

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

第三名

082910

冰雪淇緣

學校名稱：臺中市私立華盛頓國民小學

作者：	指導老師：
小五 郭書帆	黃久倫
小五 周榆庭	梁元菁
小六 薛欣晏	
小六 李瑄芮	
小六 林宸葳	
小五 葉宸妤	

關鍵詞：冰淇淋、冰晶、奧斯瓦德熟化

摘要

為什麼未食用完畢的冰淇淋再回冰，質地會變硬呢？先分析市售冰淇淋的主要原料，並探討主要原料中，何種成份是影響冰晶形成的主要原因？

我們利用**自製儀器**分析市面上的冰淇淋回溫再結凍後的質地，制定出分析冰淇淋硬度與濃稠度的標準。結果發現，抑制冰晶產生的主要成份是糖、乳脂及空氣，且凝結核越多，越容易生成冰晶。結果發現**動植物性混合的鮮奶油或是單醣、雙醣混合**製作出的冰淇淋，抑制冰晶效果最好。將空氣拌入冰淇淋溶液則以**2分鐘**最好，這樣可以使冰淇淋體積最膨鬆，產生的冰淇淋冰晶最少。

最後將研究出來的最佳成份比例，自製鮮奶冰淇淋，並與市售冰淇淋做官能品評比較，證明此研究的冰淇淋配方，的確在復冰後擁有最佳口感。

壹、研究動機

在炎熱高溫的夏天，最期待是媽媽從超市買回一大桶的冰淇淋，讓我們一次吃得過癮。但是我們根本無法一口氣全部吃完，一大桶的冰淇淋總是要分好幾次才能吃完。鬆軟的冰淇淋也隨著回溫的次數，越冰越硬口感變差。為了瞭解是何種原因導致以上情況，我們詢問師長及上網搜尋一些資訊，**瞭解到「冰晶」是冰淇淋嚐起來有硬度的主因**，它支撐了冰淇淋的固性，讓口感更加美味。無論是剉冰或是冰淇淋都會有冰晶，差異在於冰晶的顆粒大小。保持「小冰晶」是對於想做出綿密口感冰淇淋，很重要的一個因素。於是我們從冰淇淋的做法、配方及形成冰晶的原理，希望藉由科學的方法，探討影響冰淇淋變硬的原因。

貳、研究目的

- 一、檢測冰淇淋質地的標準
- 二、比較市售冰淇淋回冰後凝結冰晶的大小
- 三、探討冰晶的形成條件
- 四、探討構成冰淇淋的成分對質地的影響
- 五、驗證彭巴效應對冰淇淋質地的影響
- 六、最佳的冰淇淋比例

參、研究設備與器材

一、實驗所需儀器、材料：

我們的實驗所使用的設備有：冰箱、電磁爐、食物攪拌棒、電子天秤、溫控器等設備。

圖 1 實驗設備材料 (由第二作者拍製)

				
食物攪拌棒	測速器	電子天秤	計時器	牛奶
				
動物性鮮奶油	植物性鮮奶油	葡萄糖	砂糖	糖粉

二、自製冰淇淋的標準流程

(1) 配方：我們參考網路上最容易成功的冰淇淋食譜，考量其材料的單純化。

設計了簡易配方：牛奶 200 克、鮮奶油、糖、色膏(方便觀察)

(2) 操作步驟：

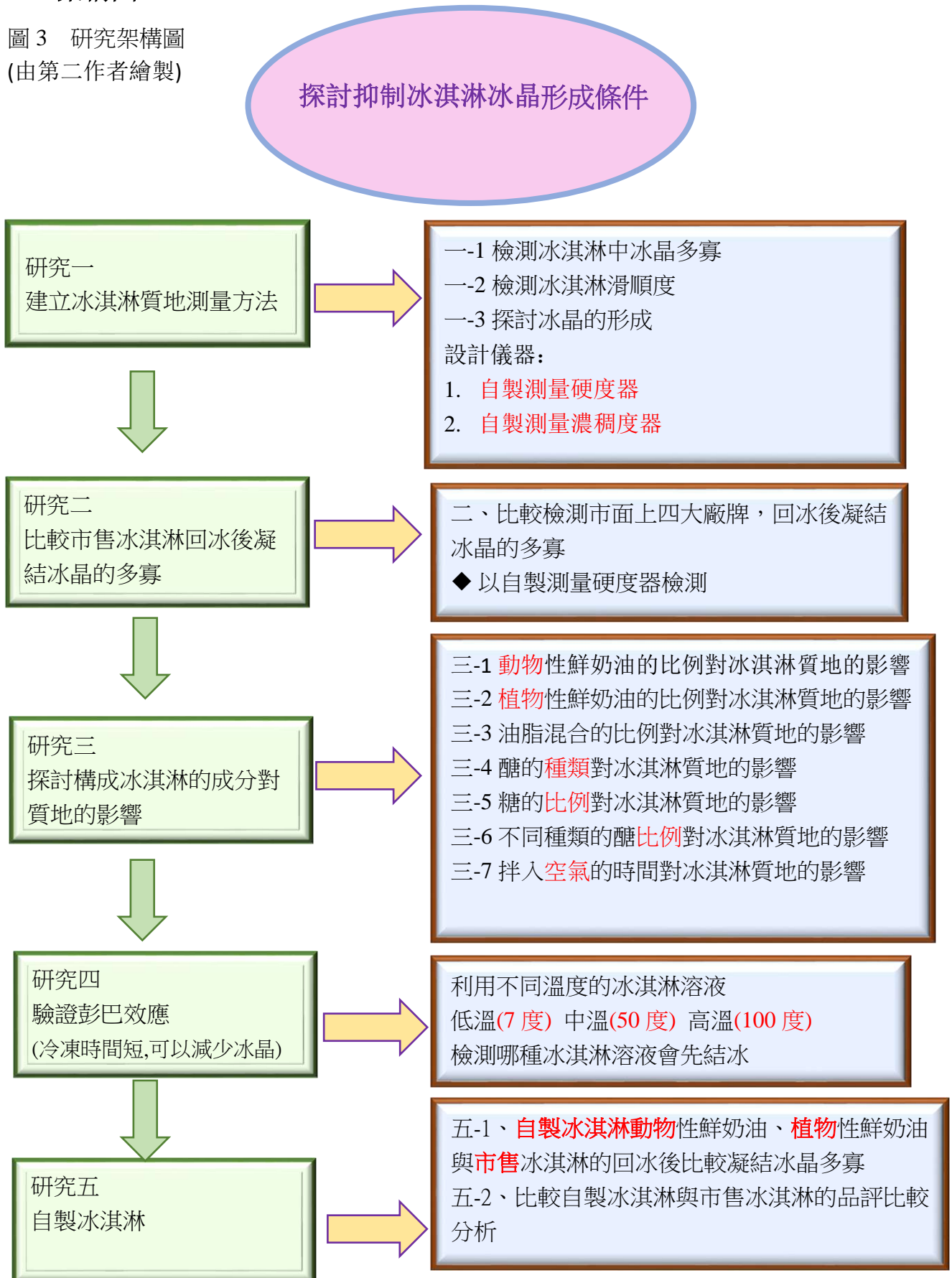
圖 2 自製冰淇淋標準流程 (由第二作者繪製)

			
步驟一： 鮮奶、鮮奶油、糖	步驟二： 用攪拌機打入空氣	步驟三： 記錄膨脹高度	步驟四： 平分成 3 份

肆、研究過程或方法

一、架構圖

圖 3 研究架構圖
(由第二作者繪製)



二、文獻探討

(一)冰淇淋的做法及成份分析

1.冰淇淋種類

冰淇淋是由冰晶、乳脂、糖、空氣和其他固體所組成的混合物。冰淇淋的種類有很多種，而這是取決於冰淇淋的成分及脂肪含量。大致上可以分為 4 大類，首先從台灣人最熟悉的美式冰淇淋開始說起，美式冰淇淋的原文，就是我們所熟知的「Ice Cream」，由牛奶、奶油、甜味劑和蛋黃等原料製成。第二種是義式冰淇淋 Gelato 起源於義大利，由奶油、糖漿等原料製成，口味大多使用水果搭配牛奶、奶油、糖漿等原料製成。第三，雪酪是由果泥或果汁（如：檸檬汁）和甜味劑所組成。美式冰淇淋、義式冰淇淋及含乳的水果冰淇淋，都有添加乳製品，而雪酪沒有，雪酪嚐起來比較類似冰沙的口感。最後一種為 Sherbet 沒有正式的中文翻譯，但因為 Sorbet 及 Sherbet 很類似，故有時會統稱兩者為「雪酪」。Sherbet 的基底也是果泥或果汁及甜味劑所製成，但是 Sherbet 會再添加奶製品，因此口感上會更像冰淇淋，所以我們也可以稱 Sherbet 為「含乳的水果冰淇淋」。

2.製作冰淇淋的主要原料分析

表 1 冰淇淋的主要原料分析(由第三作者整理)

水份	水份形成冰晶，冰晶大小影響冰淇淋的顆粒感強弱。所以冰晶要儘可能的小，冰淇淋的口感才能滑順。	
乳脂	脂肪通常來自牛奶，包括奶油、黃油等奶製品。乳脂含量愈高，風味醇厚、絲滑，冰淇淋口感愈柔軟。	
乳化劑	可以使用雞蛋中的蛋黃，可讓奶油中的乳脂溶解在水中形成濃稠膠體狀態，使脂肪均勻分佈在冰淇淋溶液中，讓冰淇淋的口感更滑順。食品製造業一般會用聚山梨醇酯 80，可用鮮奶油取代。	
糖	糖的種類可以包括：蔗糖、蜂蜜、糖漿等。糖的主要作用是負責甜，在負責甜的同時，糖也負責讓冰淇淋有型。糖能改善冰淇淋的質地，降低它的凝固點，讓冰淇淋不會輕易凍成冰塊。	圖 4 冰淇淋成份組合圖 (由第六作者繪製) 
空氣	空氣越多，膨脹率越高，冰淇淋口感就會越柔潤、鬆軟。	

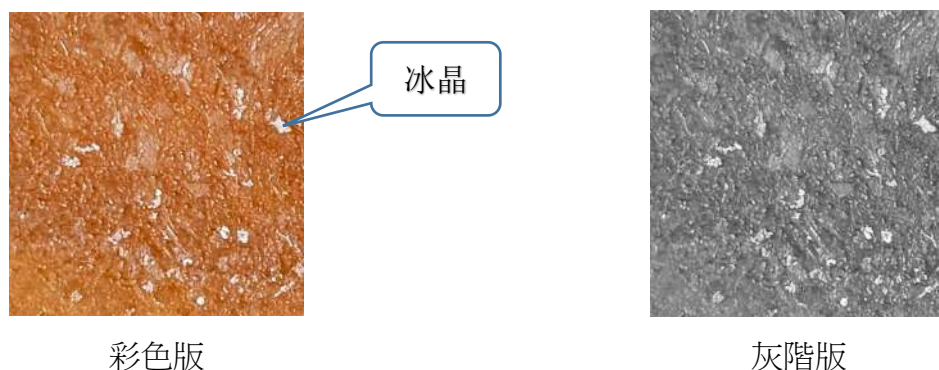
3.市面上冰淇淋製作原理

表 2 冰淇淋製作過程說明(由第五作者整理)

製作過程：滅菌→濃稠化→老化→凝凍→硬化	
滅菌	將奶、糖、乳化劑、香料、色素等原料進行混合，巴氏滅菌（低溫長時滅菌或高溫短時滅菌）。殺菌後又迅速冷卻，儘可能降低對冰淇淋營養成分和風味的影響。
濃稠化	脂肪會被霧化成直徑小於千分之一毫米的小液滴，在乳化劑的包裹下，均勻地散布於水中。
熟成	讓水和脂肪後所有的物質都結合一起了，彼此之間的鍵結也會更為穩固。
凝凍	使用攪拌機高速攪拌，冰淇淋溶液與空氣混合，冰淇淋溶液容納各種小氣泡，空氣就是這時進入，將冰淇淋溶液打造柔軟蓬鬆質地。
硬化	冰淇淋在-10℃~-12℃之間冷凍成型的效果最佳

資料來源：自行整理。

圖 5 微觀的巧克力冰淇淋(由第一指導老師拍攝)



彩色版

灰階版

4.歷屆科展中相關研究主題的搜尋與分析：

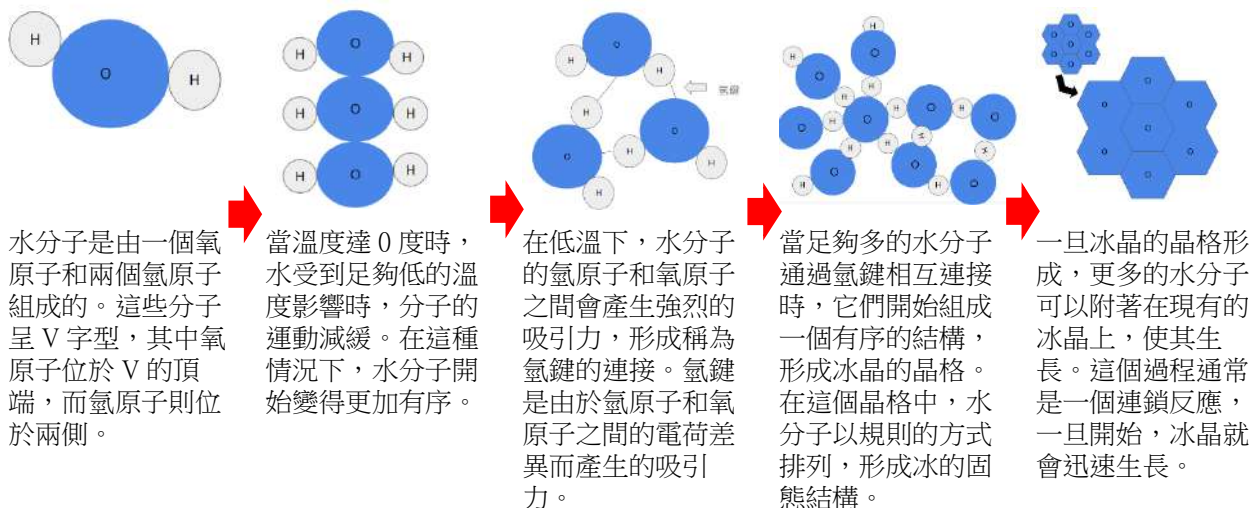
表 3 分析歷屆科展研究(由第四作者整理)

