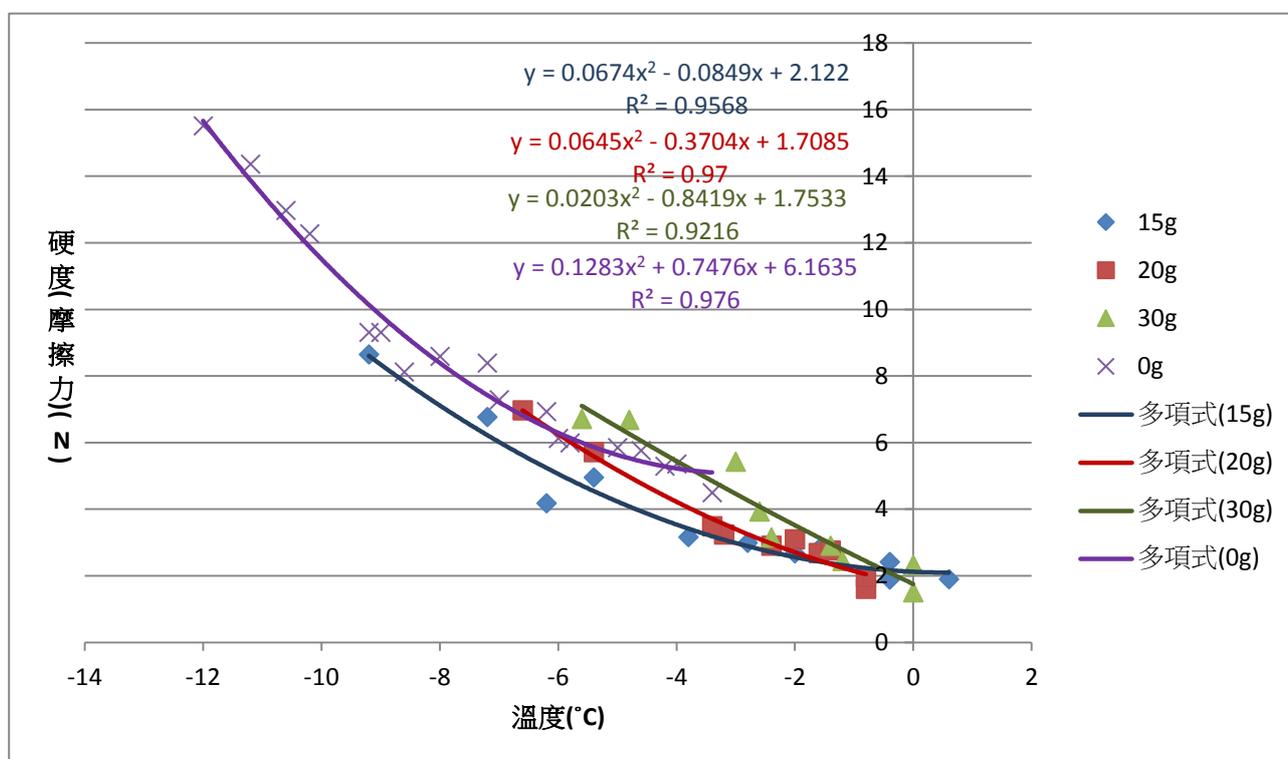


圖 30 不打發鮮奶油溫度與硬度(摩擦力)關係圖

7. 利用趨勢線找到不同溫度時的摩擦力

表格 15 添加不打發鮮奶油不同克數之自製冰淇淋趨勢線分析(硬度單位為 N)

溫度(°C)	0g	15g	20g	30g	硬度(摩擦力) 最小(秒)	硬度(摩擦力) 最大(秒)
-10	11.52	9.71	11.86	12.20	15	20
-9	9.83	8.35	10.27	10.97	15	20
-8	8.39	7.11	8.80	9.79	15	30
-7	7.22	6.02	7.46	8.64	15	30
-6	6.30	5.06	6.25	7.54	15	30
-5	5.63	4.23	5.17	6.47	15	30
-4	5.23	3.54	4.22	5.45	15	30
-3	5.08	2.98	3.40	4.46	15	0
平均變化率 (-10~-3 °C)	-0.9203	-0.9611	-1.2089	-1.1058		

8. 實驗發現

- (1) 觀察上表-4°C 時 15g、20g、30g 的硬度(摩擦力)，**添加未打發的鮮奶油，加越多冰淇淋反而越硬**，所以需要進一步研究打發鮮奶油。
- (2) 硬度(摩擦力)趨勢線平均變化率(-10~-3°C)絕對值：介於 0.9 到 1.3 之間。

(三)實驗三：鮮奶油定量 30g（油脂含量：14.4%），比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響

1. 操縱變因：使用鮮奶油 30g，分別打發鮮奶油 30 秒、60 秒、90 秒
2. 實驗記錄(30 秒)：

表格 16 自製冰淇淋(鮮奶油 30g 打 30 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8.8	-5.4	-4.6	-2.8	-1.2	-0.2
	硬度(N)	8.7	6.41	3.85	3.39	2.69	2.62
(2)	溫度(°C)	-9.8	-4.8	-3.8	-3.2	-2.6	-1.8
	硬度(N)	8.17	6.1	4.62	4.24	3.9	3.54

3. 實驗記錄(60 秒)：

表格 17 自製冰淇淋(鮮奶油 30g 打 60 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8.8	-4.8	-3	-1.2	0.2	
	硬度(N)	7.01	4.602	4.21	2.83	2.41	
(2)	溫度(°C)	-8.2	-6.8	-4	-2.8	-1.8	-0.8
	硬度(N)	6.02	4.85	3.61	2.93	2.62	2.58

4. 實驗記錄(90 秒)

表格 18 自製冰淇淋(鮮奶油 30g 打 90 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8.6	-6.8	-6	-5	-3.8	-1.8
	硬度(N)	8.91	6.694	5.41	3.68	3.22	2.83
(2)	溫度(°C)	-8.8	-7	-6.2	-5.4	-3	-2.2
	硬度(N)	8.58	6.46	6.24	4.22	3.86	3.16

5. 綜合圖表

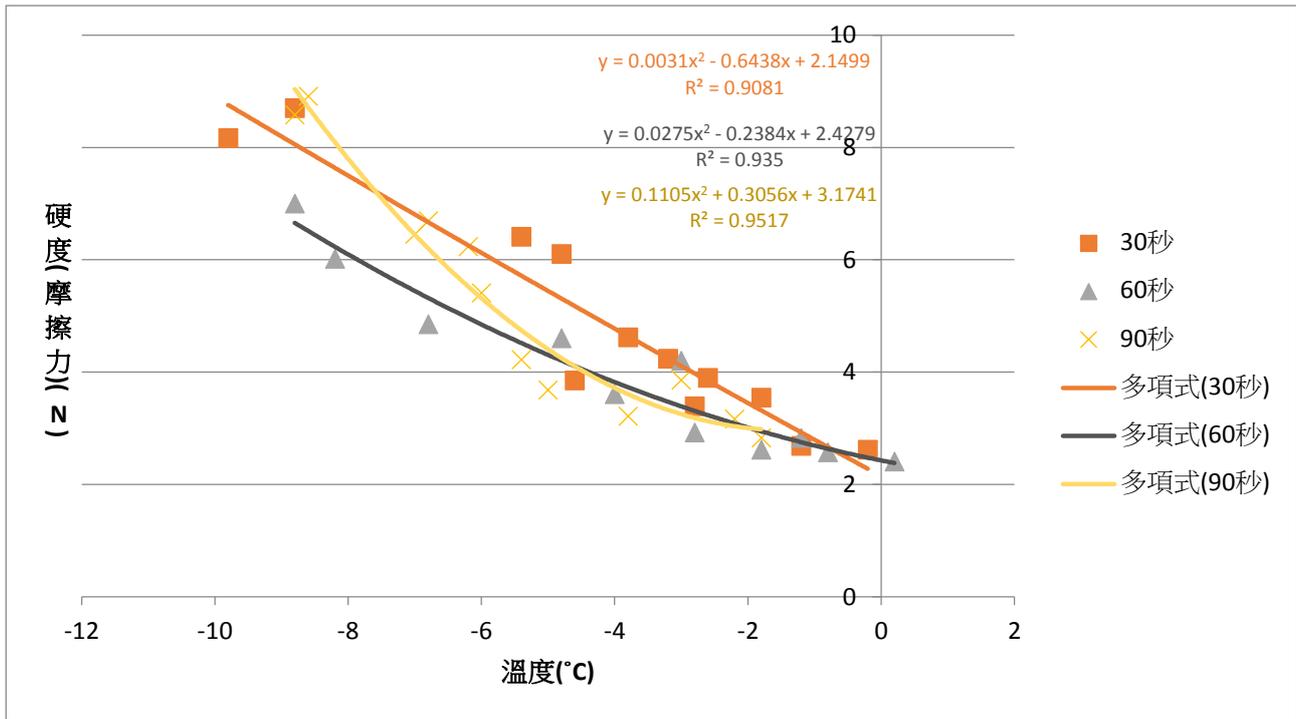


圖 31 30g 鮮奶油溫度與硬度(摩擦力)關係圖

6. 利用趨勢線找到不同溫度時的摩擦力

表格 19 添加 30g 鮮奶油不同秒數之自製冰淇淋趨勢線分析(硬度單位為 N)

溫度(°C)	30 秒	60 秒	90 秒	硬度(摩擦力) 最小(秒)	硬度(摩擦力) 最大(秒)
-10	8.90	7.56	11.2	60	30
-9	8.20	6.80	9.37	60	90
-8	7.50	6.10	7.80	60	90
-7	6.81	5.44	6.45	60	30
-6	6.12	4.85	5.32	60	30
-5	5.45	4.31	4.41	60	30
-4	4.77	3.82	3.72	90	30
-3	4.11	3.39	3.25	90	30
平均變化率 (-10~-3 °C)	-0.6841	-0.5959	-1.1309		

7. 實驗發現

(1) 從圖 31 中的趨勢線及上表可知，打發 60 較軟，30 秒較硬。

(2) 硬度(摩擦力)趨勢線平均變化率(-10~-3 °C)絕對值：介於 0.5 到 1.2 之間。

(四)實驗四：鮮奶油定量 20g（油脂含量 12%），比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響

1. 操縱變因：減少 1/3 鮮奶油含量(剩 20 克)，分別打發 30、60、90、120、150 秒

2. 實驗記錄(30 秒)：

表格 20 自製冰淇淋(鮮奶油 20g 打 30 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-3.8	-3.2	-2.2	-1.2	-1	-0.4
	硬度(N)	4.02	3.60	3.48	2.74	2.82	2.69
(2)	溫度(°C)	-6.8	-5.4	-3.6	-2.2	-1.6	-0.2
	硬度(N)	7.54	6.33	3.71	3.60	3.22	3.09
(3)	溫度(°C)	-6.4	-6.2	-4.4	-2.6	-1.2	
	硬度(N)	7.39	6.03	5.11	4.78	2.47	