屆別	題目	研究焦點	本研究運用
全國科展 59 屆	冰清欲結－探討不同條件溶液結冰時溶質匯聚現象	先結冰的地方會推擠溶質到後結冰的地方，以中間為最後結冰的地方。	檢驗冰淇淋硬度時，以容器中間位置，為檢測點。
全國科展 59 屆	低脂冰淇淋與物理火花	利用測量溫度及對應之硬度，將冰淇淋的特性量化，推導出冰淇淋函數。	本研究的硬度，參考該研究摩擦力，驗證冰淇淋成份與鬆軟程度影響
全國科展 52 屆	姆佩巴效應 (彭巴效應 Mpemba effect)	姆佩巴效應是在製造冰淇淋時發現的現象，驗證是否熱水先結冰。	本研究要抑制冰淇淋冰晶形成，須要迅速降低溫度，才能降低冰晶形成。

在歷屆科展報告中，對於冰淇淋的製作相關的主題很少，我們主要在研究如何自製出不容易因為回冰而產生冰晶的冰淇淋。

5.冰晶形成的原理介紹

圖 6 冰晶形成原理解說 (由第五作者整理)



三、研究方法

研究一、建立冰淇淋質地測量方法

實驗一-1、檢測冰淇淋中冰晶多寡

(一)設計測量硬度器

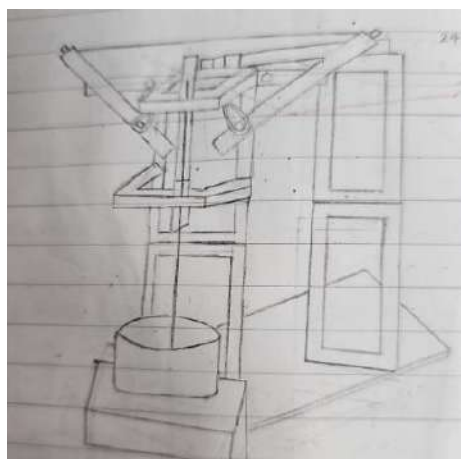
我們從文獻分析瞭解到，冰淇淋的鬆軟與冰晶的形成大小有很大的關係。為了能準確測量冰晶的形成與冰淇淋質地影響，我們設計了測量冰淇淋冰晶多寡的儀器。

(二)設計原理

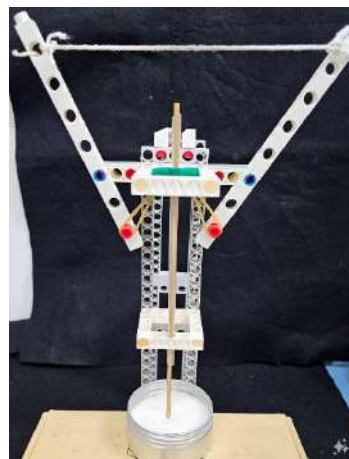
我們做過橡皮筋動力車，知道可以用橡皮筋的彈力轉換成物品移動的力量。為了控制每一次的施力力道，我們固定了竹籤放下高度（10.5 公分）和彈射目標位置。為了校正每次的力道，我們會使用鹽巴做為校正橡皮筋彈力的檢測物。利用積木組裝，以橡皮筋的彈力，放開竹籤，用尺測量竹籤陷入冰淇淋的深度。當竹籤插入冰淇淋深度數值愈小，代表冰晶產生的愈多。冰晶愈多也代表冰淇淋的口感偏硬，所以好吃的冰淇淋口感應該是鬆軟，竹籤可以輕易插入，且深度愈深。

1.第一代

圖 7 第一代自製測量硬度器 (由第二作者繪製)



自製測量硬度器—設計圖



第一代自製測量硬度器—實際圖

(三)操作步驟

- 1.每次使用新的橡皮筋，利用橡皮筋的彈力，將竹籤往上拉至固定高度 10.5 公分後放開，檢測記錄竹籤陷入冰淇淋的深度。
- 2.第一次實驗，會以鹽巴做待測物，檢測儀器是否精確。測量及推算出該儀器的空白背景數據。取 5 次平均值。

實驗一-2、檢測冰淇淋溶液濃稠度

(一)設計測量濃稠度的機器

冰淇淋要好吃取決於口感要滑順，因此我們設計能測量質地濃稠度的機器，檢測冰淇淋的濃稠度與冰淇淋的產生的冰晶是否有關？

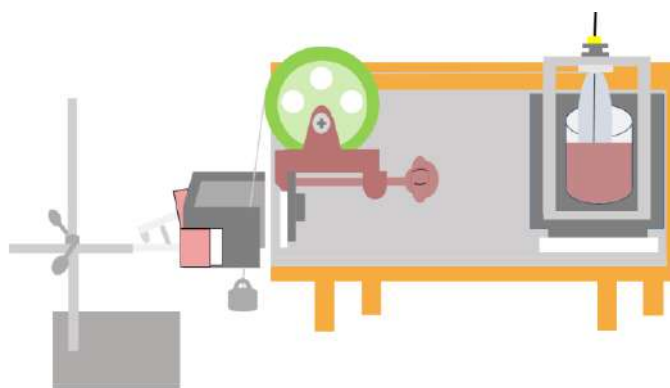
(二)設計原理

利用積木進行組裝，以綁著砝碼的釣魚線施予動力轉動攪拌棒，冰淇淋溶液的濃稠度會產生阻力，發現砝碼在垂直移動距離固定的情況下，待測溶液愈濃稠，砝碼從固定原點移動所需的時間越長。並使用測速機測量砝碼掉落的速度，當速度越慢，數值越小，代表愈濃稠。

圖 8 自製測量硬度器 (由第一作者繪製)



(1)自製測量濃稠度儀器設計圖



(2)自製測量濃稠儀器示意圖

(三)操作步驟

- 1.將打發完成的待測樣品（冰淇淋溶液），置入待測容器中，固定待測物高度。
- 2.置入自製測量濃稠度儀器，將攪拌棒放入待測樣品內，利用 20 克砝碼的重量轉成向下的力量，測量記錄砝碼通過測速器的數值。
- 3.第一次實驗，先以水做待測物，測量及推算出該儀器的空白背景數據。取 5 次平均值。

實驗一-3、探討冰晶的形成

(一)研究原因

冰淇淋的鬆軟與冰晶形成有關，在冰淇淋的製作過程中，核化點是指開始形成冰晶的位置。當液體冷卻到適當的溫度，過飽和度增加，就有足夠的核化點來使冰晶開始。這些冰晶會在核化點處生長，最終形成整個冰淇淋的結構。核化點的數量和位置可以影響冰淇淋的質地和口感。文獻資料顯示冰晶核的形成多寡影響冰淇淋的硬度。

(二)操作步驟

- 1.以黑色塑膠粒模擬冰晶核，每 2 小時，取出測量未凝結的水量。
- 2.取塑膠顆粒 0 克、5 克、10 克、15 克四組，每組三重覆取平均值。
- 3.測量不同重量凝結核，形成冰晶的步驟

圖 9 凝結核實驗步驟 (由第一作者整理)

			
步驟一：將濾網放在燒杯上，倒出盒子裡的東西，水會流到燒杯裡，塑膠粒會掉到濾網上，冰會留在盒子裡。	步驟二：將水倒進量筒裡。	步驟三：看水到量筒的刻度，就是尚未結冰的水。	步驟四：把水和塑膠粒倒回盒子裡。

研究二、比較市售冰淇淋回冰後凝結冰晶的多寡

(一)研究原因

我們先取市面上四種大品牌冰淇淋，再將四種品牌反覆退冰再放置冷凍庫冷凍，比較冰淇淋硬化程度，代表冰淇淋冰晶產生多寡。

(二)操作步驟

- 1.取四種市售品牌，設為 A 牌、B 牌、C 牌、D 牌。使用自製測量硬度器，測量四個品牌硬度，之後放入冷凍庫冰凍。
- 2.連續實驗五天，每組實驗皆取三重覆取平均值。

研究三、探討構成冰淇淋的成分對質地的影響

實驗三-1、動物性鮮奶油的不同重量對冰淇淋質地的影響

(一)研究原因

脂肪是冰淇淋的必須原料，它可以讓冰淇淋更柔軟，口味更濃、更滑，並給予冰淇淋更豐富的質感，實驗二得知各品牌的冰淇淋的鬆軟與乳脂的比例有關，於是我們探討不同比例(0%、10%、15%、20%)的動物性鮮奶油對冰淇淋的質地影響。

(二)操作步驟

- 1.自製冰淇淋的材料比例為 25 克糖、不同重量動物性鮮奶油、200 克鮮奶，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。
- 2.將自製冰淇淋的動物性鮮奶油依比例改變為 0 克、25 克、50 克、75 克，其它材料比例不變，打發所有材料 2 分鐘，測量每一組冰淇淋溶液的濃稠度，冷凍 24 小時。
- 3.連續測量五天冰淇淋變硬程度，每組三重覆取平均值。

實驗三-2、植物性鮮奶油的不同重量對冰淇淋質地的影響

(一) 研究原因

實驗二發現市售很多品牌都是用植物性鮮奶油，植物性鮮奶油屬於不飽和脂肪，是否對於打發冰淇淋溶液會產生不同的影響呢？於是我們探討不同比例(0%、10%、15%、20%)的植物性鮮奶油對冰淇淋的質地影響。

(二)操作步驟

- 1.自製冰淇淋的比例為 25 克糖、不同重量植物性鮮奶油、200 克鮮奶，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。
- 2.將自製冰淇淋的植物性鮮奶油依比例改變為 0 克、25 克、50 克、75 克，其它材料比例不變，打發所有材料 2 分鐘，測量每一組冰淇淋溶液的濃稠度，冷凍 24 小時。
- 3.連續測量五天冰淇淋變硬程度，每組三重覆取平均值。

實驗三-3、油脂混合的比例對冰淇淋質地的影響

(一) 研究原因

動物性鮮奶油和植物性鮮奶油各有優缺點，如果混合起來使用會不會對冰晶抑制效果更顯著呢？

(二)操作步驟

- 1.自製冰淇淋的比例為 25 克糖、200 克鮮奶、不同比例的動、植物性鮮奶油，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。
- 2.將自製冰淇淋的動、植物性鮮奶油依比例改變為 0:75 克、25:50 克、50:25 克、75:0 克，其它材料比例不變，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。
- 3.連續測量五天冰淇淋變硬程度，每組三重覆取平均值。

實驗三-4、糖的種類對冰淇淋質地的影響

(一) 研究原因

從奧斯瓦德熟化現象瞭解，冰淇淋的水會重新組合，也就是原本較小的冰晶會溶解沉積到較大的冰晶上，因此當再結晶時，形成的冰晶就要大許多。我們想了解不同種類的糖是否會產生不同大小的冰晶，進而影響冰淇淋的質地。

(二)操作步驟

- 1.將單糖(葡萄糖)、雙糖(砂糖)、多糖(糖粉)配製成相同濃度，檢測三種糖的甜度。
- 2.自製冰淇淋的比例為 25 克糖、75 克動物性鮮奶油、200 克鮮奶，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。
- 3.將自製冰淇淋糖的種類改變為單糖(葡萄糖)、雙糖(砂糖)、多糖(糖粉)，其它材料比例不變，打發所有材料 2 分鐘，測量每一組冰淇淋溶液的濃稠度，冷凍 24 小時。
- 4.連續測量五天冰淇淋變硬程度，每組三重覆取平均值。

實驗三-5、糖的比例對冰淇淋質地的影響

(一)研究原因

糖對製作冰淇淋極為重要，因為它在提供甜度的同時不會結冰，可以使原物料具有抗結

凍能力，讓冰淇淋在較低溫度依然保持軟滑感。那添加越多的糖是否能相對增加冰淇淋的抗結凍能力呢？我們將利用不同比例的糖，進行抗結凍能力的比較。

(二)操作步驟

1.自製冰淇淋的不同重量的砂糖、75 克動物性鮮奶油、200 克鮮奶，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。

2.將自製冰淇淋的糖重量改變為 0 克、25 克、50 克、75 克，其它材料比例不變，打發所有材料 2 分鐘，測量每一組冰淇淋溶液的濃稠度，冷凍 24 小時。

3.連續測量五天冰淇淋變硬程度，每組三重覆取平均值。

實驗三-6、不同種類糖混合的比例對冰淇淋質地的影響

(一)研究原因

我們觀察到市面上的冰淇淋配方很少用單一種糖類，是否混合不同糖類後，會對冰晶抑制效果更顯著呢？

(二)操作步驟

1.自製冰淇淋的比例為 75 克動物性鮮奶油、200 克鮮奶、不同比例的各種糖，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。

2.將自製冰淇淋的單糖、雙糖、多糖依比例，改變為 0：75 克、25:50 克、50:25 克、75:0 克，其它材料比例不變，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。

3.連續測量五天冰淇淋變硬程度，每組三重覆取平均值。

實驗三-7、拌入空氣的時間對冰淇淋質地的影響

(一)研究原因

冰淇淋製程中，拌入空氣越多，越蓬鬆。我們利用機器控制拌入力道，使用最高速進行攪拌，測量記錄不同時間對冰淇淋體積膨脹高度，並觀察拌入空氣時間對冰淇淋質地的影響。

(二)操作步驟

- 1.將冰淇淋所有原料攪拌均勻。
- 2.利用攪拌器控制攪拌力道，分別攪拌 0、1、2、3 分鐘。
- 3.測量體積膨脹的高度後放入冷凍。
- 4.連續測量五天冰淇淋變硬程度，每組三重覆取平均值。

研究四、驗證彭巴效應

(一)研究原因

文獻得知 1963 年艾拉斯托·彭巴在學校烹飪課製作冰淇淋時，原本應要依老師指示將牛奶加糖煮滾，在室溫放涼後才倒入模具，再冰進冷凍庫。然而，烹飪教室冰箱的冷凍庫空間有限，彭巴擔心自己搶不到為數不多的模具和冷凍空間，只好冒著把冰箱弄壞的風險，直接把熱牛奶送進冷凍庫，約 1 個半小時後打開冰箱，赫然發現，他用熱牛奶做的冰淇淋，比他同學用冰牛奶做的冰淇淋還快凝固，這種反常現象被稱作「彭巴效應」(Mpemba effect)。我們想知道彭巴效應的效果，因此我們將冰淇淋原料分別加熱至 100°C、50°C 以及降溫至 7°C，放置冷凍，測量凝固效果的差異。

(二)操作步驟

- 1.自製冰淇淋的比例為 25 克糖、50 克動物性鮮奶油、200 克鮮奶，所有材料不打發。
- 2.分別加熱至 100℃、50℃以及降溫至 7℃，再放置冷凍。
- 3.隔 2 小時取出觀察凝固狀態，並測量其硬度。

研究五、自製冰淇淋

實驗五-1、比較自製冰淇淋與市面冰淇淋的質地

(一)研究原因

我們用以上的研究，使用各原料抑制冰晶的**最佳比例**，做出冰淇淋後觀察在冷凍過程中是否真的有較少冰晶產生，能維持冰淇淋鬆軟。並與市售冰淇淋比較回冰的硬度。

(二)操作步驟

- 1.自製**動物性**冰淇淋的比例為 50 克糖、75 克動物性鮮奶油、200 克鮮奶，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。
- 2.自製**植物性**冰淇淋的比例為 50 克糖、50 克植物性鮮奶油、200 克鮮奶，打發所有材料 2 分鐘，冷凍 24 小時。
- 3.比較市售及自製冰淇淋的連續五天的硬度。

實驗五-2、自製冰淇淋與市售冰淇淋的官能品評

(一)研究原因

我們以自製冰淇淋及市售冰淇淋讓 35 位六年級以盲測的方式受測，並填寫問卷表示口感及喜好程度。

(二)操作步驟

- 1.將自製冰淇淋及市售冰淇淋，連續二天取出再回冰。
- 2.在第三天時同時取出，請學生，試吃兩種冰淇淋，比較口感及喜好程度。
- 3.請學生填寫問卷，分析比較結果。

表 4 冰淇淋官能品評問卷 (由第五作者整理)

1.冰淇淋口感

質感表現	鬆軟 ← 口感 → 偏硬				
	1	2	3	4	5
A 牌 冰淇淋					
B 牌 冰淇淋					

2.冰淇淋喜好

喜好程度	不喜歡 ← 喜歡程度 → 喜歡				
	1	2	3	4	5
A 牌 冰淇淋					
B 牌 冰淇淋					

伍、研究結果

研究一、建立冰淇淋質地測量方法

實驗一-1、檢測冰淇淋中冰晶多寡

(一)實驗結果

1.第一代

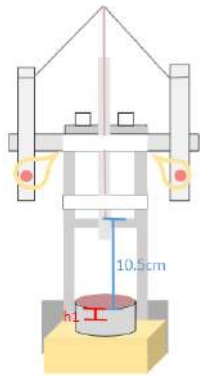
原理：利用橡皮筋彈力

缺點：利用竹籤當測量冰淇淋軟硬度的測量器，但是竹籤往下時，會產生偏移。

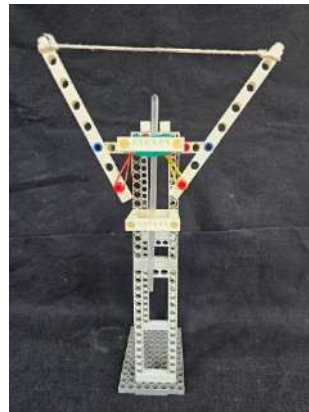
改良方法：加入粗吸管，讓竹籤可以直直落在待測物上。

2.第二代

圖 10 第二代自製測量硬度器 (由第二作者繪製拍攝)



第二代自製測量硬度器－示意圖



第二代自製測量硬度器－實際圖

(二)研究結果討論：

1.第一代自製測量硬度器，在竹籤插入冰淇淋時，有時會歪斜，於是我們用加入吸管，套入竹籤，讓竹籤可以精準的落入中心位置。

2.原本規劃將待測物區分為四區塊，擔心冰淇淋會因不同位置，產生不同軟硬情形，所以檢測四個區塊的硬度，但是四個區域的差異性不大，故將中心點，設定為檢測點。

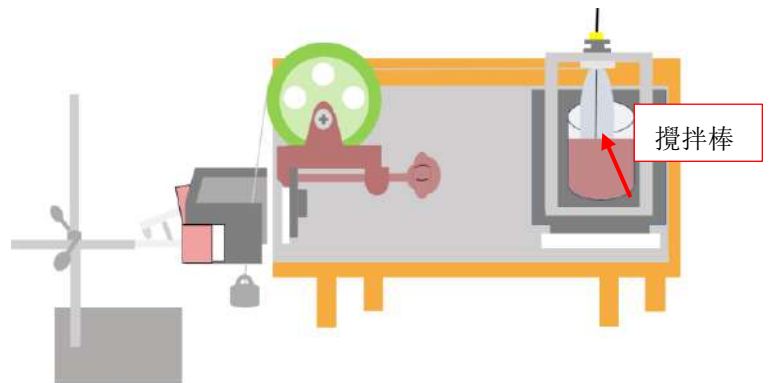
實驗一-2、冰淇淋溶液濃稠度

(一)實驗數據

圖 11 自製測量濃稠度儀器解說圖 (由第一作者繪製、第四作者拍攝)



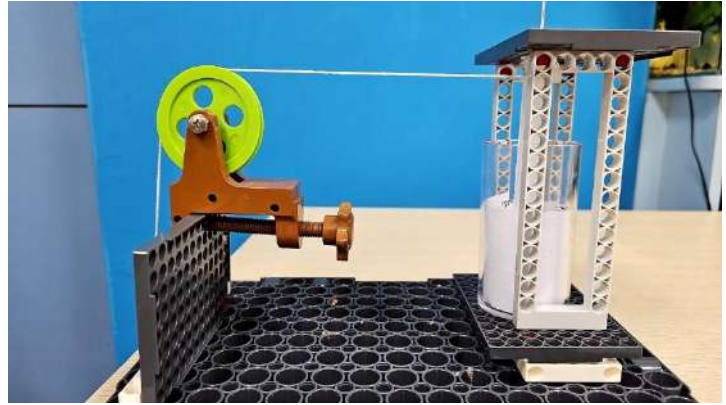
(1)自製測量濃稠度儀器設計圖



(2)自製測量濃稠儀器示意圖



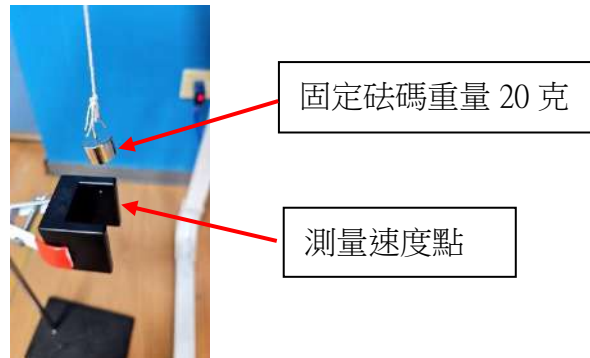
(3) 自製測量濃稠度儀器實際圖



(4) 攪拌棒放入待測物



(5) 固定砝碼掉落距離



(6) 砝碼通過測速機

表 5 儀器校正數據(由第一、二作者整理)

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
速度(cm/s)	177.6	177.4	179.9	176.8	178.1	177.96

(二)研究結果討論：

每次測量時，均先以水做待測物做儀器校正，結果發現自製濃稠器準確度良好。

實驗一-3、探討冰晶的形成

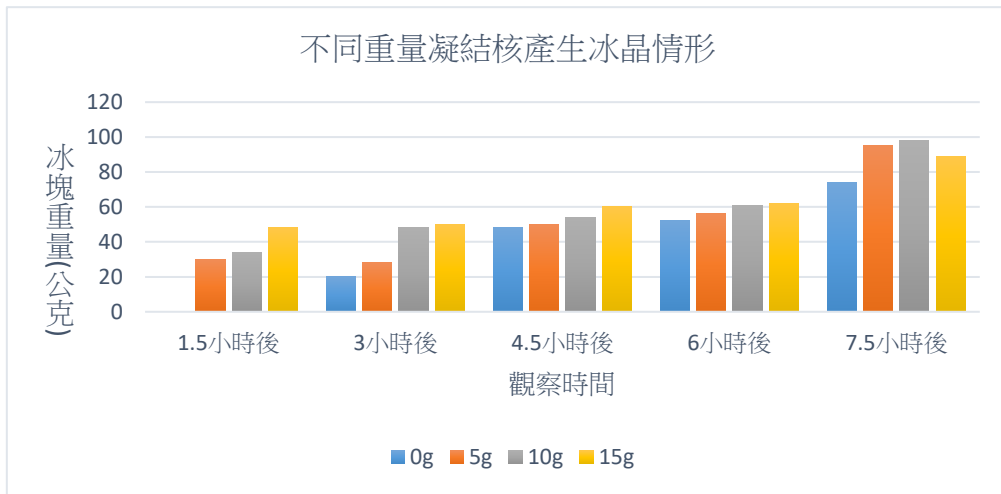
(一)實驗數據

1.不同重量凝結核產生冰晶情形

表 6 觀察不同重量凝結核產生冰晶情形 (由第三、四、五作者整理)

測量時間 凝結核重量	1.5 小時後	3 小時後	4.5 小時後	6 小時後	7.5 小時後
0g	0	20	48	52	74
5g	30	28	50	56	95
10g	34	48	54	61	98
15g	48	50	60	62	89

圖 12 不同重量凝結核產生冰晶情形 (由第一作者整理)

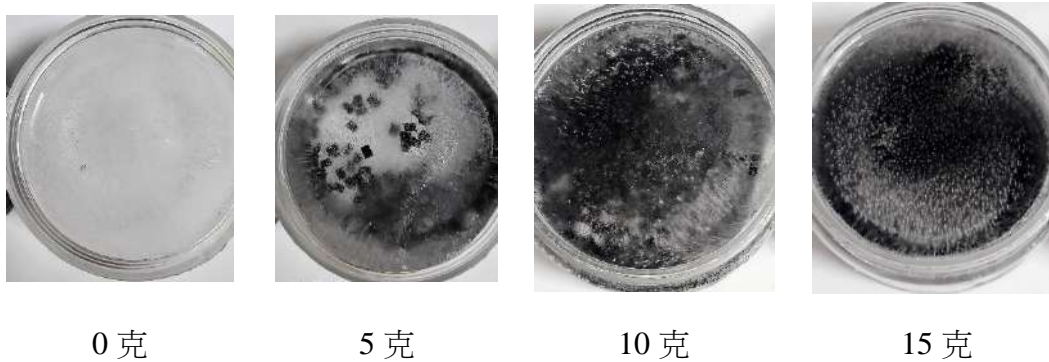


2.觀察凝結時四個不同重量的凝結核，所產生的不同冰晶。

3.觀察 0 克凝結核在冷凍 1.5 小時後，並無任何結冰，其他有凝結核組都開始有結冰現象。一開始凝結核數量愈多愈快結冰，且形成冰晶較多。

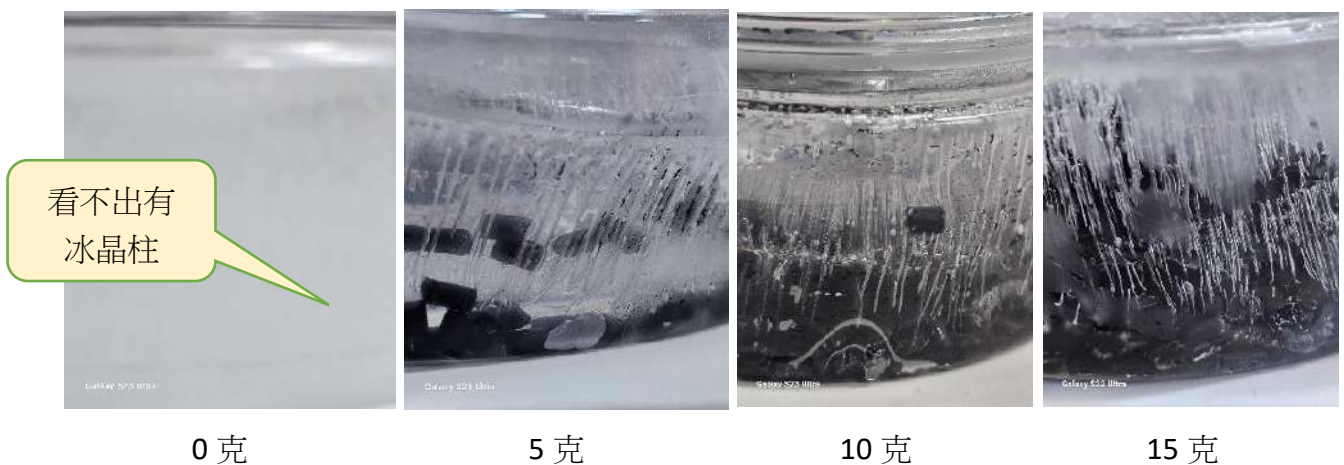
(1)不同重量凝結冰晶情形

圖 13 不同重量凝結冰晶正面圖 (由第一指導老師拍攝)



(2)不同重量凝結冰晶側面照

圖 14 不同重量凝結冰晶側面圖 (由第一指導老師拍攝)



(二)研究結果討論

1.由圖 13、圖 14 看出，有黑色塑膠顆粒的冰，形成細長的冰晶，**隨著黑色塑膠粒愈多產生更密集的長條型冰晶柱。**

2.奧斯瓦德熟化（Ostwald ripening）現象，原本較小的冰晶也會溶解沉積到較大的冰晶上，因此再結晶時，形成的冰晶就要大許多。

圖 15 不同重量的凝結核，形成冰晶的情形(由第一指導老師拍攝)



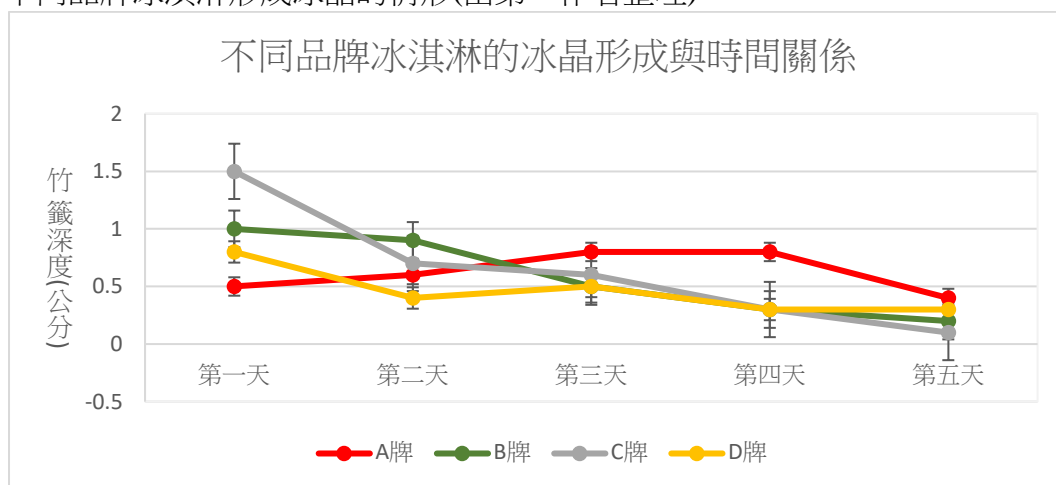
3.圖 15 也看出，完全沒有黑色塑膠顆粒 0 克組，凝結的冰晶最少也最慢結成冰晶。