3. 實驗記錄(60 秒)：

表格 21 自製冰淇淋(鮮奶油 20g 打 60 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-6.8	-4.2	-3.8	-2	-1.4	-1.2
	硬度(N)	6.78	4.01	3.64	3.34	3.26	2.88
(2)	溫度(°C)	-4	-2.6	-2	-1.2	1.2	
	硬度(N)	4.08	3.33	3.03	2.90	2.36	
(3)	溫度(°C)	-5	-4	-3.6	-3.4	-2	
	硬度(N)	5.46	4.98	4.86	4.35	3.89	

4. 實驗記錄(90 秒)：

表格 22 自製冰淇淋(鮮奶油 20g 打 90 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-10.2	-7	-5.2	-4.4	-3	0.4
	硬度(N)	9.69	6.41	5.32	4.60	4.30	2.99
(2)	溫度(°C)	-6	-3.6	-2.2	-2.6	-1.2	-0.2
	硬度(N)	7.01	4.81	4.41	4.74	4.31	3.43
(3)	溫度(°C)	-7.4	-6.8	-3.2	-2.6	-1.4	
	硬度(N)	6.77	6.41	4.83	4.75	4.67	

5. 實驗記錄(120 秒)：

表格 23 自製冰淇淋(鮮奶油 20g 打 120 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8.2	-6.2	-6	-1.8	-1.2	0.4
	硬度(N)	9.85	7.92	6.43	5.26	5.00	3.77
(2)	溫度(°C)	-6.6	-4.6	-3.2	-2.2	-1	-0.8
	硬度(N)	8.25	6.71	5.71	4.07	3.77	3.76
(3)	溫度(°C)	-7.8	-6.2	-5.2	-4.2	-2.8	-2.2
	硬度(N)	8.20	6.75	6.49	5.67	4.83	3.48
(4)	溫度(°C)	-6.4	-5.8	-4	-3.2	-2.6	-1.2
	硬度(N)	8.02	6.91	5.99	5.53	5.49	4.96

6. 實驗記錄(150 秒)：

表格 24 自製冰淇淋(鮮奶油 20g 打 150 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-9.2	-5.4	-5.2	-2.2	-0.2	0.8
	硬度(N)	10.41	5.18	5.78	4.83	4.49	2.68
(2)	溫度(°C)	-7.4	-5.6	-3.2	-2.4	-2	-1.2
	硬度(N)	7.99	6.22	4.99	4.30	4.09	3.71
(3)	溫度(°C)	-6.6	-4.2	-3.6	-2.2	-1.2	0
	硬度(N)	5.87	4.87	4.45	3.58	3.59	2.60

7. 綜合圖表

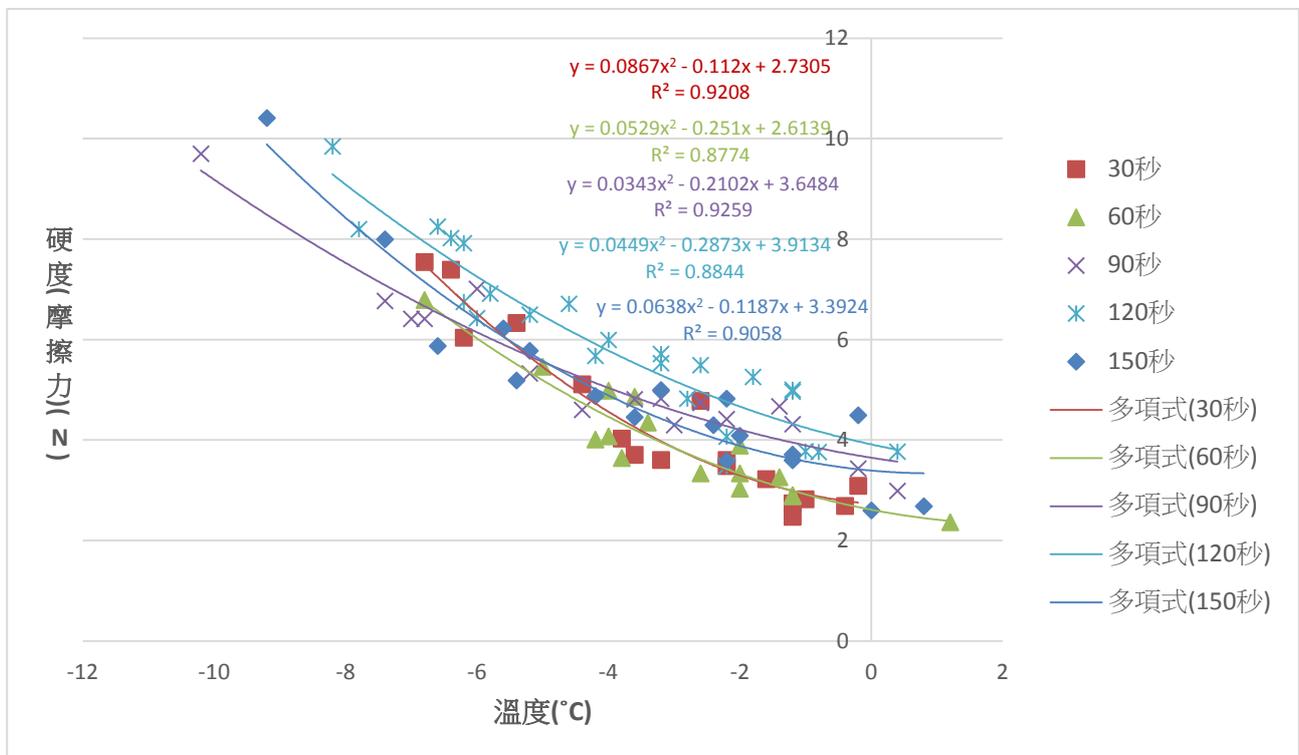


圖 32 20g 鮮奶油溫度與硬度(摩擦力)關係圖

8. 利用趨勢線找到不同溫度時的摩擦力

表格 25 添加 20g 鮮奶油不同秒數之自製冰淇淋趨勢線分析(硬度單位為 N)

溫度(°C)	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒	150 秒	硬度 (摩擦力) 最小(秒)	硬度 (摩擦力) 最大(秒)
-10	12.52	10.41	9.18	11.28	10.96	90	30
-9	10.76	9.16	8.32	10.14	9.63	90	30
-8	9.18	8.01	7.53	9.09	8.43	90	30
-7	7.76	6.96	6.80	8.12	7.35	90	120
-6	6.52	6.02	6.14	7.25	6.40	60	120
-5	5.46	5.19	5.56	6.47	5.58	60	120
-4	4.57	4.46	5.04	5.78	4.89	60	120
-3	3.85	3.84	4.59	5.18	4.32	60	120
平均變化率 (-10~-3 °C)	-1.2391	-0.9387	-0.6561	-0.871	-0.9481		

9. 實驗發現

- (1) 從圖 32 中的趨勢線及上表可知，打發 60 秒較軟，30 秒及打發超過 60 秒以上皆較硬。
- (2) 硬度(摩擦力)趨勢線平均變化率(-10~-3°C)絕對值：介於 0.6 到 1.3 之間。

(五)實驗五：鮮奶油定量 15g（油脂含量 10.5%），比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響

1. 操縱變因：減少 1/2 鮮奶油含量(剩 15 克)，分別打發 30、60、90、120、150 秒
2. 實驗記錄(30 秒)：

表格 26 自製冰淇淋(鮮奶油 15g 打 30 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-7	-6.2	-5.4	-3.2	-2	-0.8	
	硬度(N)	7.08	7.16	5.62	4.53	4.23	3.91	
(2)	溫度(°C)	-8.8	-6.8	-5	-2.6	-1.8	-0.4	
	硬度(N)	10.76	8.36	5.91	4.48	4.92	4.08	
(3)	溫度(°C)	-7.2	-6	-4.8	-3.4	-1.4	-0.8	
	硬度(N)	8.07	7.22	5.72	5.10	4.09	3.84	
(4)	溫度(°C)	-8.2	-7.6	-5.2	-4.2	-3.8	-2.8	-0.6
	硬度(N)	-1.25	-2.49	2.86	3.27	0.53	1.21	0.00

3. 實驗記錄(60 秒)：

表格 27 自製冰淇淋(鮮奶油 15g 打 60 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8	-5.6	-4.6	-3.8	-2.8	
	硬度(N)	7.52	4.94	4.53	4.44	4.34	
(2)	溫度(°C)	-7.4	-7.6	-5.6	-3.6	-1.8	
	硬度(N)	7.33	7.37	5.55	4.89	3.93	
(3)	溫度(°C)	-8	-6.4	-4.6	-2.8	-0.4	
	硬度(N)	7.50	6.38	5.43	4.25	3.88	
(4)	溫度(°C)	-9.2	-8.4	-7.4	-6	-1.8	-0.4
	硬度(N)	11.44	9.92	9.73	7.70	4.11	3.75

4. 實驗記錄(90 秒)：

表格 28 自製冰淇淋(鮮奶油 15g 打 90 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8	-7.6	-6	-4.6	-2.6	-1.2	
	硬度(N)	8.76	10.12	9.17	6.84	5.60	4.26	
(2)	溫度(°C)	-9.4	-7.4	-5.8	-4.4	-2.4	-0.6	
	硬度(N)	9.59	7.66	7.04	5.96	4.73	4.15	
(3)	溫度(°C)	-8	-6.4	-5.4	-4	-1.8	-0.4	
	硬度(N)	9.69	7.01	7.10	5.31	5.11	3.99	
(4)	溫度(°C)	-8.2	-7	-5.6	-4.4	-3	-1.6	-0.8
	硬度(N)	9.96	9.34	6.71	6.38	6.16	4.10	4.06

5. 實驗記錄(120 秒)：

表格 29 自製冰淇淋(鮮奶油 15g 打 120 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-9.4	-7.4	-5.8	-4.4	-2.8	-1.8	
	硬度(N)	12.10	9.92	8.36	6.22	5.07	4.25	
(2)	溫度(°C)	-8.8	-7.2	-5.2	-3.6	-2.4	-0.8	
	硬度(N)	11.24	8.33	7.12	6.28	5.53	4.17	
(3)	溫度(°C)	-8	-6	-4.8	-3.4	-2	-0.4	
	硬度(N)	11.04	8.17	6.75	5.61	5.36	4.51	
(4)	溫度(°C)	-9.6	-8.2	-7.6	-5	-4	-2.8	-1.6
	硬度(N)	11.49	9.96	9.24	7.45	6.78	6.47	5.09