4.由實驗證明，**有凝結核較易生成冰晶**，故以下實驗皆採**純鮮奶油冰淇淋為基礎材料**。

研究二、比較市售冰淇淋回冰後凝結冰晶的多寡

(一)實驗數據

圖 16 不同品牌冰淇淋形成冰晶的情形(由第一作者整理)



(二)研究結果討論

1.根據比較市售冰淇淋成份，使用自製硬度測量器，發現所有冰淇淋在第四天開始，都因為冰晶的逐漸變多而變硬，所測得的竹籤深度數值都變小。

2.比較這些市售冰淇淋後，得知這四種品牌：

(1)第一天鬆軟度：C 牌 > B 牌 > D 牌 > A 牌。

(2)第二天鬆軟度：B 牌 > C 牌 > A 牌 > D 牌。

(3)第三~五天鬆軟度：A 牌 > B 牌 > D 牌 > C 牌。

(4)發現**單純材料**的 D 牌，冰淇淋質地相較都是偏硬的。

表 7 比較各品牌冰淇淋質地(由第五作者整理)

觀察天數 品牌	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	*總計
A 牌	*	**	****	****	****	15
B 牌	***	****	**	**	**	15
C 牌	****	**	**	**	*	13
D 牌	**	**	*	**	**	11

註：每天測量後，依最鬆軟的品牌第一名為****，*愈多，代表愈鬆軟。

3.根據材料分析得知：

表 8 市售冰淇淋成分(由第三、四作者整理)

品牌 成分	糖分 (%)	蛋白質 (%)	脂肪 (%)	糖類	奶類、粉類	乳化劑
A 牌	25.20%	3.60%	11.80%	麥芽糖 砂糖 果糖	脫脂奶粉 玉米澱粉 乳清粉	脂肪酸甘油酯 聚山梨醇酐脂肪 酸八十
B 牌	18.60%	2.20%	8.40%	麥芽糖 砂糖	脫脂奶粉 煉乳	脂肪酸甘油酯 聚山梨醇酐脂肪 酸八十
C 牌	17.10%	3.30%	10.80%	蔗糖 麥芽糖 葡萄糖	奶粉	脂肪酸甘油酯
D 牌	24.70%	4.90%	21%	糖	鮮奶油 濃縮脫脂乳	蛋黃

- (1)A 牌的冰淇淋抑制冰晶效果最好，在觀察的五天中，第三天後依舊是冰晶最少的一組。研究成份後發現採用的糖成份不只一種，糖類有麥芽糖、砂糖、果糖和葡萄糖，所以讓我們想到雖然是糖類也有分單醣（葡萄糖、果糖）和雙醣（麥芽糖、砂糖），到底是哪種糖的抑制冰晶效果最好呢？
- (2)D 牌因為是高價位的冰淇淋，所以冰淇淋的成份很單純，沒有加任何添加物。觀察冰淇淋成份組成，蛋白質及脂肪比例相對其他品牌都來得高。D 牌因為沒有添加物（濃稠劑），所以我們採用 D 牌的主要原料來研究。
- (3)根據以上發現，我們想知道除了添加劑外，冰淇淋主要成份，糖份、蛋白質及脂肪，哪一種可以抑制冰晶產生呢？

研究三、探討構成冰淇淋的成分對質地的影響

實驗三-1、動物性鮮奶油不同重量對冰淇淋質地的影響

(一) 實驗數據

圖 17 不同比例的動物性鮮奶油打發情形(由第四作者拍攝)

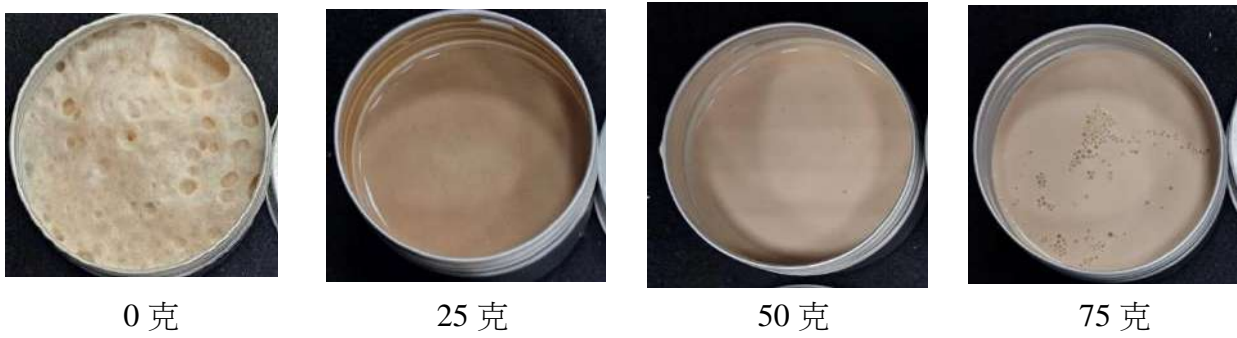


圖 18 不同重量動物性鮮奶油與拌入空氣時間之膨脹變化(由第二作者整理)

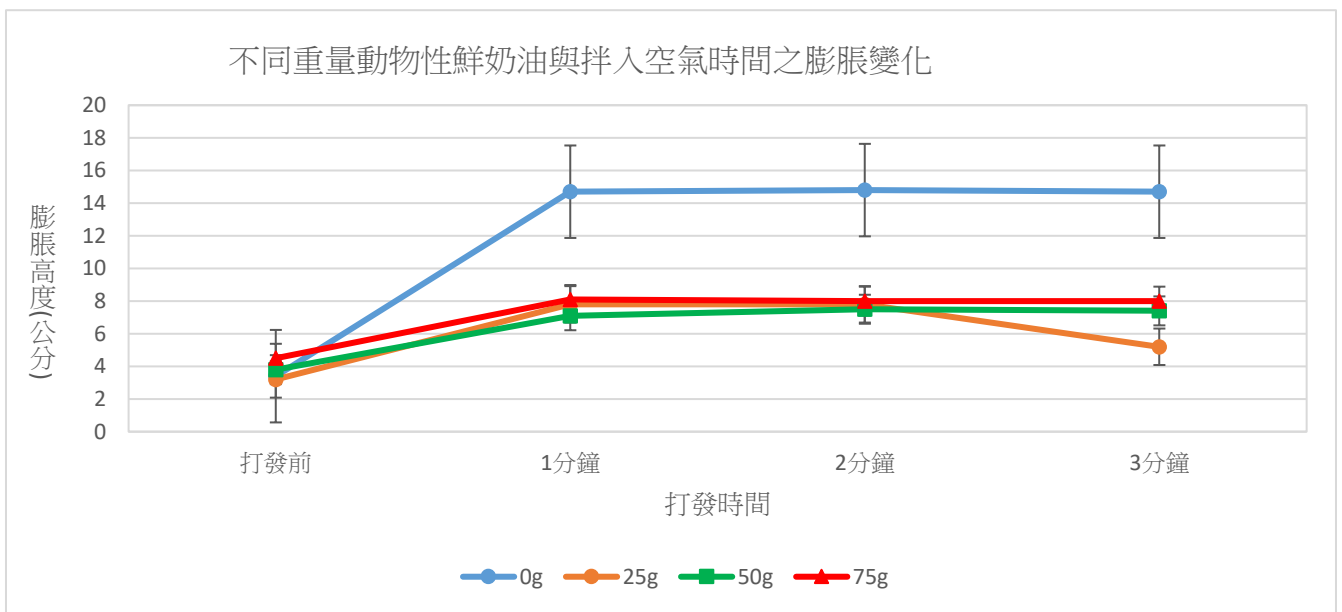


圖 19 不同重量的動物性鮮奶油形成冰晶的情形(由第四作者整理)

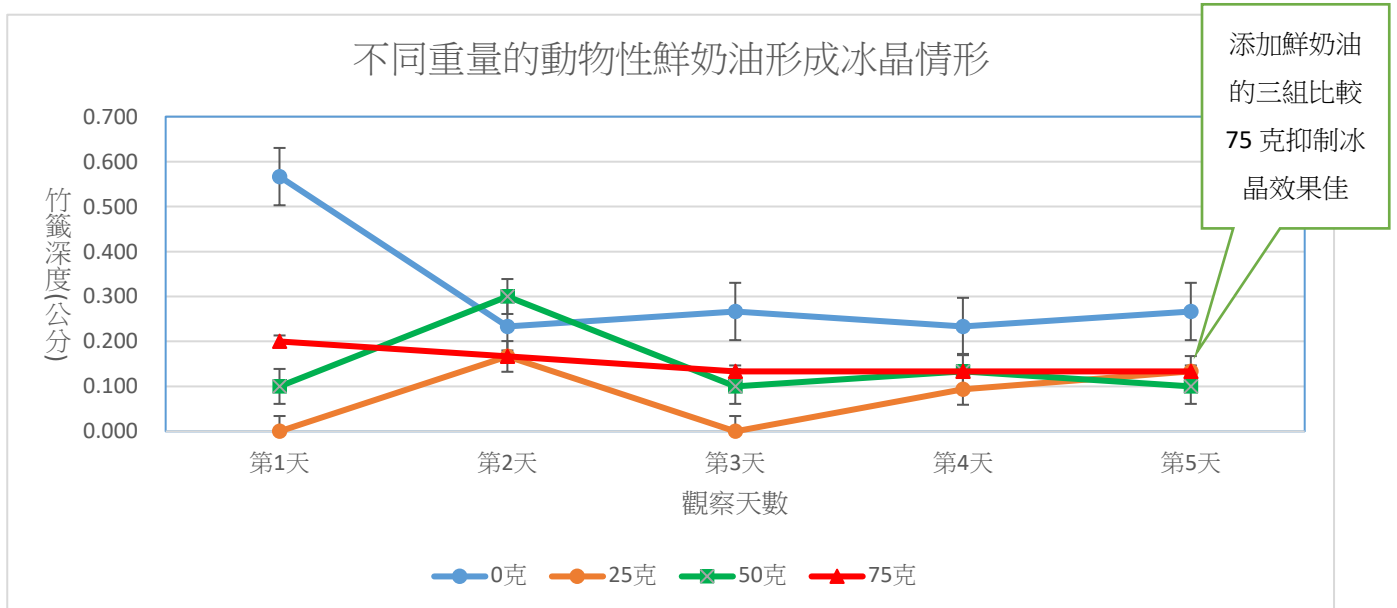
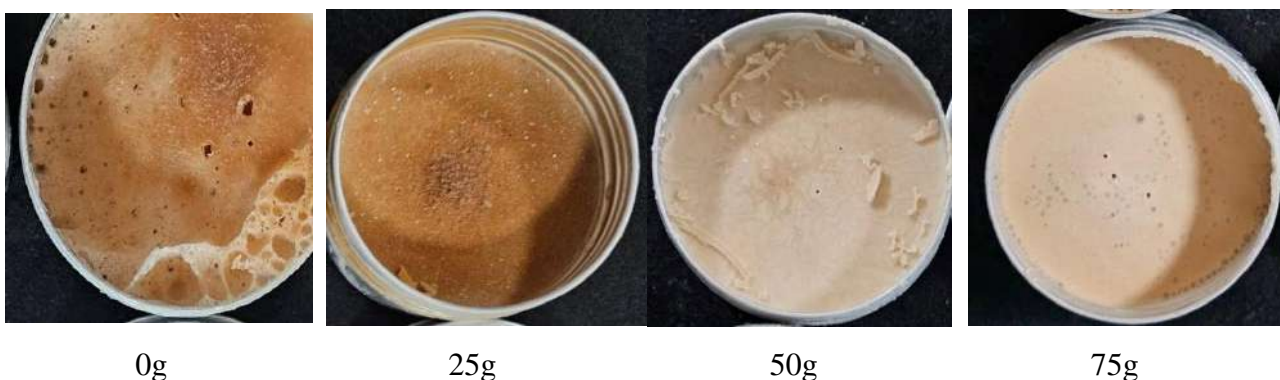


圖 20 冷凍三天後，不同比例的鮮奶油結晶情形(由第四作者拍攝)



(二)研究結果討論

1.剛打發的不同重量動物性鮮奶油，實驗發現 0 克的動物性鮮奶油組，所產生的泡沫比其它組來的多，但是泡沫是呈現粗大孔洞，其它組則隨著鮮奶油愈多，泡沫多。

2.不同比例鮮奶油與拌入空氣時間之膨脹變化，實驗結果發現未添加動物性鮮奶油的膨脹最多。

3.我們發現動物性鮮奶油打發時，在一分鐘後開始膨脹，並推持膨脹高度，到第三分鐘時開始往下。

4.這個實驗發現，有加動物性鮮奶油的冰淇淋比例愈少，回溫再冰時，冰晶產生較多，以 25 克產生最多。其他組有添加動物性鮮奶油重量中，以 75 克抑制冰晶效果最好。

5.我們發現沒加動物性鮮奶油的冰淇淋，產生的冰晶比有加動物性鮮奶油的冰淇淋少。為什麼會這樣呢？是動物性鮮奶油的成份嗎？如果用植物性鮮奶油也是一樣的情況嗎？

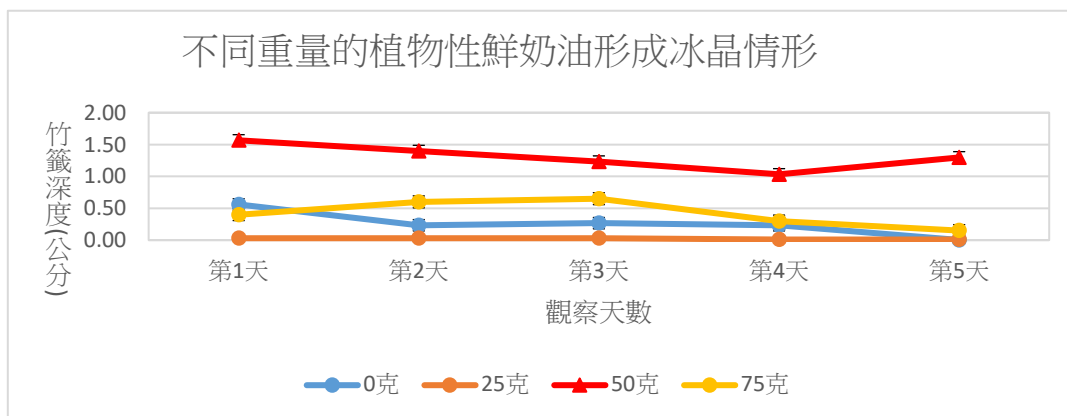
6.鮮奶中含有定量的蛋白質，而蛋白質在打發（拌入空氣的時間）的過程中可以形成泡沫，從而增加冰淇淋的體積。如果鮮奶中的蛋白質含量足夠高，可以在打發時產生足夠的泡沫，使冰淇淋具有蓬鬆感。打發需要技巧且打發時間一定要足夠。

7.動物性鮮奶油通常含有較高比例的飽和脂肪酸，這些脂肪酸更容易形成穩定的泡沫，從而產生更多的蓬鬆感。所以本實驗中動物性鮮奶油的比例愈高，冰淇淋質地會愈膨鬆。

實驗三-2、植物性鮮奶油不同重量對冰淇淋質地的影響

(一)實驗數據

圖 21 不同重量的植物性鮮奶油對冰晶形成影響關係(由第一作者整理)



(二)研究結果討論

1.實驗結果發現，植物性鮮奶油的比例是加入 50 克(15%)最好，跟動物性鮮奶油不一樣，冰晶的產生也比完全都不加植物性鮮奶油的冰淇淋來得少，代表植物性鮮奶油的最好比例是 15%，可以抑制最多冰晶生成，使回溫後再冰的冰淇淋口感依舊保持鬆軟。

2.為什麼植物性鮮奶油不能加太多呢?是什麼原因導致呢?