6. 實驗記錄(150 秒)：

表格 30 自製冰淇淋(鮮奶油 15g 打 150 秒)實驗紀錄

(1)	溫度(°C)	-8.8	-6.8	-5	-4	-3.2	-0.6	
	硬度(N)	10.63	8.79	7.26	6.24	5.31	4.34	
(2)	溫度(°C)	-8.6	-5.8	-4.8	-2.2	-1.6	-0.2	
	硬度(N)	10.63	7.66	8.25	4.40	4.04	4.11	
(3)	溫度(°C)	-7.6	-6.2	-4.6	-2.6	-1.2	0.4	
	硬度(N)	9.17	8.88	6.52	5.72	4.59	4.03	
(4)	溫度(°C)	-8.6	-7.8	-6.8	-5.8	-4.4	-3.2	-1.6
	硬度(N)	9.10	8.95	8.28	7.12	6.33	5.54	5.25

7. 綜合圖表

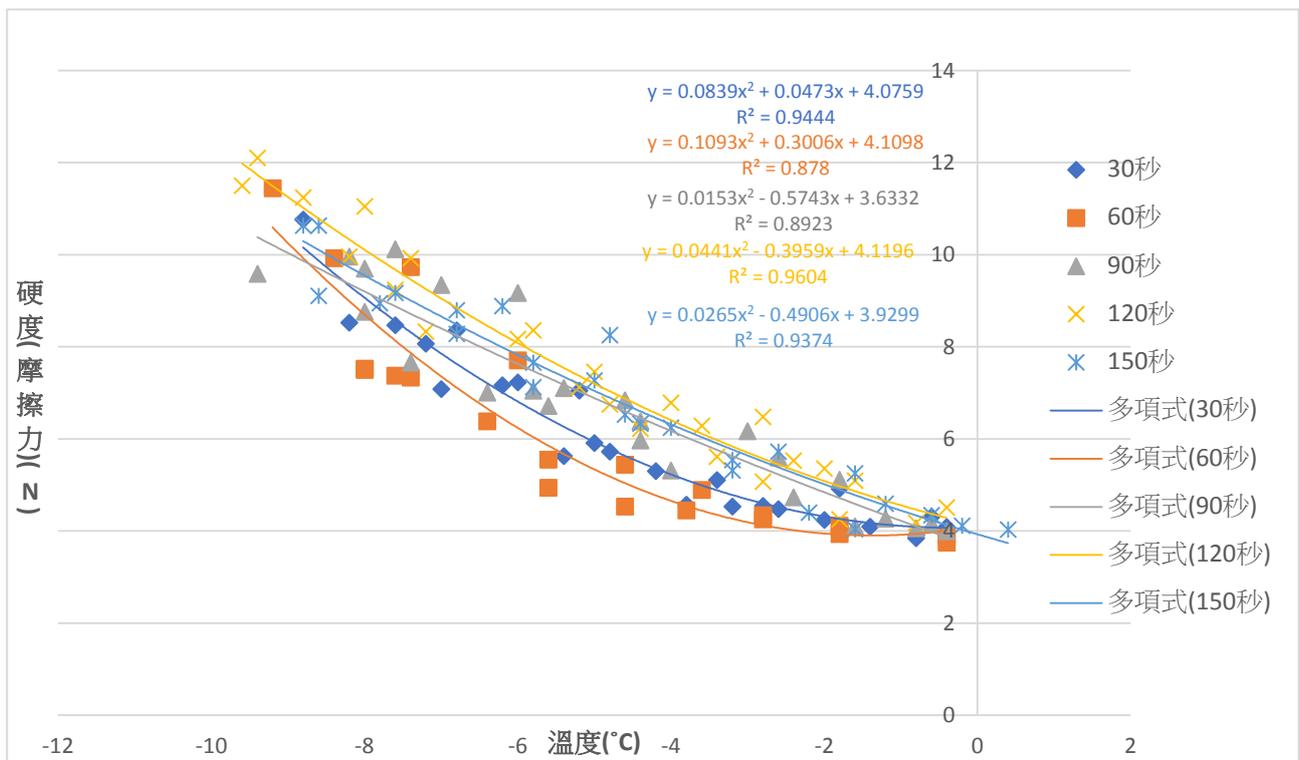


圖 33 15g 鮮奶油溫度與硬度(摩擦力)關係圖

8. 利用趨勢線找到不同溫度時的摩擦力

表格 31 添加 15g 鮮奶油不同秒數之自製冰淇淋趨勢線分析(硬度單位為 N)

溫度(°C)	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒	150 秒	硬度 (摩擦力) 最小(秒)	硬度 (摩擦力) 最大(秒)
-10	11.99	12.03	10.91	12.49	11.40	90 秒	120 秒
-9	10.45	10.26	10.04	11.25	10.42	90 秒	120 秒
-8	9.07	8.70	9.21	10.11	9.49	60 秒	120 秒
-7	7.86	7.36	8.40	9.05	8.62	60 秒	120 秒
-6	6.81	6.24	7.63	8.08	7.80	60 秒	120 秒
-5	5.94	5.34	6.89	7.20	7.02	60 秒	120 秒
-4	5.23	4.66	6.18	6.41	6.30	60 秒	120 秒
-3	4.69	4.19	5.49	5.70	5.63	60 秒	120 秒
平均變化率 (-10~-3°C)	-1.0434	-1.1203	-0.7732	-0.9692	-0.8234		

9. 實驗發現：

- (1) 從圖 33 中的趨勢線及上表可知，打發 60 秒較軟，90 秒以上硬度(摩擦力)大致相同。
- (2) 硬度(摩擦力)趨勢線平均變化率(-10~-3°C)絕對值：介於 0.7 到 1.2 之間

伍、研究結果

- 一、實驗一中比較不同種類市售冰品的軟硬度，發現油脂含量：哈○牌冰淇淋>冷凍庫冰淇淋>小○牌冰淇淋>手擠冰淇淋。且手擠霜淇淋最軟，哈○牌冰淇淋最硬，兩種霜淇淋的趨勢線都很平緩，硬度(摩擦力)趨勢線平均變化率(-10~-3°C)絕對值皆小於 0.3，遠小於冰淇淋介於 0.7 到 1.3 之間。
- 二、實驗二中不打發鮮奶油，比較不同質量對冰淇淋軟硬度的影響，發現添加 15g、20g、30g 鮮奶油的硬度(摩擦力)，未打發的鮮奶油加越多冰淇淋反而越硬。趨勢線平均變化率絕對值介於 0.9 到 1.4 之間。
- 三、實驗三中鮮奶油定量 30g，比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響，發現打發 60 秒較軟，30 秒較硬。平均變化率絕對值 0.5 到 1.2 之間。
- 四、實驗四中鮮奶油定量 20g，比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響，發現打發 60 秒較

軟，30 秒及打發超過 60 秒皆較硬。平均變化率絕對值介於 0.7 到 1.1 之間。

五、實驗五中鮮奶油定量 15g，比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響，發現打發 60 秒較軟，90 秒以上硬度(摩擦力)大致相同。平均變化率絕對值介於 0.7 到 1.2 之間

六、實驗三到五中，使用鮮奶油定量 30g、20g、15g，比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響，發現在三個實驗中皆是添加打發 60 秒鮮奶油的冰淇淋較軟。

七、將實驗二 30g、20g、15g 的趨勢線分別放入實驗三到五的圖表中，發現添加 15g 鮮奶油的冰淇淋未打發時較軟，經過打發後冰淇淋反而變硬(圖 34)；20g 趨勢線大致接近(圖 35)；而 30g 鮮奶油未打發時較硬，經過打發後冰淇淋變軟(圖 36)。