3.植物性鮮奶油通常含有高比例的不飽和脂肪，不飽和脂肪酸較動物性鮮奶油中的飽和脂肪酸不穩定，特別是在攪拌時容易油水分離或失去穩定性。因此，添加過多的植物性鮮奶油更可能會導致冰淇淋溶液的成份結構不穩定。

實驗三-3、油脂混合的比例對冰淇淋質地的影響

(一)實驗數據

圖 22 混合油脂對冰晶形成影響關係(由第一作者整理)

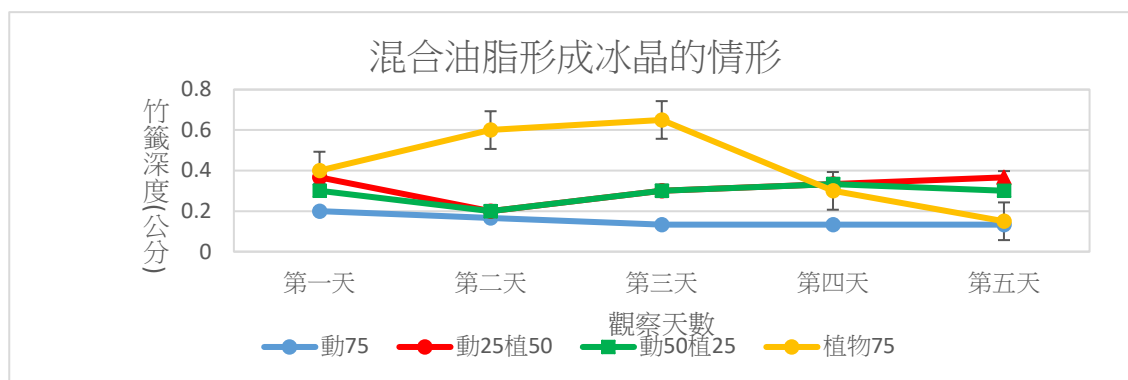
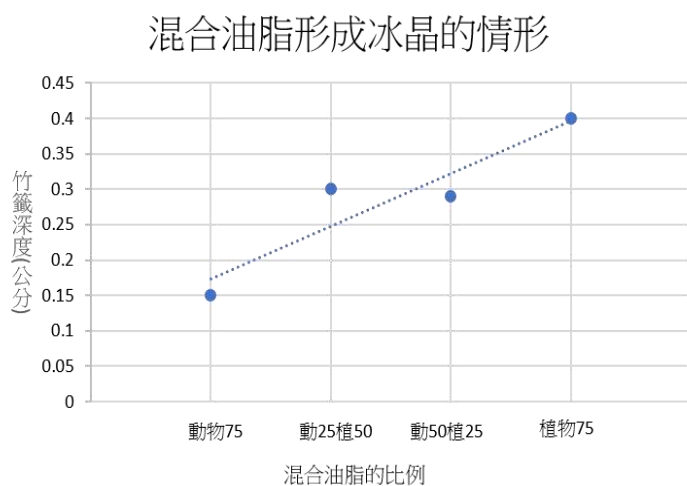


圖 23 混合油脂對冰晶形成情形的線性關係(由第一作者整理)



實驗三-4、醣的種類對冰淇淋質地的影響

(一) 實驗數據

1. 檢測不同種類的醣甜度：

表 9 不同種類的醣甜度紀錄表

品項	單醣	雙醣	多醣
甜度 (°Bx)	14	16	13

圖 24 混合油脂對冰晶形成影響關係(由第一作者整理)



單醣 雙醣 多醣

使用糖度計，將不同種類的糖，配製成 10% 的糖水，再滴入糖度計看度數。

不同種類糖度溶解狀況，多醣的溶液呈現白色混濁，單醣和雙糖則呈現透明狀。

圖 25 不同種類的醣冰淇淋冷凍一天後的形成冰晶情形



單醣

雙醣

多醣

圖 26 不同種類的醣形成冰晶關係 (本圖由第三作者製作)

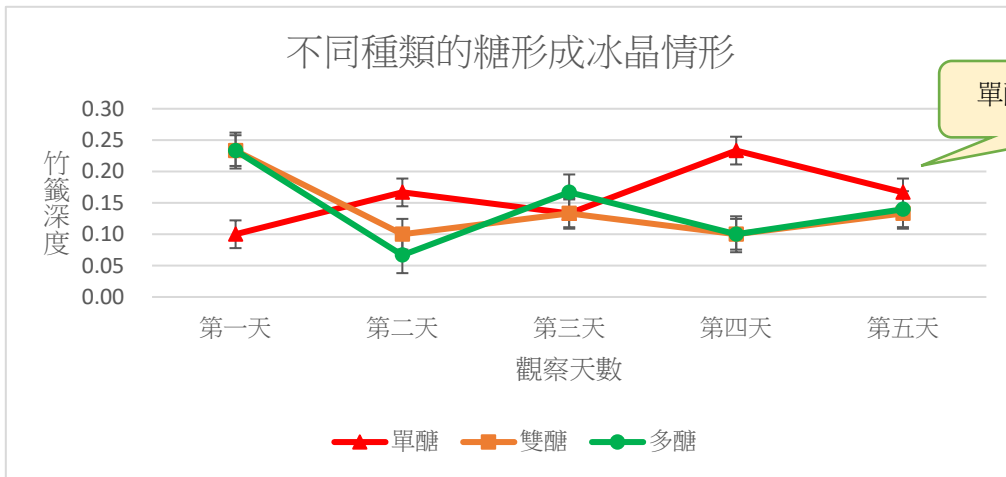


圖 27 不同醣的濃稠度 (本圖由第四作者製作)

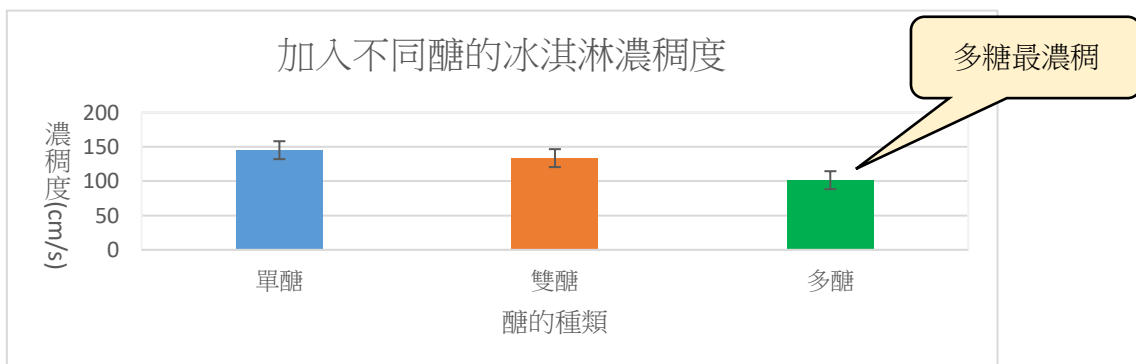
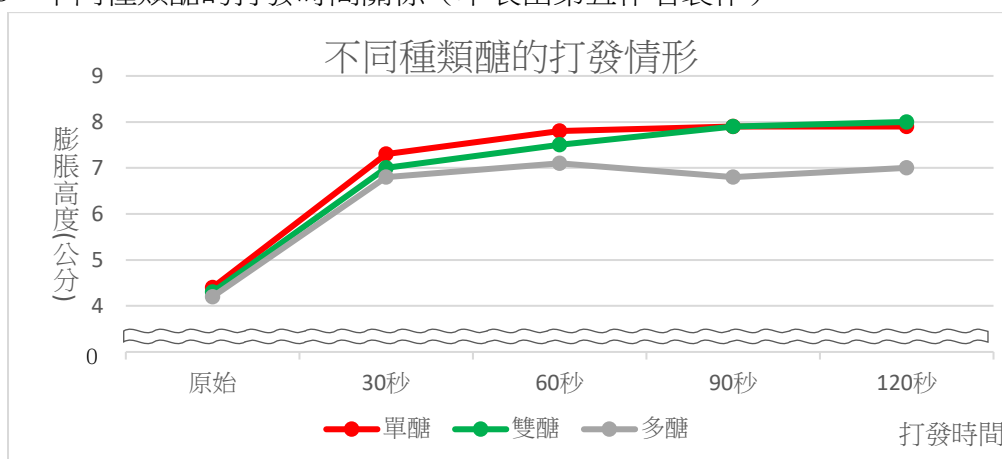


圖 28 不同種類糖的打發時間關係 (本表由第五作者製作)



(二) 研究結果討論

1. 實驗觀察發現，雙糖與多糖的形成冰晶情形大致相同，三組中單糖的冰晶產生最少。
2. 濃稠度：多糖 > 雙糖 > 單糖。
3. 在打發過程中，發現雙糖膨脹高度是最高的。但是打發一段時間後，單糖和雙糖在膨脹結構是一樣穩定的，多糖卻沒有。
4. 這三組的糖所形成的冰晶皆不相同，是糖的什麼成份影響冰晶的形成呢？
5. 查閱資料後，得知單糖（葡萄糖）是由一個單一的碳水化合物分子組成，所以在水中溶解性較高，因此易於在冰淇淋中溶解，有助於均勻地分佈在冰淇淋中。單糖的成份可以降低冰淇淋的凍點也就是抑制冰晶產生，有助於增加冰淇淋的軟度和口感。雙糖（蔗糖）是由兩個單糖分子通過鍵結而成的，在口感來上具有比單糖更溫和的甜味，並且可以為冰淇淋提供特殊的風味。多糖（糖粉）是由多個單糖分子通過鍵結而成的大分子化合物，在冰淇淋溶液中的溶解度較低，較難以均勻溶解。此外，多糖也可能在冰淇淋中形成濃稠的結構，影響冰淇淋的質地和口感。
6. 選擇使用單糖還是雙糖取決於所需的效果以及個人口味偏好。市面上的品牌，在冰淇淋製作中，通常會使用混合多種類型的糖來達到理想的口感、甜度和抑制冰晶的程度。

實驗三-5、糖的比例對冰淇淋質地的影響

(一) 實驗數據

圖 29 不同重量的糖對冰晶形成影響關係 (本圖由第一作者製作)

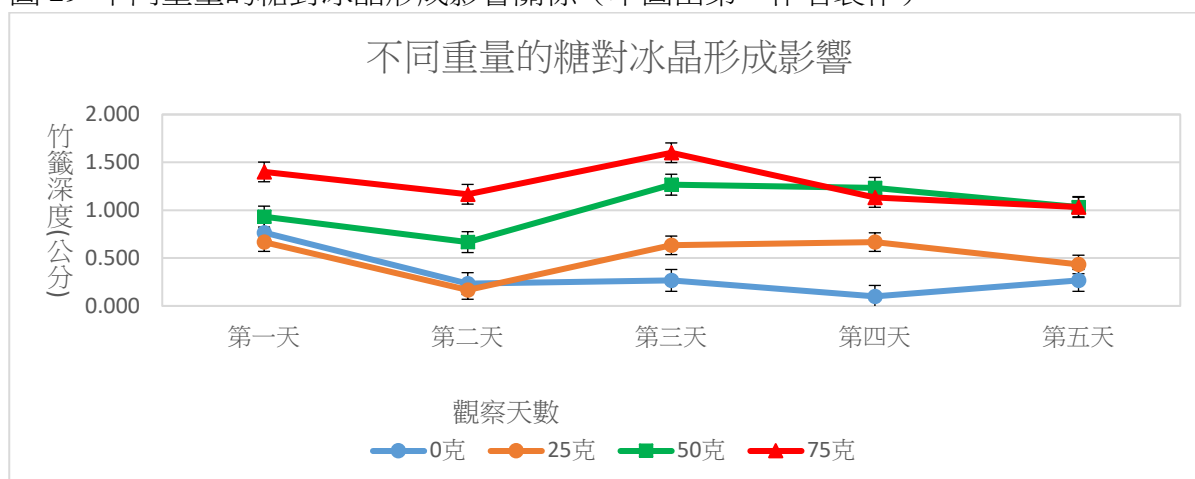
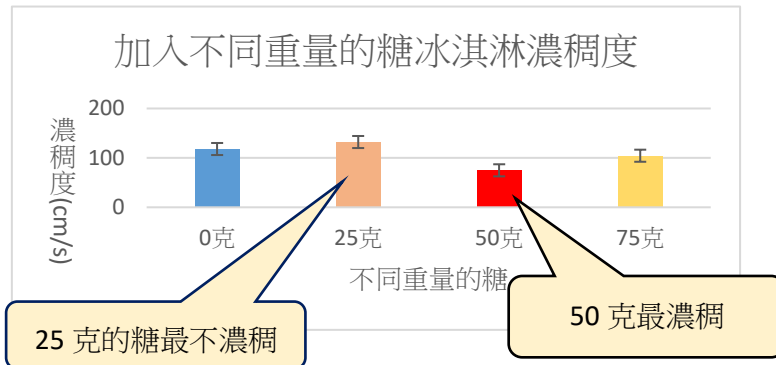