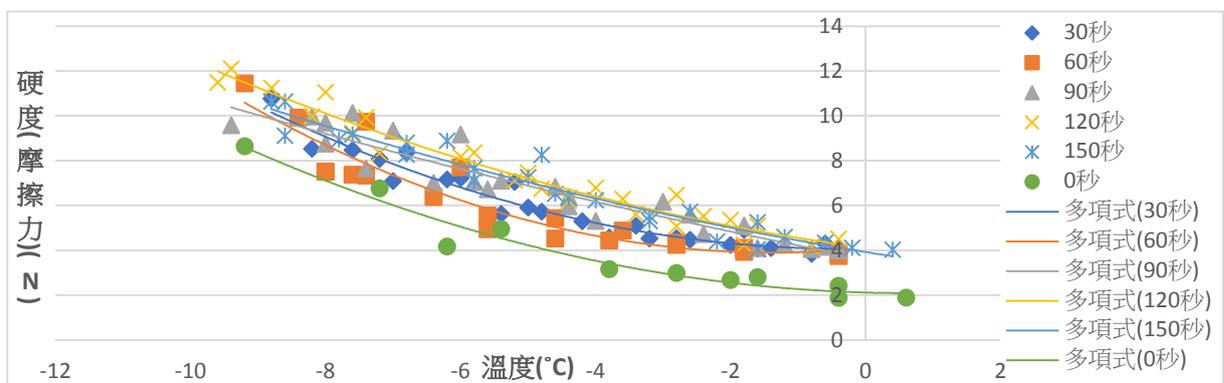


圖 34 15g 鮮奶油全秒數綜合關係圖

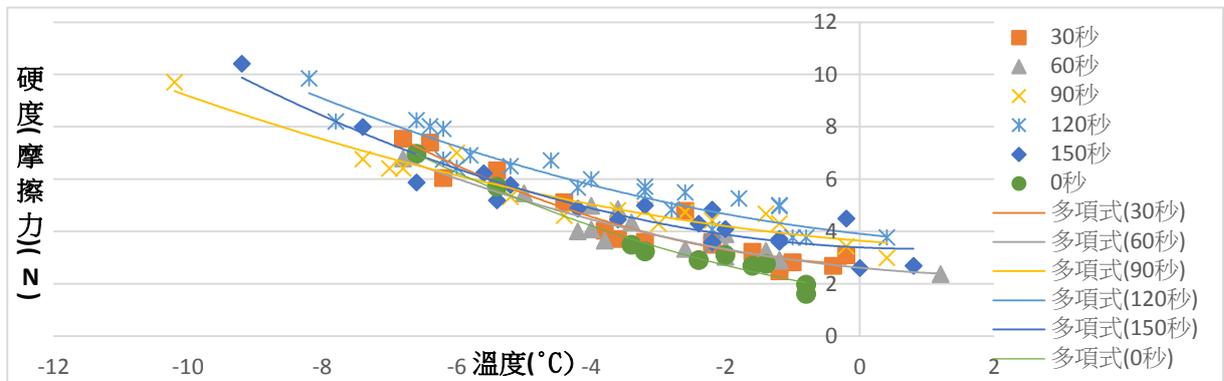


圖 35 20g 鮮奶油全秒數綜合關係圖

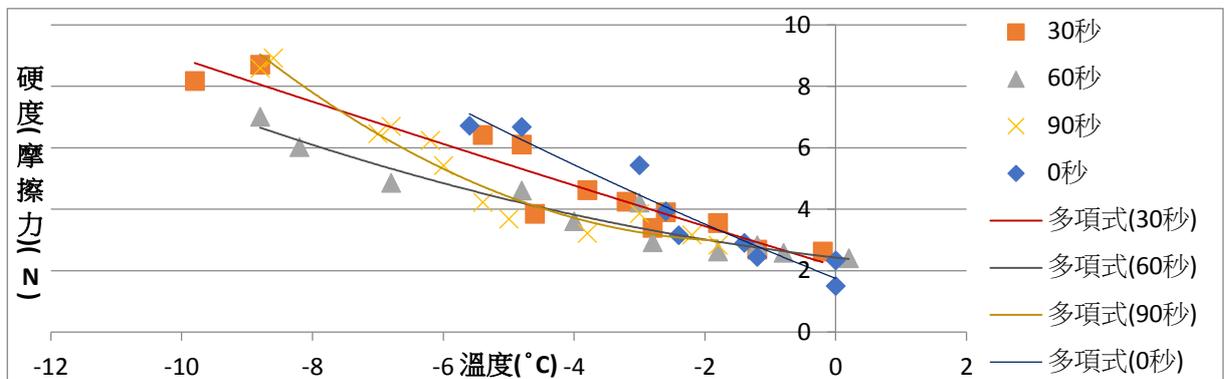


圖 36 30g 鮮奶油全秒數綜合關係圖

陸、討論

一、為了研究冰淇淋，我們著手找了食譜，也進一步研究討論，思考材料的使用原因及成分對冰淇淋的影響。

(一) **牛奶**為冰淇淋最基本的原料，其含豐富亞麻油酸及卵磷脂等，具有乳化的功能。

(二) **鮮奶油**成分與鮮奶相似但油脂含量較高，因此可打發出比牛奶奶泡還緻密的氣泡。

(三) **煉乳**經加糖及濃縮後使之黏稠、滑口、有甜味，可增添冰淇淋不少風味。

二、為了研發測量冰品性質的方法，我們蒐集相關資料，並與知名冰淇淋品牌的主廚討論後，選擇了黏度、比重、硬度等幾個口感面向下手。

(一) 我們一開始有研發測量**黏度**的方法(圖 19)，但因為我們**無法控制輕壓寶特瓶時的力氣大小、拿起寶特瓶時的速率快慢**等，所以**不考慮測量黏度變因**。

(二) 和主廚訪談時提到，業界中會測量冰淇淋的**比重**，也就是與水在同樣體積時的重量比。由此可以大致推算出冰淇淋中所含空氣多寡，表示其綿密程度。但由於一般人自製冰淇淋時不會像工廠一樣使用急速冷凍，所以在**冰的過程中會有空氣流失，無法正確推算**，加上我們從比重的數據中無法得到規律，所以**不考慮測量比重變因**。

(三) 我們一開始有研發測量硬度的方法(圖 17)，但只能測量一遍，不能比較各溫度時的硬度，且若使用不同的投擲物或高度結果都會不同。後來我們自製**摩擦力表示硬度的模型**(圖 25)，是測量冰品隨溫度升高使其內部與筷子之接觸面性質差異，所造成摩擦力的不同，若用不同投擲物或高度，只要替換公式中的係數，就能得到正確的硬度(摩擦力)值；而市售硬度計則大多是測量物體每單位面積所能承受的力。雖然實驗中的方法與物理中的硬度差異有所不同，但此模型能夠利用生活中隨手可得的筷子，不必花昂貴價錢購買器材，以**能量轉換、摩擦力**等概念，相當簡單且準確。

三、為了比較我們的冰淇淋與市售冰淇淋的不同，我們做了實驗一。

比較不同種類市售冰品軟硬度後，發現**霜淇淋的趨勢線較冰淇淋平緩**，-3 到-10°C 的平均變化率皆小於 0.3，容易辨識，各溫度摩擦力皆小，據文獻得知其油脂含量其實不多，主要是因為加入大量的添加劑維持口感。而市售冰淇淋與我們自製冰淇淋皆遠大於 0.3，說明了冰淇淋與霜淇淋的不同。

四、為了探討不打發鮮奶油對冰淇淋軟硬度影響，我們做了實驗二。

不打發鮮奶油，比較不同質量對冰淇淋軟硬度的影響，使用 15g 鮮奶油的冰淇淋(油脂含量 10.5%)比 20g(12%)、30g(14.4%)都還要軟，與**預測冰淇淋中油脂含量越多會越軟相違**。推測是因為冰淇淋油脂含量高於 10%時，若無添加乳化劑，鮮奶油又沒有經過打發，就容易產生油水分離，造成因水的分佈不均而變硬，**因此製作冰淇淋時應使用打發後的鮮奶油**。而在本研究中沒有添加乳化劑，主要是因為添加過程繁雜，且在鮮奶及鮮奶油中也含有些許乳化劑成分，所以著重於研究關於鮮奶油打發的部分。

五、研究中與主廚的訪談提到，冰淇淋中添加的鮮奶油需打發，且過程需經冰浴(泡冰塊水)，進一步思考打發鮮奶油對冰淇淋的影響。

(一) 鮮奶油**打發**過程中會使脂肪球彼此撞擊，導致脂肪球膜受到破壞而釋出不溶於水的脂肪細粒，互相凝聚後會形成包覆住空氣的網狀結構，進而使**冰淇淋更有膨鬆感**，因此鮮奶油在添加前須先經過打發的步驟。

(二) 實驗中間曾嘗試**未使用冰浴**，發現打發後鮮奶油變得固狀**奶油化**。蒐集資料發現，打發過程中若未使用冰浴，鮮奶油脂肪打發後形成的網狀結構會受溫度的影響而軟化，進而造成鮮奶油無法打發，因此打發鮮奶油時應採用冰浴較為適當。

六、為了探討使用各用量鮮奶油與不同打發秒數對冰淇淋的影響，我們做了實驗三到五。

(一) 由實驗可知，冰淇淋隨著打發秒數增加，會漸漸**變軟**，到了某一最好秒數後，又會再**變硬**。是因**打發過程中產生的不溶於水的脂肪細粒**，**打越久會越凝聚**，造成**油與水的分離**，**分佈不均而使冰淇淋變硬**。

(二) 實驗中分別添加 30g、20g、15g 鮮奶油冰淇淋**油脂含量**重量百分比(14.4%、12%、10.5%)皆**比小○牌(7.3%)多**，卻皆**比小○牌硬**，由參考資料及成分表推測是因為小○牌冰淇淋加入大量**食品添加劑**，使之口感綿密好吃。

(三) 實驗四、五中分別使用鮮奶油定量 15g、20g，打發不同秒數測量冰淇淋軟硬度，其鮮奶油添加方式原為直接取指定克數鮮奶油打發並直接加入牛奶液，後改取**30g 的鮮奶油打發指定秒數後**，分別取**15g、20g**加入牛奶和煉乳製成冰淇淋。以使用鮮奶油 20g 打發 60 秒為例(圖 37)，發現使用「**舊作法**」會比「**新做法**」做出的冰淇淋**還硬**。推測是因為鮮奶油太淺以至於攪拌棒**接觸總面積不多**而造成此結果。而使

用此種方法，因為皆是取 30g 打發，所以打發狀況理應與 30g 鮮奶油相同，實驗後果真發現使用不同克數鮮奶油皆是打發 60 秒最軟。由此推測，**不管使用多少克數的鮮奶油，只要採用上述的方法進行打發，皆會在 60 秒有最好的打發效果。**

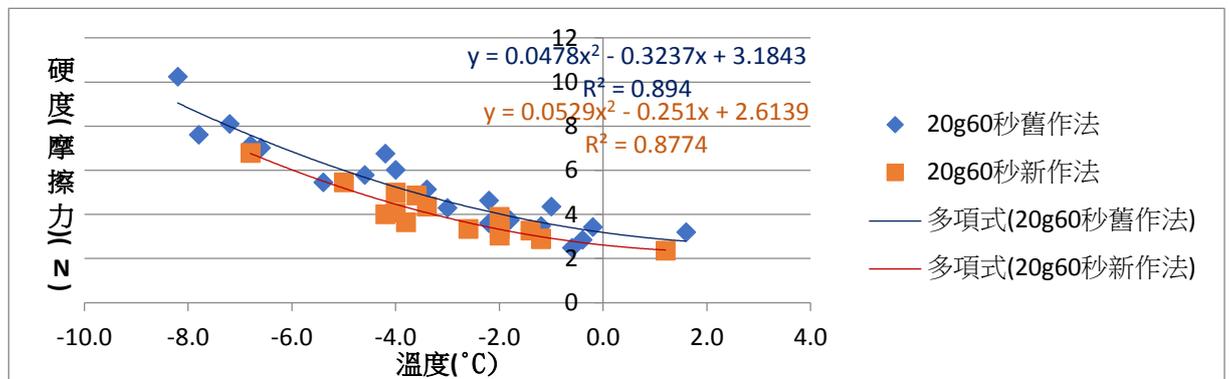


圖 37 新舊做法差別舉例圖表

(四) 觀察實驗二不打發鮮奶油，不同克數的趨勢線放入實驗三到五中，打發不同克數、不同秒數鮮奶油的圖表，發現**添加 15g 鮮奶油的冰淇淋未打發時較軟，經過打發後冰淇淋反而變硬；20g 趨勢線大致接近；而 30g 鮮奶油未打發時較硬，經過打發後冰淇淋變軟。**推測因打發的鮮奶油中，有**兩項因素影響冰淇淋軟硬**：一是油脂細粒構成的**網狀結構**，相較於油脂球還堅固一點，會使冰淇淋變硬；二是網狀結構所包覆的**空氣分子**，會使冰淇淋變軟。而 15g 鮮奶油克數較少，打發後所含的氣泡不多，此時冰淇淋軟硬由網狀結構主導，所以其打發後反而較硬；相反地，30g 鮮奶油冰淇淋中的空氣分子較多，軟硬由氣泡主導，所以其未打發較硬。

七、為了判斷實驗有無再現性，實驗每張圖中趨勢線的方程式下方均附有一個**R²**值。

R²值中文名稱叫「決定係數」，是估計回歸方程式中用來**適配度**的測量指標。此值將會介於 0 到 1 之間。以百分比的角度看，若**R²**值等於 0.6 時，就代表此回歸線具有 60%的解釋能力，所以此值越趨近 1，越能精準預測實驗中沒做到的部分，在我們的研究中**R²**值皆在 0.85 以上，可見**本實驗預測趨勢準確度之高。**