圖 30 加入不同重量的糖冰淇淋溶液濃稠度（本圖由第一作者製作）



(二)研究結果討論

1.由實驗觀察到自製冰淇淋溶液中，糖的重量愈多，冰凍多天較能保持鬆軟。但我們也發現，糖份重量 50 克和 75 克的在第四天後開始變硬，到第五天時變硬程度是一樣。

2.我們也發現不同重量的糖，在拌入空氣後，冰淇淋溶液濃稠度的變化。加入 25 克糖冰淇淋溶液的濃稠度，竟然比沒有加入任何糖的冰淇淋溶液數值還要大，也就是溶液呈現較稀薄的狀態。但是在加入 50 克糖時，呈現出濃稠狀態。但是加入 75 克組的糖，冰淇淋溶液卻是比加入 50 克糖組較為稀薄，是什麼成份影響到冰淇淋溶液的濃稠度呢？

3.糖在冰淇淋的製作過程中也扮演著重要的角色，它可以影響冰淇淋的質地、口感和鬆軟度，更是影響冰晶形成的關鍵。添加適量的糖可以降低冰淇淋的冰晶形成，使冰淇淋溶液結凍成口感鬆軟的冰淇淋。但是如果添加過少的糖，則可能導致冰淇淋生成太多冰晶，進而產生口感偏硬的冰淇淋。

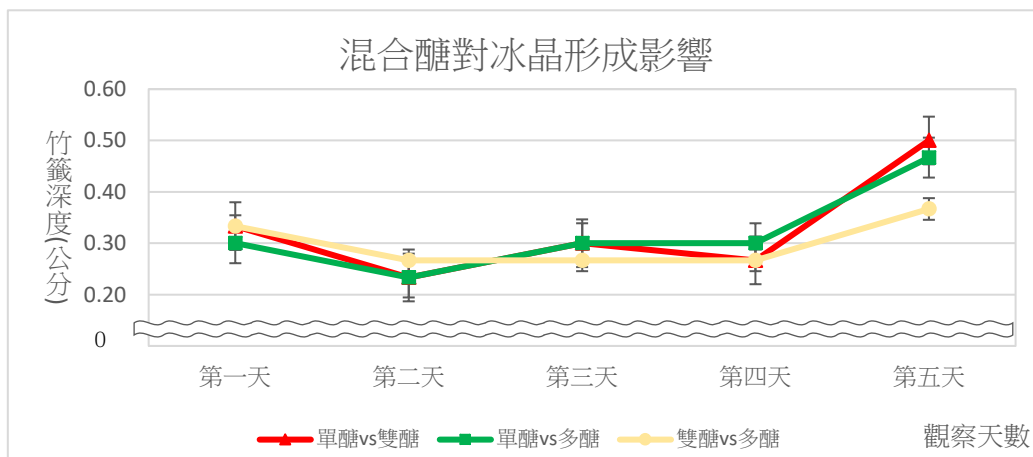
4.75 克糖組的冰淇淋溶液產生稀薄狀況，應該是糖在溶液中溶解度是有限的，不溶解的糖晶體，會導致溶液的濃度變稀。而適當的糖可以防止水分凝聚，保持濃稠度。過多的糖會使水份無法與其他成份結合，導致濃稠度下降。

5.本實驗糖的比例是參考市面上各知名廠牌的冰淇淋配方，糖的比例由 10%~20% 不等，依據我們實驗單純的配方，20%糖雖然與 15%糖鬆軟程度相同，但是講求健康的現代，糖佔全部配方 15%是最佳的比例。

實驗三-6、不同種類醣混合的比例對冰淇淋質地的影響

(一) 實驗數據

圖 31 混合醣對冰晶影響（本圖由第一作者製作）



(二)研究結果討論

1.觀察這幾組冰淇淋溶液發現，只要含有單醣的冰淇淋溶液所形成的冰晶，都相對比其它組少，代表單醣抑制冰晶的效果顯著。

實驗三-7、冰淇淋溶液拌入空氣的時間對冰淇淋質地的影響

(一) 實驗數據

圖 32 觀察冰淇淋打發情形（本圖由第一作者製作）

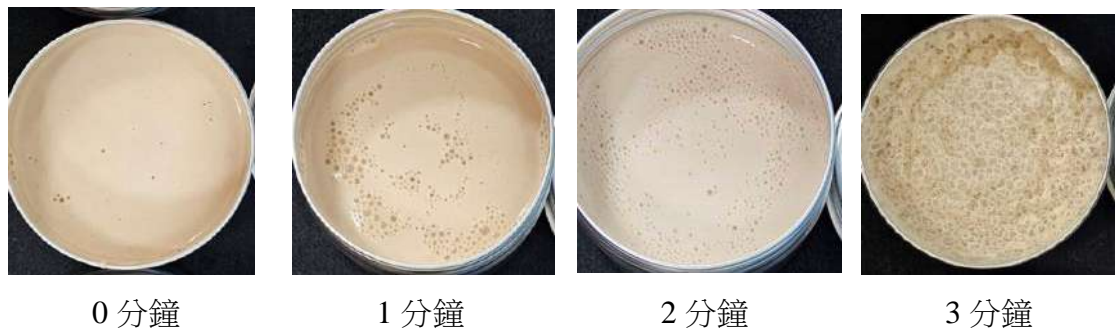


分工合作

依時間記錄

觀察質地

圖 33 不同時間打發冰淇淋溶液質地變化（本圖由第一作者製作）



0 分鐘

1 分鐘

2 分鐘

3 分鐘

圖 34 冰淇淋溶液打發時間與膨脹高度的影響（本圖由第一作者製作）

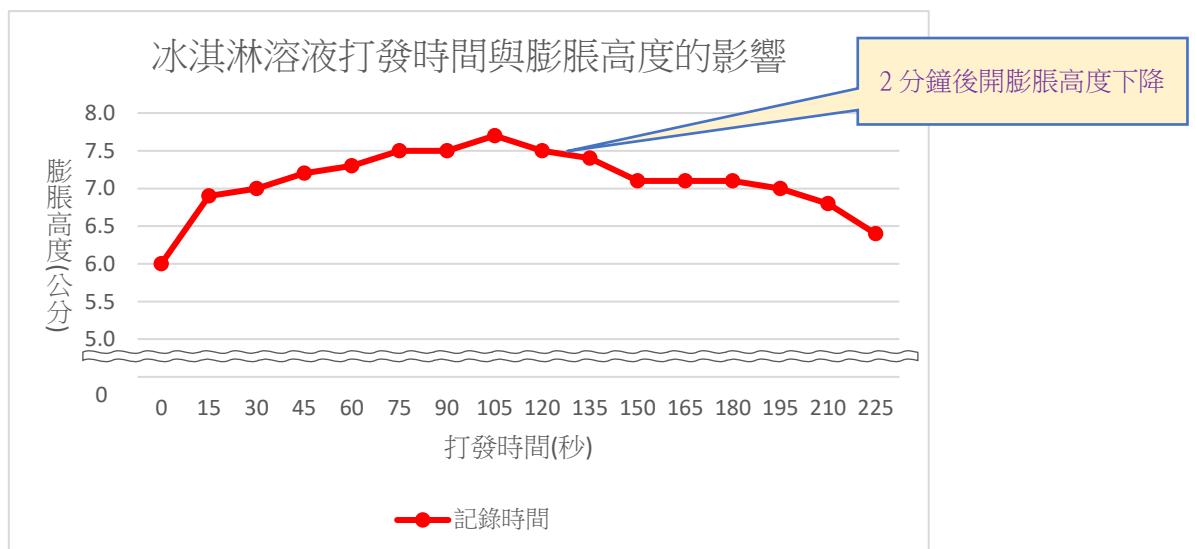
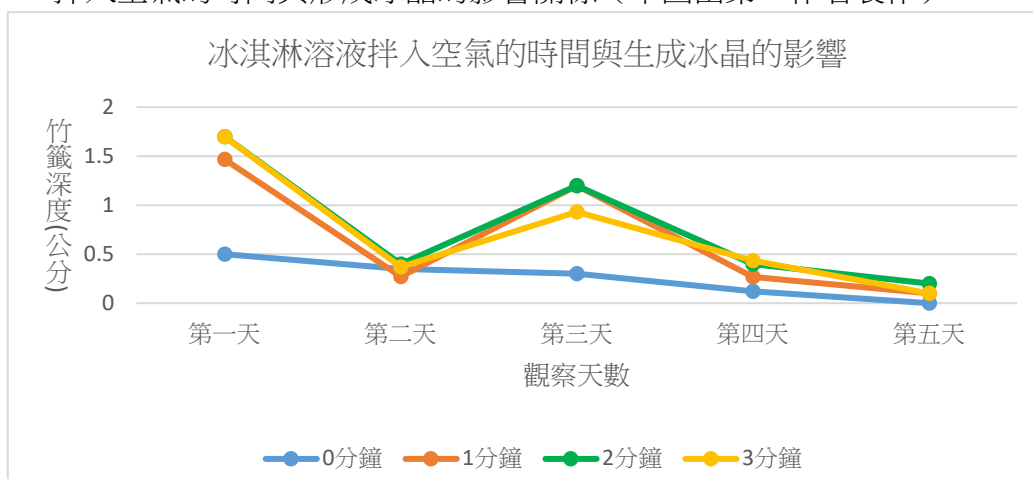


圖 35 拌入空氣的時間與形成冰晶的影響關係（本圖由第一作者製作）



(二)研究結果討論

1.冰淇淋溶液的膨脹高度，在打發一分鐘到二分鐘時，形成穩定的膨脹高度，但是在二分鐘後，膨脹高度開始要下降。

2.沒有任何打發的冰淇淋溶液，是生成最多冰晶的。打發的時間到三分鐘時，是最能抑制冰晶形成。

3.我們觀察到打入空氣的一分鐘、二分鐘、三分鐘組，在第二天出現了冰晶較多的現象，但是在第三天後又變得較為鬆軟，而沒有打發組卻出現一天比一天硬的情形，為什麼有空氣的冰淇淋溶液會產生這種現象呢？

4.冰淇淋溶液在冷凍的過程中，其水分和脂肪可能會經歷結晶的重排。第三天的冰淇淋可能結晶重新排列，使其冰晶變少，冰淇淋質地變得較鬆軟。冰淇淋中的空氣泡沫可能會隨著時間逐漸釋放，導致冰淇淋的質地變得較為軟化。

研究四、驗證彭巴效應

(一) 實驗數據

圖 36 不同溫度的冰淇淋結凍情形（本圖由第一作者製作）



100 度

50 度

7 度

冷凍 2 小時後，最先結凍的是溫度最高，100 度的冰淇淋溶液，再來是 7 度，最慢結凍的是 50 度。

50 度還有液體存在



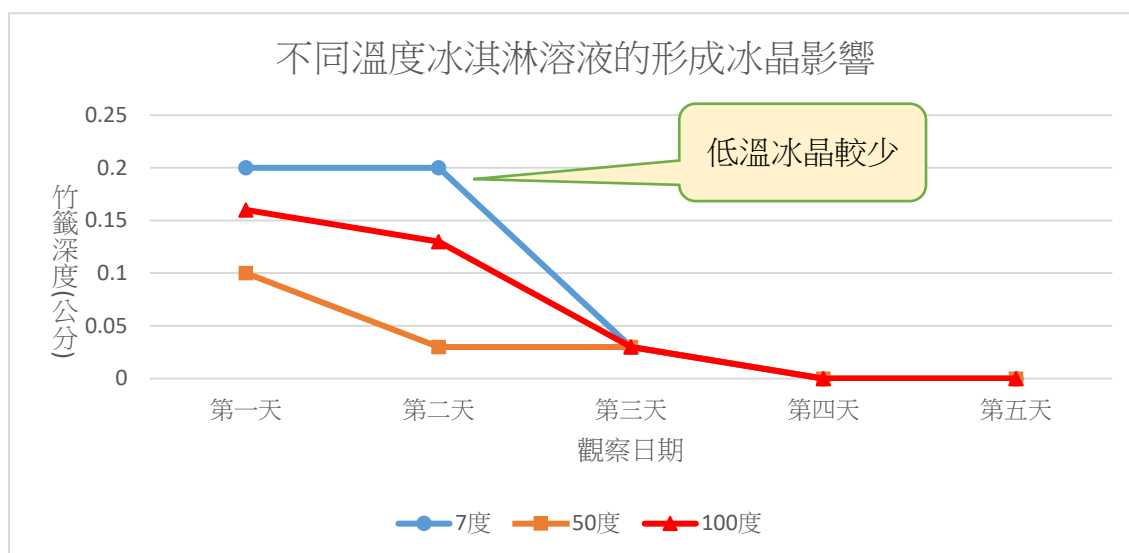
100 度

50 度

7 度

冰凍一天後，三個不同溫度的冰淇淋都結凍了，測量第一天的硬度，以 50 度的冰淇淋溶液最硬。

圖 37 不同溫度冰淇淋的形成冰晶關係（本圖由第一作者製作）



(二)研究結果討論

1.實驗觀察到，冷凍 2 小時後，冰淇淋溶液溫度最高 100 度的冰淇淋是最先結凍，再來是 7 度，最慢結凍的是 50 度。最快結凍速度：100 度>7 度>50 度

2.100 度冰淇淋溶液雖然先結冰，但是形成冰晶的數量卻比 7 度多。

3.是什麼原因讓 100 度的冰淇淋溶液先結凍呢？

4.將冰淇淋溶液加熱到 100 度後，其溫度會非常高，這將會使其周圍的環境迅速吸收熱量。當您將高溫液體放入冰凍中時，它會迅速釋放熱量，從而加速周圍冰淇淋溶液的冷卻速度。冰淇淋溶液 7 度組因為已經非常接近冰點，因此冰晶的形成速度會加快，導致冰淇淋溶液更容易凝固。

5.冰淇淋溶液 100 度雖然可以快速凝結，但是因為製作冰淇淋需要拌入空氣才能增加膨鬆度，但是高溫的冰淇淋溶液是無法將空氣拌入的，所以冰淇淋的質地不會鬆軟，反而容易形成冰晶。