八、為了與歷屆和冰淇淋相關的科展作品做比較，我們做了一些分析。

曾有作品是嘗試用米飯代替鮮奶油來達到降低油脂含量的目的，該作品採用官能品評，做問卷調查來評量冰淇淋的優劣；而我們則是利用適當地**打發鮮奶油**，相較於使用澱粉值高的米飯，口感會較類似芋頭冰，我們仍是維持一般冰淇淋口感，且研發出**測量硬度模型**，運用科學客觀地將冰淇淋口感更量化。

柒、結論

本實驗利用測量溫度及對應之硬度(摩擦力)繪成圖表，將冰品特性量化並以函數推出不同溫度的硬度(摩擦力)，即「冰淇淋函數」加以比較，是創新的研究和測量方式。

一、此研究與生活中的應用

(一) 由各油脂含量最軟打發秒數，可得知用不同克數的鮮奶油，若採用「先打發 30g 鮮奶油，再取所需鮮奶油克數製作」的作法，皆是打發 60 秒能有最佳的打發效果。

(二) 選擇不同克數鮮奶油打發最軟秒數冰淇淋及市售冰淇淋哈○牌、小○牌冰淇淋，以溫度為 X 軸，硬度(摩擦力)為 Y 軸，繪製成綜合圖表(圖 38)，得到以下結論：

1. 冰淇淋油脂越多硬度會越小，**量化驗證**一般人對**冰淇淋中油越多越軟**的想法。
2. 市售冰淇淋相較我們的冰淇淋還要軟上許多，這是因為含有**添加劑**的緣故，在**健康方面遠遠不及我們的自製冰淇淋**。

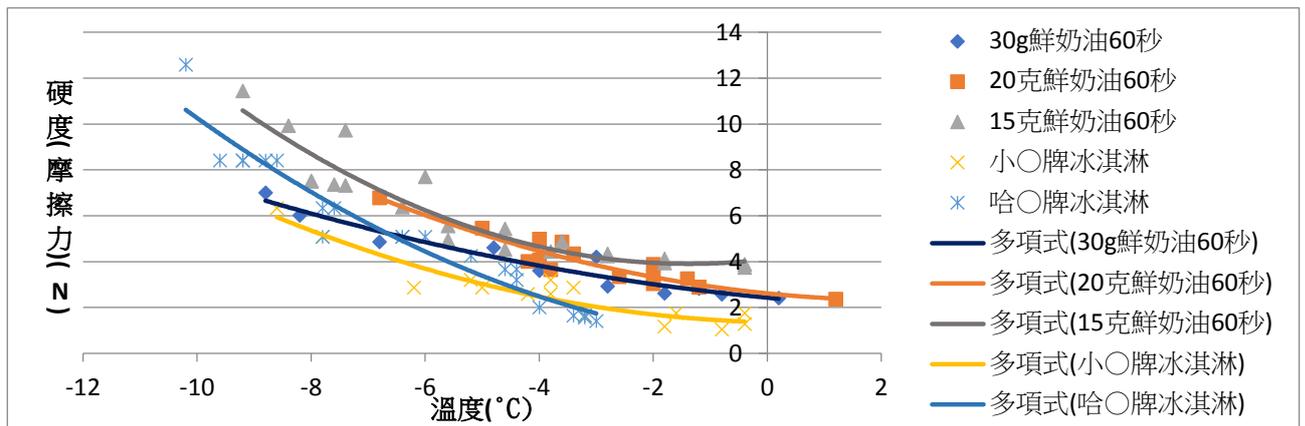


圖 38 擇不同克數鮮奶油最佳秒數及市售冰淇淋溫度與硬度(摩擦力)關係圖

(三) 選擇各實驗添加不同克數鮮奶油(0g、15g、20g、30g)打發較軟秒數，以油脂含量重量百分比為 X 軸，其在-4°C 時的硬度(摩擦力)為 Y 軸，繪製成圖表(圖 39)。

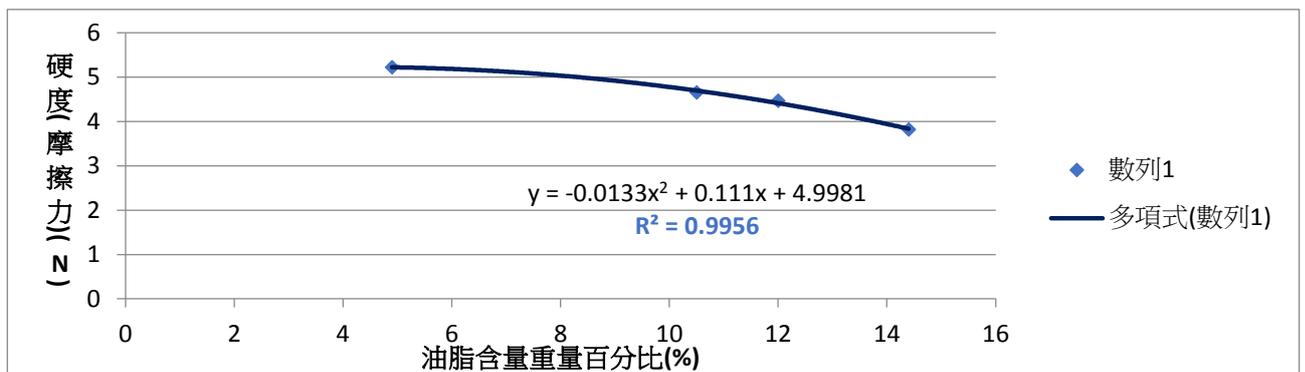
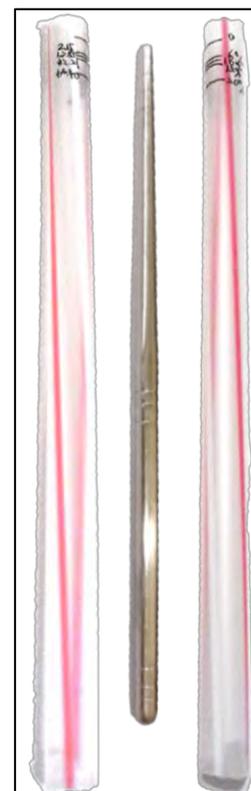


圖 39 同溫下(-4°C)冰淇淋不同油脂含量與硬度(摩擦力)關係圖

(四) 當我們想要吃到特定的冰淇淋時，可以代入上方(圖 39)趨勢線的方程式找到其相對應的油脂含量。舉例來說，若想吃在市售哈○牌冰淇淋的口感，可以參考圖 29，哈○牌的趨勢線方程式，代入 $X=-4^{\circ}\text{C}$ ，得到的口感大約是 2.5N，再代入圖 39 中的方程式，就知道大約使用 18%的油脂含量就能達到類似的口感。想自製冰淇淋的人可以在自己的喜好口感及油脂含量多寡中做調整，做出最適合自己的健康冰淇淋，相信具有相當高的實用性。而這種冰淇淋中**油脂含量與口感軟硬之間的關係是之前的相關研究中未曾有人提到的**。

(五) 由研究發想，我們嘗試**自製簡易版硬度計**，結構分成**筷子及吸管**。吸管上標有不同刻度，是經圖 39 趨勢線方程式及硬度公式推導，將摩擦力換算成深度，得到油脂含量重量百分比對應的深度，再算出鮮奶油克數(表格 32)，由這兩刻度標成。使用時於待測量冰品 -4°C ，將筷子置於冰品上方 30 公分處丟下，再比對吸管刻度，即能**得知想自製同樣硬度的冰淇淋時需添加多少鮮奶油及其油脂含量**。而不直接在筷子上標刻度是為了**避免刻度會影響筷子接觸面性質**，造成實驗誤差。**此種簡易硬度計可隨身攜帶、易收納，既準確又方便**。(右圖(圖 40)兩隻吸管為同一支，因拍攝問題須將畫有刻度的兩面分開)



表格 32 冰淇淋油脂含量與硬度、筷子凹陷程度及鮮奶油添加量之換算對照表

圖 40 自製簡易版硬度計

油脂含量(%)	摩擦力(N)	深度(cm)	添加量(g)	油脂含量(%)	摩擦力(N)	深度(cm)	添加量(g)
6	5.19	0.49	2.15	14	3.95	0.65	27.61
7	5.12	0.50	4.54	15	3.67	0.70	32.21
8	5.03	0.50	7.10	16	3.37	0.76	37.30
9	4.92	0.52	9.87	17	3.04	0.84	42.96
10	4.78	0.53	12.85	18	2.69	0.96	49.27
11	4.61	0.55	16.08	19	2.31	1.12	56.37
12	4.41	0.58	19.59	20	1.90	1.38	64.40
13	4.19	0.61	23.42				

二、未來發展

能夠嘗試在冰淇淋中添加天然乳化劑，使冰淇淋油與水混和更均勻，改善口感；及進行官能品評，製作冰淇淋供同學或民眾試吃，再以問卷評分，選出最好吃的冰淇淋。

捌、參考資料及其他

一、冰淇淋食譜

痞客邦 Vici 的綺麗世界：冰淇淋 DIY 只要十分鐘（不需開火，不用冰箱版）。2013 年 1 月 10 日，取自 <https://goo.gl/hHhfM5>

二、冰淇淋材料及其成分特性之文獻

維基百科自由的百科全書：氫化脂肪。2018 年 8 月 1 日，取自 <https://goo.gl/Xg3vi8>

科技大觀園：不給你反式脂肪酸的新油脂。2016 年 1 月 11 日，取自 <https://goo.gl/szc6Zr>

祐誠實業股份有限公司：產品總覽，澱粉系列。取自 <https://goo.gl/daxbi2>

每日頭條：哪些食品各自用到果葡糖漿、葡萄糖漿或麥芽糖漿，你瞭解嗎？。2017 年 1 月 24 日，取自 <https://goo.gl/U8mCMr>

鑫隴興業有限公司：產品介紹，乳酸硬脂酸鈉。取自 <https://goo.gl/P2QsuL>

衛生福利部食品藥物管理署：乳酸硬脂酸鈉 Sodium Stearoyl 2- Lactylate。取自 <https://goo.gl/XF4Rns>

聯閣科技股份有限公司：大豆卵磷脂。取自 <https://goo.gl/UEexmy>

Google 圖書：把化學吃下肚。取自 <https://goo.gl/2GEyBr>

壹讀：檸檬酸鈉的作用有哪些。2014 年 12 月 30 日，取自 <https://goo.gl/psHDQ3>

衛生福利部食品藥物管理署：檸檬酸鈉鹽。取自 <https://goo.gl/tf5WHP>

于成股份有限公司：安全資料表。2015 年 4 月 20 日，取自 <https://goo.gl/A5sM9N>

衛生福利部食品藥物管理署：磷酸鹽類 磷酸氫二鈉 Sodium Phosphate, Dibasic。取自 <https://goo.gl/r3z5Bn>

維基百科自由的百科全書：羥丙甲纖維素。2018 年 8 月 10 日，取自 <https://goo.gl/bjexmJ>

衛生福利部食品藥物管理署：羥丙基甲基纖維素 Hydroxypropyl Methylcellulose。取自 <https://goo.gl/3oZdeS>

上下游 News&Market：鹿角菜膠恐傷害腸胃 美國 NOSB 決議禁用於有機食品。2016 年 12 月 23 日，取自 <https://goo.gl/u6ouh7>