6.我們也觀察到低溫的冰淇淋溶液形成冰晶較少，是因為空氣是容易存在低溫溶液中，低溫下溶解能力通常較高，易容易形成氣泡，抑制冰晶形成。所以想要打發鮮奶油通常要在低溫狀態下，才容易打發。反之，空氣容易高溫釋放出來，以導致於本實驗中、高溫較易形成冰晶。

研究五、自製冰淇淋

實驗五-1、不同油脂所自製冰淇淋與市售冰淇淋比較

(一) 實驗數據

圖 38 自製不同油脂冰淇淋與市售冰淇淋比較關係（本圖由第一作者製作）

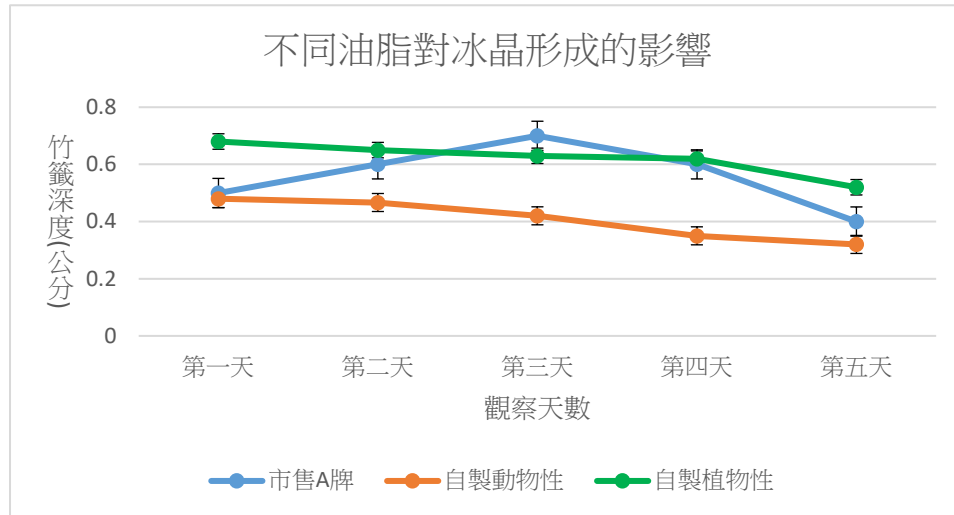


圖 39 比較植物鮮奶油與動物鮮奶油的冰淇淋質地（本圖由第一指導老師拍攝）



植物油鮮奶油



動物油鮮奶油

(二) 研究結果討論

1.由研究二中，取出每天較其他組鬆軟的A組做比較，實驗觀察中發現自製植物性鮮奶油的冰淇淋，因為打發時呈現較高的膨鬆度，實驗結果也是顯示出自製植物油冰淇淋的鬆軟度與市售冰淇淋鬆軟度，並沒有太大差異。

2.我們自製冰淇淋在實驗過程中，只做了一次拌入空氣的動作。相較市售冰淇淋可能做了多次拌入空氣的動作。其最後比較冰淇淋鬆軟度並沒有太差。

實驗五-2、比較自製冰淇淋與市售冰淇淋的品評比較

(一)實驗數據

圖 40 自製冰淇淋與市售冰淇淋的品評比較情形（本圖由第三作者製作）



自製冰淇淋



同學們試吃

1. 問卷統計：有效問卷 35 份

圖 41 兩種品牌冰淇淋硬度比較圖（本圖由第三作者製作）

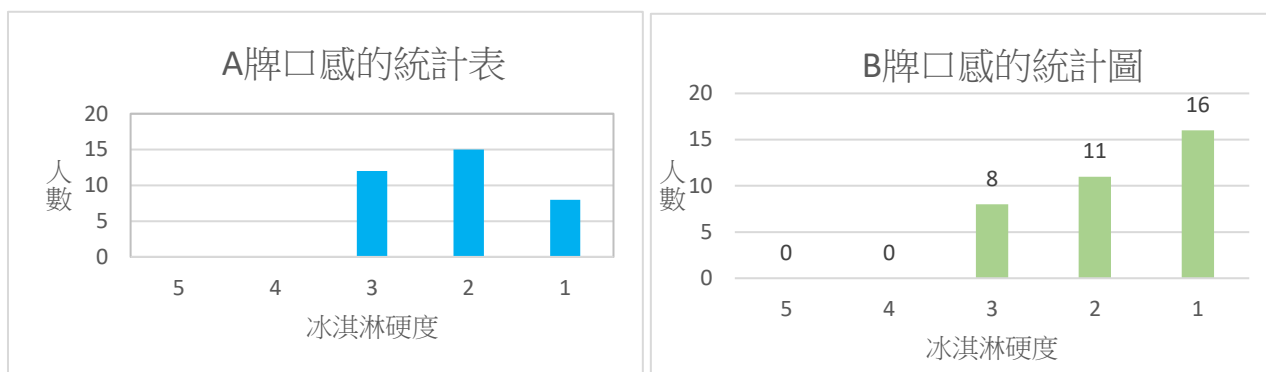
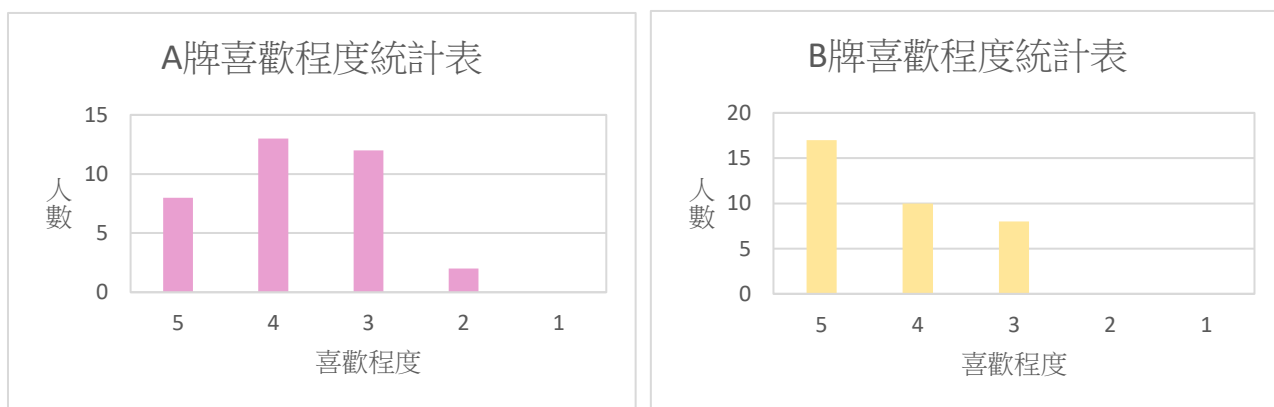


圖 42 兩種品牌冰淇淋喜好程度比較圖（本圖由第三作者製作）



(二) 研究結果討論

1. 研究出的最佳冰淇淋配方及工序，製作冰淇淋並請六年級同學試吃，請他們分享口感。

2. 總共邀請 35 位六年級學生，進行自製冰淇淋及市面冰淇淋的喜好分析。

3. A 牌為自製冰淇淋，B 牌為市售冰淇淋。結果分析出自製冰淇淋在硬度表現上，與市售冰淇淋的差異性不會太明顯，所以我們的配方是成功的。但是在口感喜歡程度上，我們自製冰淇淋用了雙醣（砂糖），口感上會偏甜導致大部份的同學在喜歡程度上，無法接受太甜膩的口感。以糖度計測得的砂糖的確在甜味上偏甜，所以自製冰淇淋可以考慮用市面上的方法，把單醣和雙醣混合使用。

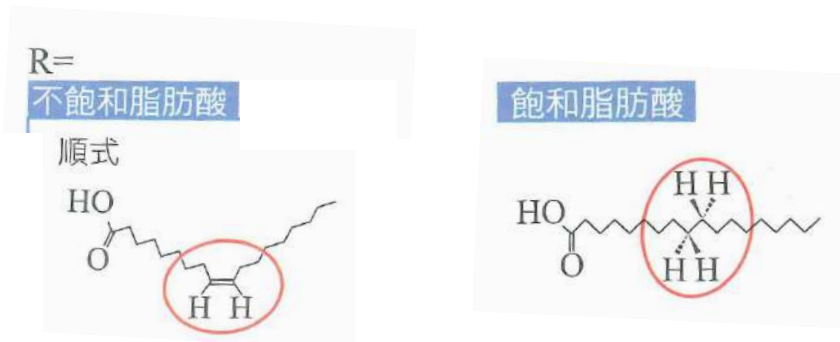
陸、討論

冰淇淋中的水會產生重新結晶現象，則是因為發生了奧斯特瓦爾德熟化（Ostwald ripening）現象，使原本的冰淇淋變得愈來愈硬。我們也由實驗證明，有凝結核較易生成冰晶，所以我們針對冰淇淋中可能會產生凝結核的成分進行實驗，歸納出這些成分對冰淇淋產生結晶的影響。

一、乳脂對冰淇淋產生結晶的影響

乳脂的存在會影響冰淇淋中的冰晶的形成。如果乳脂微小且均勻分散，可以阻礙冰晶的生長，使其更細緻，這有助於冰淇淋的口感更為光滑。一般來說，牛奶是最常見的動物性鮮奶油來源，以下是典型的飽和脂肪酸和不飽和脂肪酸在牛奶脂肪中的大致比例：飽和脂肪酸約占牛奶脂肪的 60~70%、不飽和脂肪酸約占牛奶脂肪的 30~40%。植物性鮮奶油的飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸的比例會根據所使用的植物油種類而有所不同，植物性鮮奶油通常具有較高的不飽和脂肪酸含量，這有助於保持其在較低溫度下的液態狀態。飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸的碳氫鏈中，碳原子連接成一條骨幹。沿著這條碳原子骨幹，碳原子用單共價鍵或雙共價鍵連結。單共價鍵稱為飽和鍵；雙共價鍵稱為不飽和鍵，如果沿者碳骨幹中間的碳原子都用飽和鍵連結，這脂肪酸稱為飽和脂肪酸、如其中包含不飽和鍵連結，這脂肪酸則稱為不飽和脂肪酸。所以植物性鮮奶油可能含有較多的不飽和脂肪酸，這些不飽和脂肪酸的分子排列會使冰淇淋的質地較為粗糙。

圖 42 飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸（本圖擷取自龍騰文化高中化學）



二、糖類對冰淇淋產生結晶的影響

單醣、雙醣和多醣在水中的溶解和吸水性質不同，水合的狀況不同可能會影響到冰晶的形成速率，所謂的水合是指物質與水分子結合，形成水合物或水合分子的過程。單醣具有良

好的水溶性，可以迅速在水中溶解，由於其分子結構相對簡單，水分子能夠有效地包圍並與單醣分子相互作用，所以使用單醣在冰淇淋中產生的冰晶較多。而雙醣通常也具有良好的水溶性，但相對於單醣，雙醣的分子結構稍微複雜，因此它的溶解速度可能較慢一些，根據我們的實驗結果，一開始使用雙醣的冰淇淋較硬、冰晶較多，到第三天開始使用雙醣的冰淇淋硬度會跟使用單醣的接近，我們推測這是與**糖類的水合能力有關**。多醣的澱粉可以製成**濃稠的冰淇淋溶液，達到抑制冰晶的效果**。臺灣本土冰淇淋（趴撲）就是利用這種特性，在不加任何油脂下，減緩冰淇淋的冰晶產生，製作出抗融的綿密的冰淇淋。

三、濃稠度對冰淇淋產生結晶的影響

越濃稠的冰淇淋溶液中含有更多的固體成分，也代表含有較少的水分，而水分是形成冰晶的主要成分之一。因此，溶液中水分含量越低，形成的冰晶相對較少，冰淇淋結果的質地會相對較為軟化。這些**固體成分**在冷凍時形成的晶體會比較小且分散，所以能抑制冰淇淋的冰晶產生，使得冰淇淋的質地更鬆軟。

四、空氣對冰淇淋產生結晶的影響

空氣的添加有助於防止冰晶的過度形成。在製作過程中，攪拌和冷凍同時進行，這樣可以使冰淇淋中的水分以微小的冰晶形式分散在冰淇淋中，而不是形成大塊的冰晶。這種微小的冰晶能夠提供更為細緻的質地，使冰淇淋更加柔軟。然而，如果打發時間過長，超過 2 分鐘，冰淇淋會變得過度打發，失去了原有的濃郁口感，甚至變得過於空氣化，檢測起來雖然是鬆軟的，但是質地是粗糙的。

柒、結論

一、冰淇淋的鬆軟與冰晶形成有關，冰晶會在核化處生長，所以口感鬆軟的冰淇淋要靠**乳脂、糖及空氣來抑制冰晶**形成。

二、冰淇淋溶液中，**動物性的鮮奶油比例高，抑制冰晶形成效果愈好**；植物性鮮奶油易在低溫保持液體狀，**實驗結果 15%，抑制冰晶形成效果愈好**。透過混合油脂的實驗，發現動物性與植物性鮮奶油的比例與抑制冰晶形成效果有呈現線性關係，混合油脂是抑制冰晶最好的配方。

- 三、自製冰淇淋加入糖類中，以單醣效果最好。但是因為考量冰淇淋風味，以單醣與雙醣混合抑制冰晶最佳。
- 四、拌入空氣以二分鐘最好，足夠的空氣與乳脂結合，產生口感鬆軟的冰淇淋。
- 五、冰淇淋溶液越濃稠，抑制冰晶效果越好。冰淇淋的濃稠度與抑制冰晶有正相關的關係。
- 六、彭巴效應對冰淇淋溶液，的確可以在高溫區(100 度)產生最快結凍的效果，但是高溫的冰淇淋溶液無法打入空氣，所以無法製作出口感鬆軟的冰淇淋。
- 七、自製冰淇淋與市售冰淇淋的官能品評結果，差距不大，證明我們的研究出簡單做又好吃的冰淇淋。
- 八、透過這個研究，我們只要看到市售冰淇淋的配方，就可以立刻判斷出這個冰淇淋的口感。