衛生福利部食品藥物管理署：鹿角菜膠 Carrageenan。取自 <https://goo.gl/vcxrjJ>

維基百科自由的百科全書：結蘭膠。2017年12月2日，取自 <https://goo.gl/1NkncY>

衛生福利部食品藥物管理署：結蘭膠 Gellan Gum。取自 <https://goo.gl/C34xKg>

維基百科自由的百科全書：關華豆膠。2018年11月27日，取自 <https://goo.gl/CzTnsv>

向富實業股份有限公司：玉米糖膠(三仙膠) FG-001。取自 <https://goo.gl/9Bpc7Tl>

衛生福利部食品藥物管理署：關華豆膠 Guar Gum。取自 <https://goo.gl/rTrFU>

衛生福利部食品藥物管理署：玉米糖膠 Xanthan Gum。取自 <https://goo.gl/bpVbdj>

衛生福利部食品藥物管理署：聚山梨醇酐脂肪酸酯 聚山梨醇酐脂肪酸酯(Polysorbates)八十 Polysorbate 80。取自 <https://goo.gl/3wL4dg>

大成糖業控股有限公司：麥芽糖漿。取自 <https://goo.gl/XRh3G6>

衛生福利部食品藥物管理署：食用修飾澱粉-1 乙醯化己二酸二澱粉 Acetylated Distarch Adipate。取自 <https://goo.gl/6VVKU5>

富華股份有限公司：認識鮮奶油。2017年4月5日，取自 <https://goo.gl/M6Psrr>

臺農鮮乳廠：市售奶水、煉乳之定義？其與鮮乳有何異同？保存期限如何？取自 <https://goo.gl/gM2DE8>

三、硬度公式推導之參考文獻

國中自然與生活科技 第四冊(2下)，臺北市：康軒文教事業股份有限公司

國中自然與生活科技 第五冊(3上)，臺北市：康軒文教事業股份有限公司

四、冰品製作過程及其原因之文獻

商業週刊：好綿密、好香濃！你不知道的霜淇淋添加物秘密。2014年7月1日，取自 <https://goo.gl/PcWt8p>

Fine Dining Lovers：The Science of Ice Cream: How To Make It At Home。2012年8月13日，取自：<https://goo.gl/pK1KLP>

自由時報：把握這些重點！輕鬆打出綿密奶泡。2016年8月29日，取自：<https://goo.gl/mqZEFc>

臺灣博碩士論文知識加值系統：探討乳脂肪球膜之乳化性質及其於冰淇淋之應用。2018年7月26日，取自：<https://goo.gl/o9wqPt>

富華股份有限公司：打發鮮奶油的訣竅。2017年4月5日，取自 <https://goo.gl/9Xs67d>

【評語】 032917

1. 本作品自製冰淇淋，探討影響口感之因素。
2. 本研究製作客製化冰淇淋，探討不同因素對冰淇淋口感的影響。改變不同的變因(鮮奶油克數、鮮奶油有無打發、打發秒數不同等)了解其對口感的影響。探究冰淇淋之成分與硬度等之關係，相當有趣。
3. 實驗架構完整，內容豐富，特別是以簡易的模型與裝置，利用能量守恆之觀念，定義測量冰淇淋之硬度，確有創新性。

研究動機

冰淇淋是炎炎夏日不可或缺的食物，每到夏天總是忍不住嚐幾口冰淇淋。不過如何在享受的同時兼顧健康？而我們也在國三上第三章的理化課程學到功與能量轉換的相關知識。於是我們想研發出少添加物又低脂的冰淇淋，並運用能量轉換的概念找出測量冰淇淋性質的方法。

研究目的

蒐集相關的文獻資料及分析如右圖之研究改出利於每人能做出自己想要的冰之客製化的冰淇淋食譜。

食材成分比較及選用

食物經再製後營養就會流失，而食品添加劑營養更少，所以本實驗藉由營養標示及文獻分析後，將以最少加工及食品添加劑的食材作為材料（最後決定煉乳用初○牌，鮮奶油用總○牌）。

研究設備及器材

牛奶、煉乳、鮮奶油、各種市售冰、量尺、手機、尺、紙碗、電子秤、冰箱、電動攪拌器、紅外線溫度計、裝水寶特瓶、鐵製筷子、游標尺等等。

研發過程

原冰淇淋製作方法：

將所有材料放入袋子混合

三比一混合冰塊及鹽巴裝入袋子

將裝冰的袋子包住裝材料的袋子

待冰淇淋結凍後即可食用

方法改良：

1. 將原材料減半以節省
2. 改冰冰凍庫四小時
3. 加入打發使之口感蓬鬆
4. 加入冰浴使之穩定

測量硬度的方法：

從冰箱拿出冰淇淋並放置三分鐘

將水瓶置於上方三十公分處

三分鐘一到即立刻放開瓶子

用尺測量冰淇淋凹陷程度

方法改良：

1. 改以鐵筷投擲多次
2. 記錄丟時溫度及深度
3. 推算鐵筷摩擦力並繪製圖表
4. 計算趨勢線與其平均變化率

測量黏度的方法：

待冰淇淋用水瓶測量完凹陷程度

將水瓶輕壓在冰淇淋上約兩秒

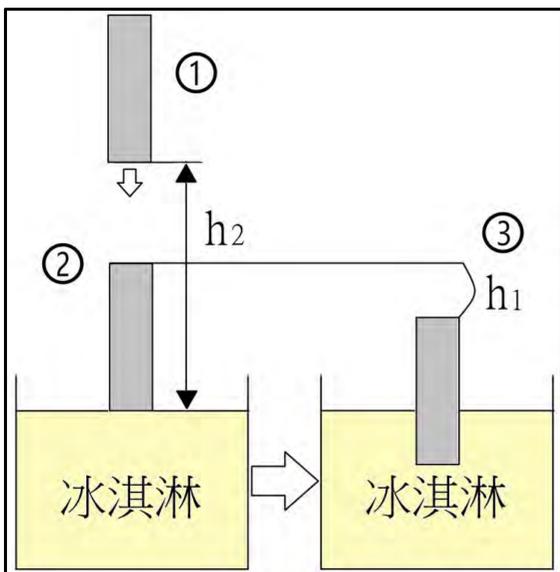
時間一到即迅速往上拿起

測量拉起高度並扣除冰淇淋高度

方法改良：

因誤差甚大而不考慮使用

公式推導及繪圖方法



繪圖方法：

溫度為 X 軸而硬度(摩擦力)為 Y 軸

將實驗得到的結果以點標入

推算最符合的二次趨勢線

標上趨勢線函數公式以客觀分析

硬度(摩擦力)公式推導過程：

$$W = F \times S = E_k + E_p \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_p = mgh$$

$$\textcircled{1} W_{\text{筷}} = E_k + E_p = 0 + E_p = 0 + mgh = mg(h_1 + h_2)$$

$$\textcircled{2} W_{\text{筷}} = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_1$$

$$\textcircled{3} W_{\text{筷}} = W_{\text{摩}} = F_{\text{摩}} \times S = F_{\text{摩}} \times h_1$$

$$\textcircled{4} \text{前三個過程能量皆相同} \Rightarrow mg(h_1 + h_2) = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_1 = F_{\text{摩}} \times h_1$$

$$\Rightarrow mg(h_1 + h_2) = F_{\text{摩}} \times h_1$$

$$F_{\text{摩}} = \frac{mg(h_1 + h_2)}{h_1} = \frac{mgh_1 + mgh_2}{h_1} = mg + \frac{mgh_2}{h_1} = mg \left(1 + \frac{h_2}{h_1} \right) (\text{單位:N})$$

$$\text{實驗中的固定常數得: } F_{\text{摩}} = 0.0085 \times 9.8 \times \left(1 + \frac{0.3}{h_1} \right)$$

平均變化率：

算出如左推算出之二次函數的平均變化率，即算出硬度(摩擦力)在指定溫度間的變化率，其代表冰淇淋軟硬穩定度。

過程推導：

設指定溫度為 a 和 b，代入公式 $\frac{f(b)-f(a)}{b-a}$ 算出之值即為所求，而本實驗溫度訂為攝氏-3及-10度。

最終固定方法

1. 冰淇淋製作方法：

總○牌鮮奶油60g、初○牌煉乳30g、牛奶50g

將牛奶及煉乳均勻混合成牛奶液

將鮮奶油冰浴並以三級速度打發

把打好的鮮奶油倒入牛奶液攪勻

放入冷凍庫冷凍四小時即完成

2. 測量性質(摩擦力)方法：

8.5克鐵筷置於冰淇淋上30公分

測完溫度後放開再測量凹陷深度

重複多次後記錄及標於圖表上

推算趨勢線及其公式並分析

低脂冰淇淋與物理的火花

比較成分

鮮奶油

各牌動物性

植物性

煉乳

飛○牌

初○牌

研發測量性質

黏度

水瓶輕壓抬起

硬度

水瓶砸冰

摩擦力計算

比較市售

冰淇淋

哈○牌

小○牌

霜淇淋

冷凍庫

手擠(現作)

打發鮮奶油

0~30克

無打發

30克(14.4%)

30~90秒

20克(12%)

30~150秒

15克(10.5%)

30~150秒

未來展望

添加乳化劑

官能品評

實驗結果

一、比較不同種類市售冰品軟硬度

操縱變因：

不同種類冰品	小○牌冰淇淋	哈○牌冰淇淋	冷凍庫霜淇淋	手擠霜淇淋
油脂百分比	7.3%	18.5%	7.5%	5.9%

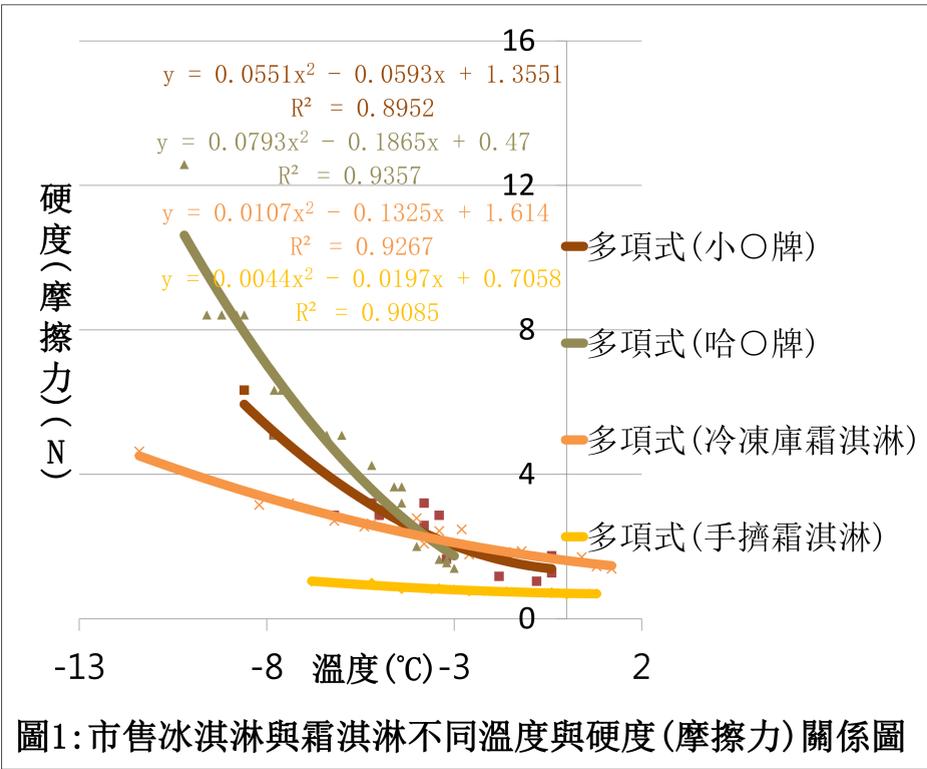


圖1: 市售冰淇淋與霜淇淋不同溫度與硬度(摩擦力)關係圖

二、不打發鮮奶油比較不同質量對冰淇淋軟硬度的影響

操縱變因：

不同克鮮奶油	0g	15g	20g	30g
油脂百分比	4.9%	10.5%	12%	14.4%

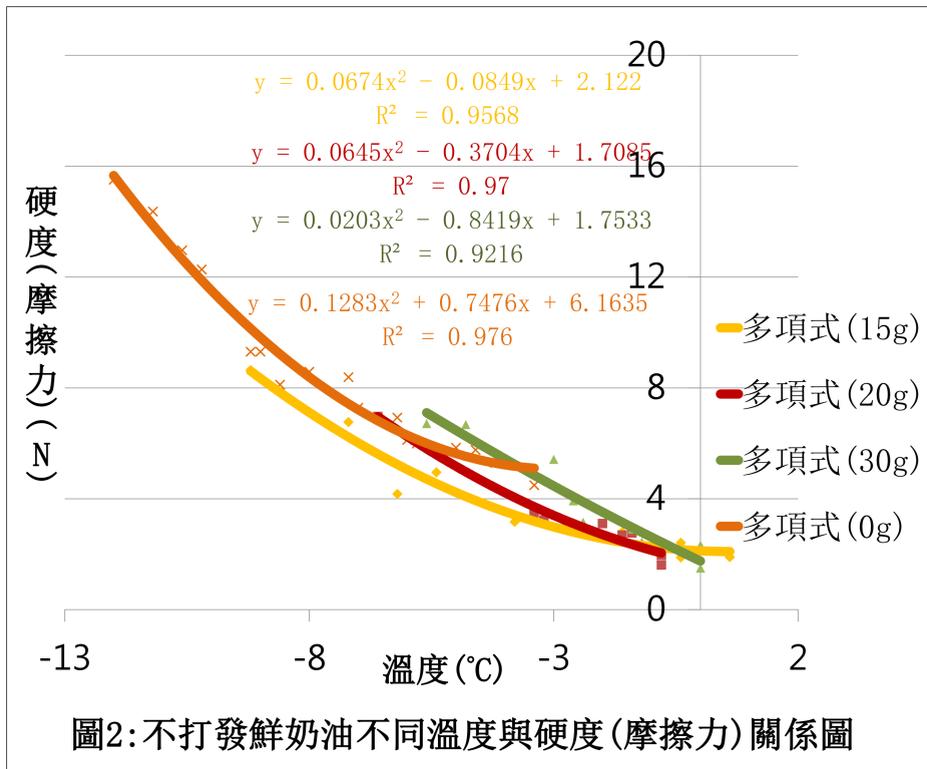


圖2: 不打發鮮奶油不同溫度與硬度(摩擦力)關係圖

三、鮮奶油定量30g(油脂含量:14.4%)，比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響

操縱變因：

打發秒數	30秒	60秒	90秒
------	-----	-----	-----

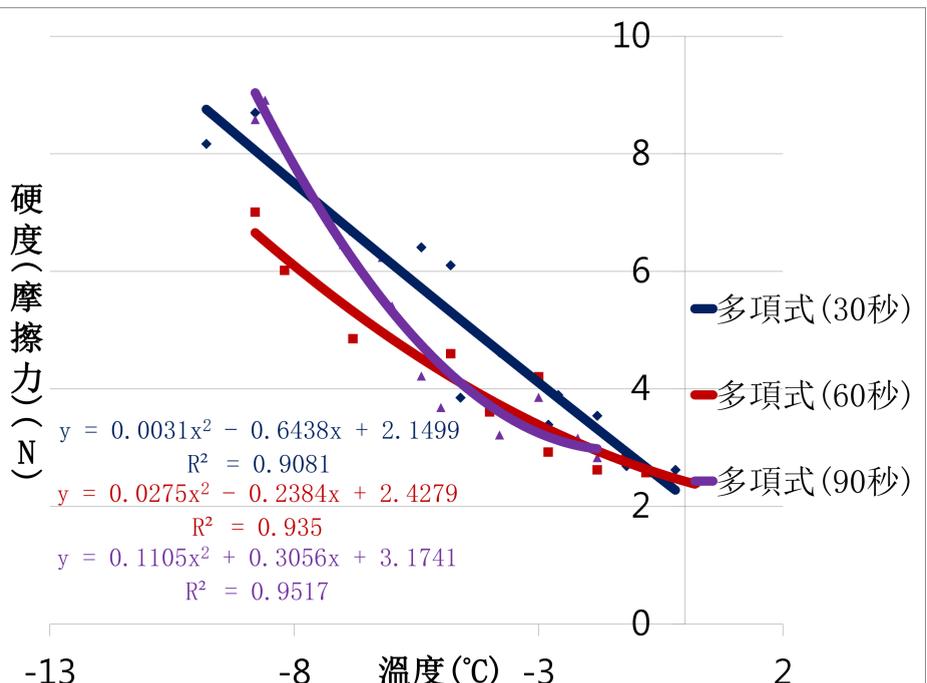


圖3: 30g鮮奶油不同溫度與硬度(摩擦力)關係圖

四、鮮奶油定量20g(油脂含量12%)，比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響

操縱變因：

打發秒數	30秒	60秒	90秒	120秒	150秒
------	-----	-----	-----	------	------

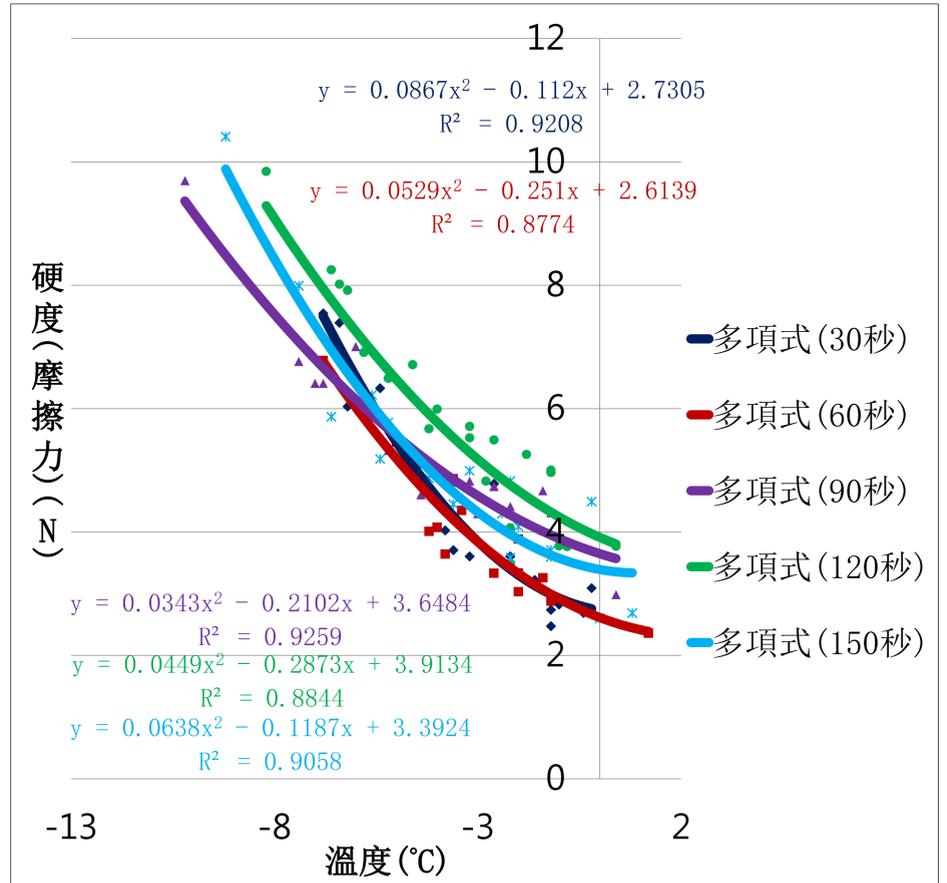


圖4: 20g鮮奶油不同溫度與硬度(摩擦力)關係圖

五、鮮奶油定量15g(油脂含量10.5%)，比較打發不同秒數對冰淇淋軟硬度的影響

操縱變因：

打發秒數	30秒	60秒	90秒	120秒	150秒
------	-----	-----	-----	------	------

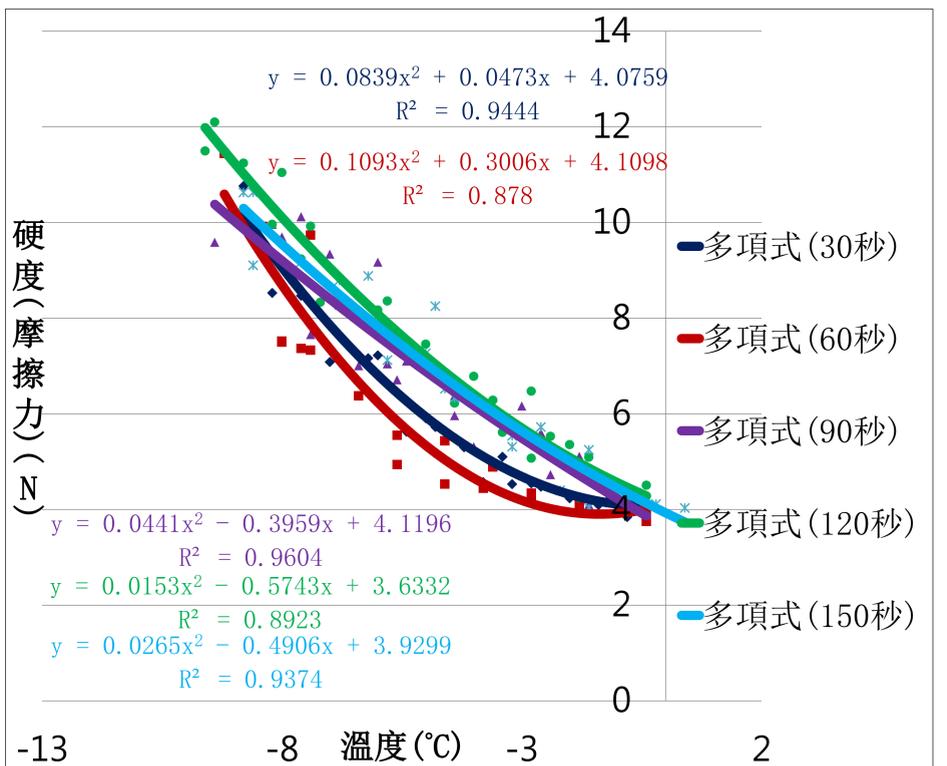


圖5: 15g鮮奶油不同溫度與硬度(摩擦力)關係圖

六、實驗發現

實驗一	硬度(摩擦力)	整體以手擠霜淇淋最軟，哈○牌冰淇淋最硬
	平均變化率	冰淇淋0.7到1.3，霜淇淋皆小於0.3。 冰淇淋與霜淇淋的軟硬趨勢差異明顯
實驗二	硬度(摩擦力)	15克鮮奶油最軟， 未打發的鮮奶油加越多冰淇淋反而越硬
	平均變化率	0.9到1.4之間
實驗三	硬度(摩擦力)	打發60秒較軟，30秒較硬
	平均變化率	0.5到1.2之間
實驗四	硬度(摩擦力)	打發60秒較軟，30秒及打發超過60秒皆較硬。
	平均變化率	0.7到1.1之間
實驗五	硬度(摩擦力)	打發60秒較軟，90秒以上硬度(摩擦力)大致相同
	平均變化率	0.7到1.2之間

討論

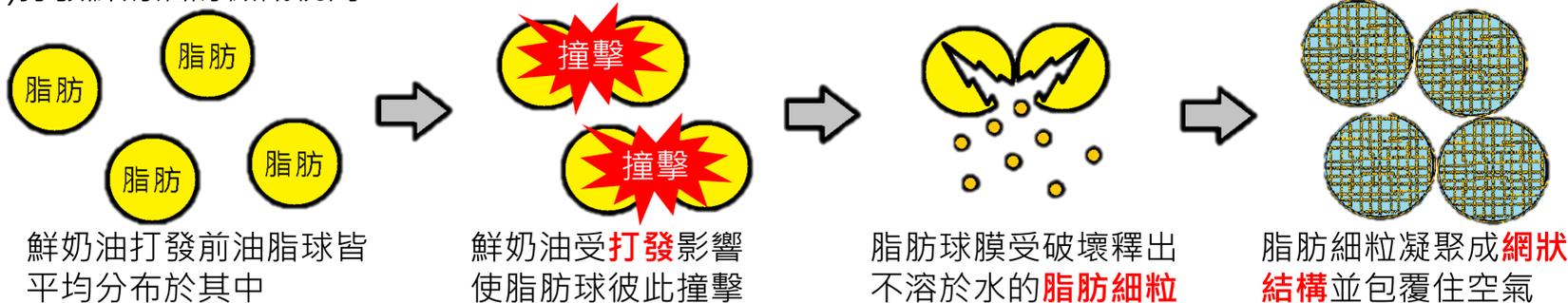
一、材料對冰淇淋的影響



牛奶	冰淇淋基本原料，含豐富 亞麻油酸 及 卵磷脂 等，具乳化功能
鮮奶油	成分與牛奶相似，但 油脂含量 較高，可打發出比牛奶奶泡還緻密的 氣泡
煉乳	加糖及濃縮後使之黏稠、滑口、有甜味，可增添冰淇淋不少風味

二、製作步驟對冰淇淋的影響

(一)打發鮮奶油的微觀視角

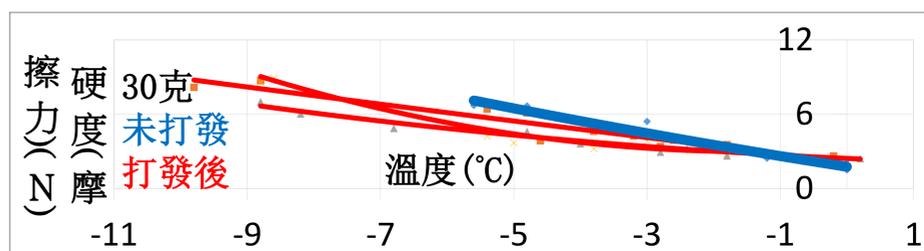
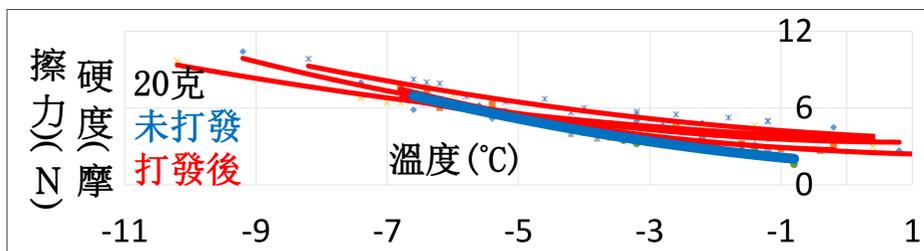
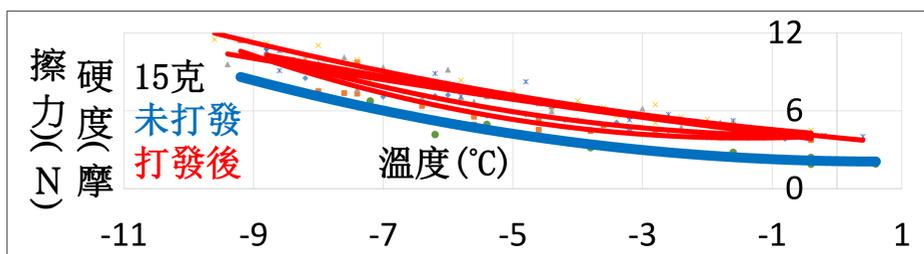
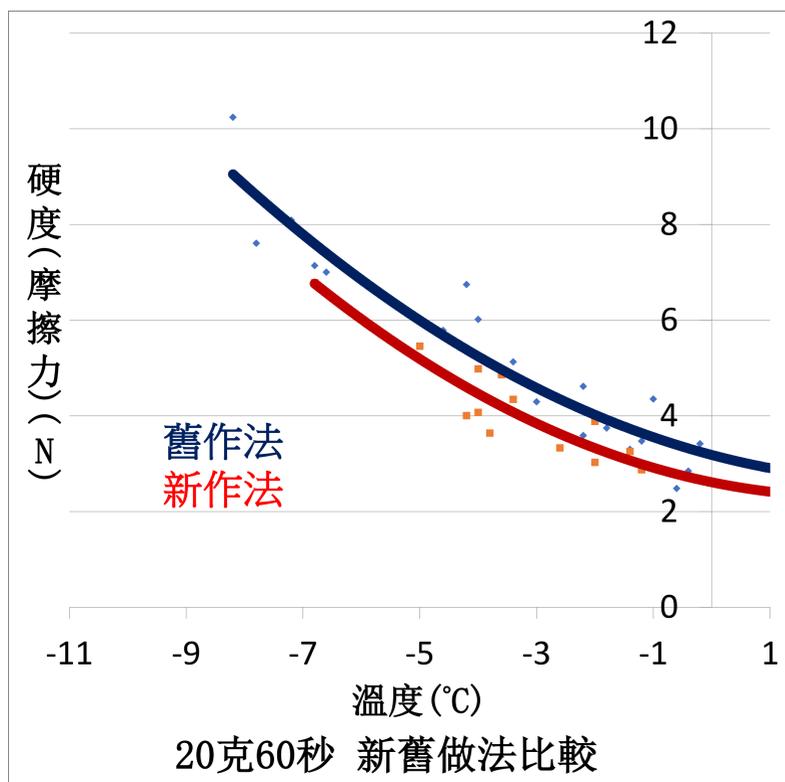


(二)打發鮮奶油及冰浴原因

打發鮮奶油形成氣泡有助於冰淇淋變蓬鬆，但溫度升高易使脂肪網狀結構軟化，故冰浴可使之狀況穩定。

三、實驗發現及文獻探討

實驗一	霜淇淋 各溫的硬度(摩擦力)皆小，其油脂含量不多， 大量添加劑 維持口感。
實驗二	15克的比20克、30克還要軟，推測是 結冰後的油脂較硬 。
實驗四、五	鮮奶油添加方式為 取30克打發再取20克、15克 。曾直接取後打發但效果不佳(左下)。使用此方法發現皆是 60秒最好 。
實驗三到五	15g 打發後變 硬 (右上)； 20g 大致 接近 (右中)； 30g 打發後變 軟 (右下)。推測 網狀結構 與 氣泡 會影響冰淇淋的硬度。



結論

- 使用不同克鮮奶油，使用**先取30克打發，再取指定克數加入冰淇淋**的作法，打發60秒皆使冰淇淋最軟。
- 比起市售冰淇淋，實驗中冰淇淋的軟度略為遜色，但其添加物多，健康方面不及本實驗（見下左圖）。
- 冰淇淋呈**油脂越多，硬度(摩擦力)越小的趨勢**，並能找出**硬度和油脂含量間的對應關係**（見下右圖）。
- 未來發展能夠嘗試在冰淇淋當中添加天然乳化劑，使油與水混和更均勻，改善口感；及進行官能品評。
- 自製**簡易硬度計**，使用時於-4°C，筷子置於冰品上方30公分處丟下，比對吸管刻度，即能得知想自製同樣硬度的冰淇淋時需**添加多少鮮奶油及其油脂含量**。