捌、參考文獻

- 1.段盛秀、楊海明(2019)食品化學分析與檢驗 (修訂第 1 版)。
- 2.洪翌洋、劉宣妤、劉奐均(2019) 『冰清欲結』-探討不同條件溶液結冰時溶質匯聚現象的差異-中華民國第 59 屆科學展覽會作品說明書。
- 3.楊祐宇、涂宇軒、伍恩霽(2019)低脂冰淇淋與物理的火花-中華民國第 59 屆科學展覽會作品說明書。
- 4.彭楷軒、陳嘉宇、湯昊哲(2011)姆佩巴效應-中華民國第 52 屆科學展覽會作品說明書。
- 5.冰淇淋。檢索日期 2023.09.20 取自 <https://deyingicecream.com/oem/ice-cream-composition/>
- 6.你對冰品瞭解多少? 檢索日期 2023.10.20 取自
<https://www.foodnext.net/news/newssafe/paper/5975134536>
- 7.奧斯瓦德熟化 (Ostwald ripening) 現象。維基百科，檢索日期 2023.12.8 取自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A5%A7%E6%96%AF%E7%93%A6%E7%88%BE%E5%BE%B7%E7%86%9F%E5%8C%96>

【評語】 082910

1. 本研究探討會影響冰淇淋質地的多種因素，並試圖找到可製作出質地最佳的冰淇淋的方法。研究包括分析市售冰淇淋的成分，並比較其回冰後的質地變化。以自製硬度與濃稠度檢測機類似質構儀經過量測時間、力、距離完成樣品物理特性、應力與應變力。再加上鮮奶油、油脂、糖等實驗條件、拌入空氣對於冰淇淋質地的影響，具有實驗探究精神。
2. 實驗過程中對環境變數的控制不夠嚴格，例如溫度和濕度等因素的變化可能會影響實驗結果的準確性和重現性。

作品簡報

冰雪復緣

探討抑制冰淇淋冰晶形成條件



摘要

為什麼未食用完畢的冰淇淋再回冰，質地會變硬呢？

我們利用自製儀器分析市面上的冰淇淋回溫再結凍後的質地，制定出分析冰淇淋硬度與濃稠度的標準。結果發現，抑制冰晶產生的主要成份是糖、乳脂及空氣，且凝結核越多，越容易生成冰晶。**動植物性混合的鮮奶油或是單糖、雙糖混合**製作出的冰淇淋，抑制冰晶效果最好。將空氣拌入冰淇淋溶液則以2分鐘最好，這樣可以使冰淇淋體積最膨鬆，產生的冰淇淋冰晶最少。

最後將研究出來的最佳成份比例，自製鮮奶冰淇淋，並與市售冰淇淋做官能品評比較，證明此研究的冰淇淋配方，的確在復冰後擁有最佳口感。



壹 研究目的

- 一、檢測冰淇淋質地的標準
- 二、比較市售冰淇淋回冰後凝結冰晶的大小
- 三、探討冰晶的形成條件
- 四、探討構成冰淇淋的成分對質地的影響
- 五、驗證彭巴效應對冰淇淋質地的影響
- 六、最佳的冰淇淋比例



貳 研究設備與器材

一、實驗所需儀器、材料：

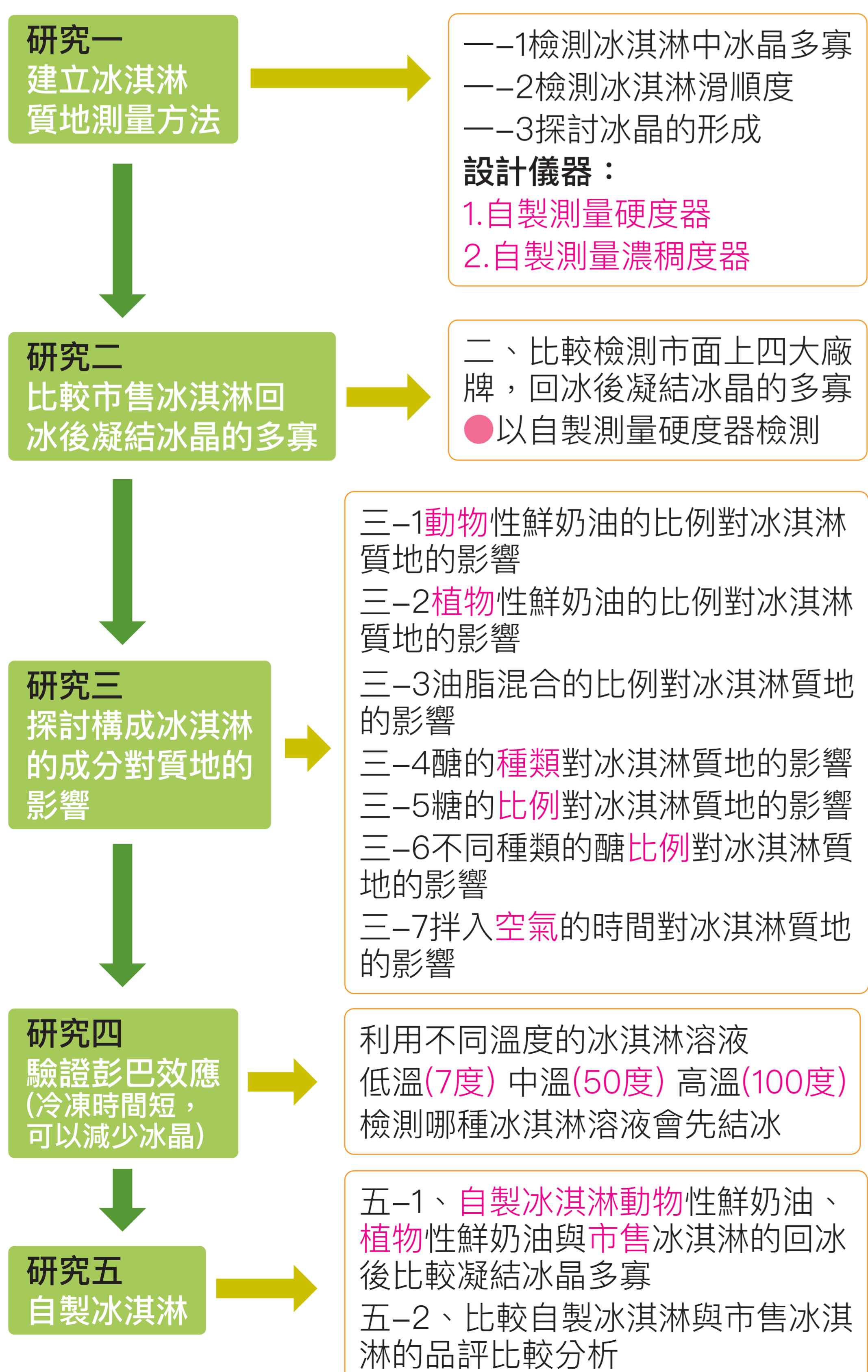
我們的實驗所使用的設備有：冰箱、電磁爐、食物攪拌棒、電子天秤、溫控器等設備。

自製冰淇淋標準流程 (由第二作者繪製)



參 研究方法及結果

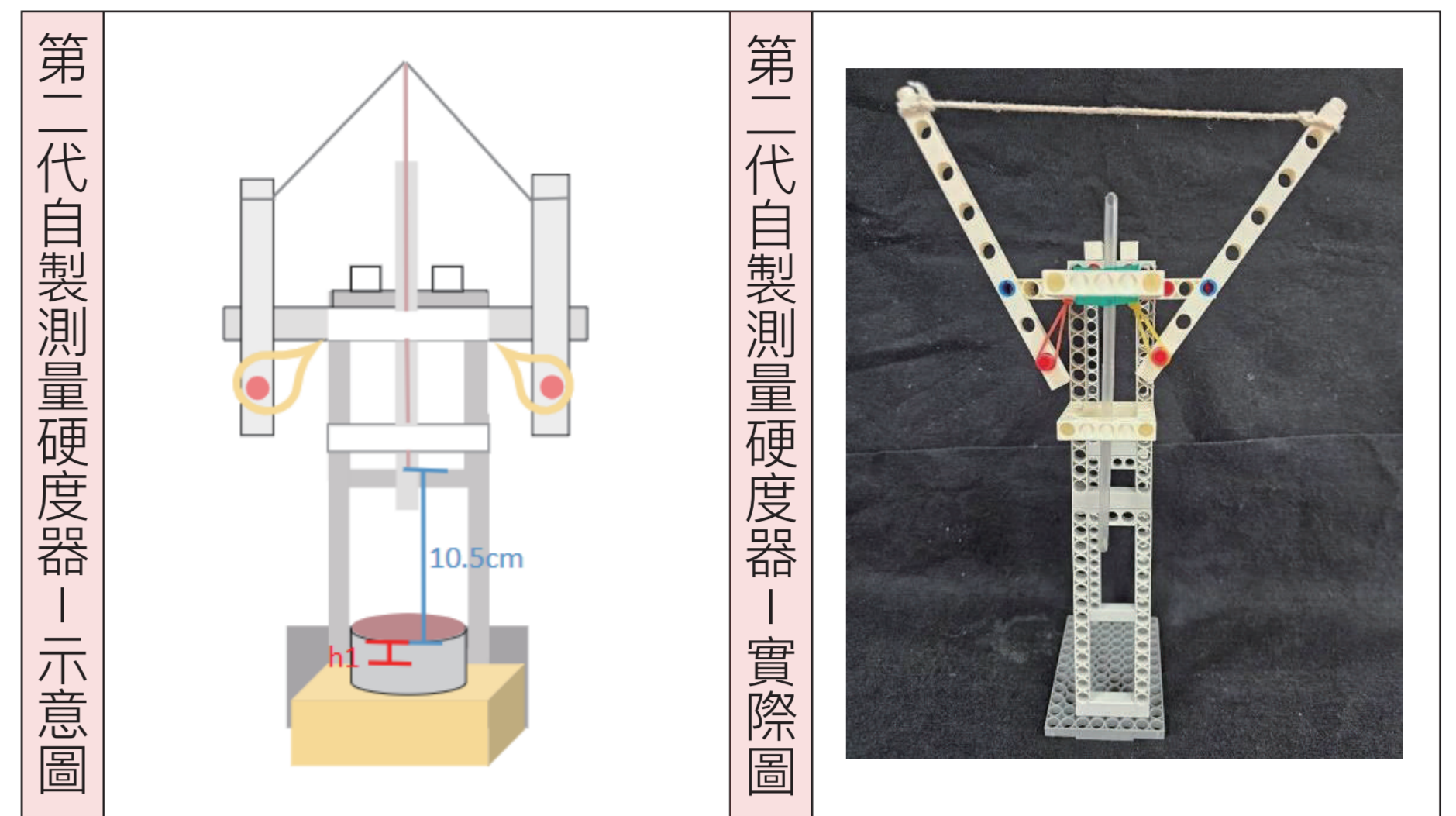
研究架構圖 (由第二作者繪製)



研究一、建立冰淇淋質地測量方法

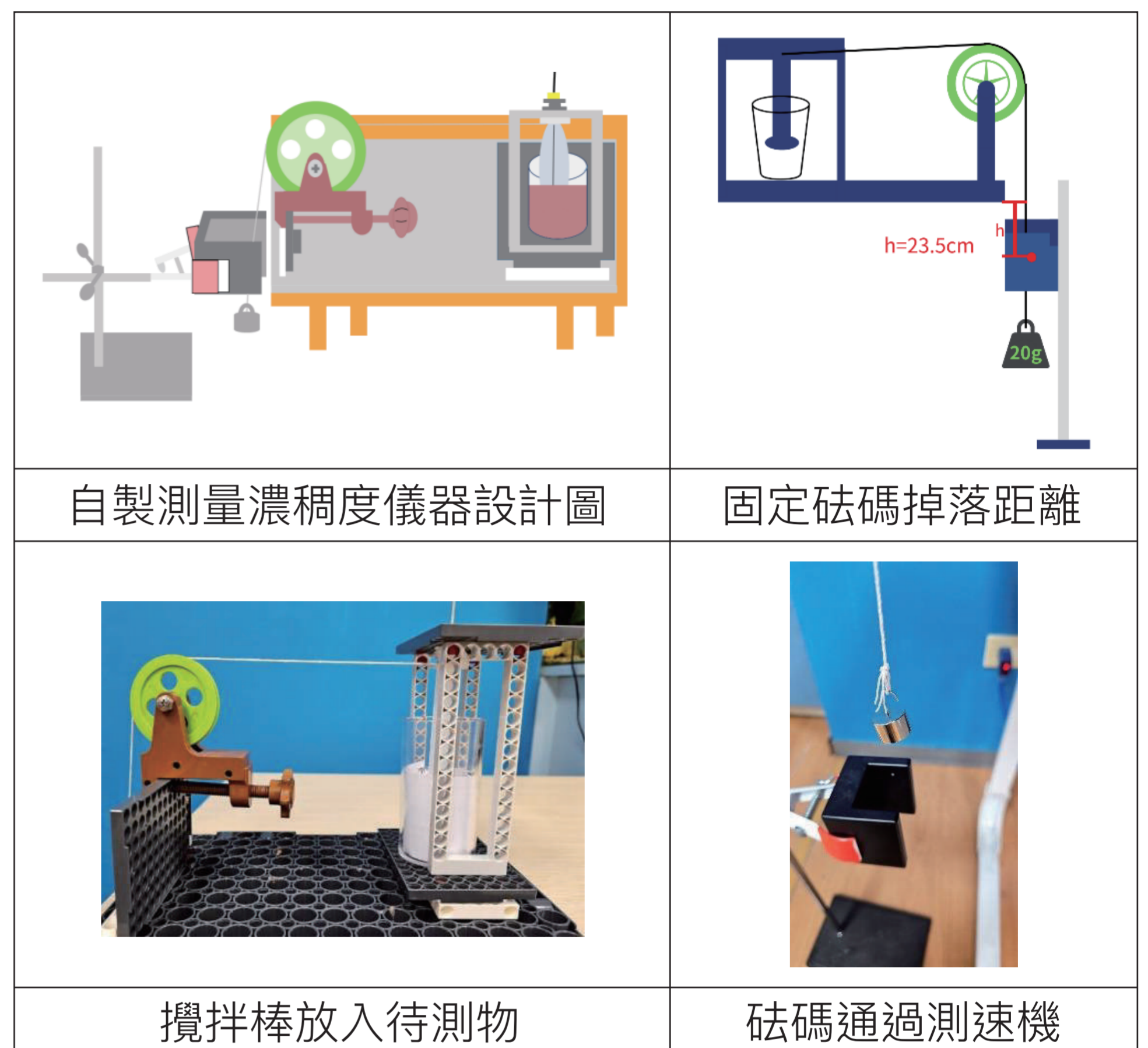
實驗一-1、檢測冰淇淋中冰晶多寡

第二代自製測量硬度器 (由第二作者繪製拍攝)



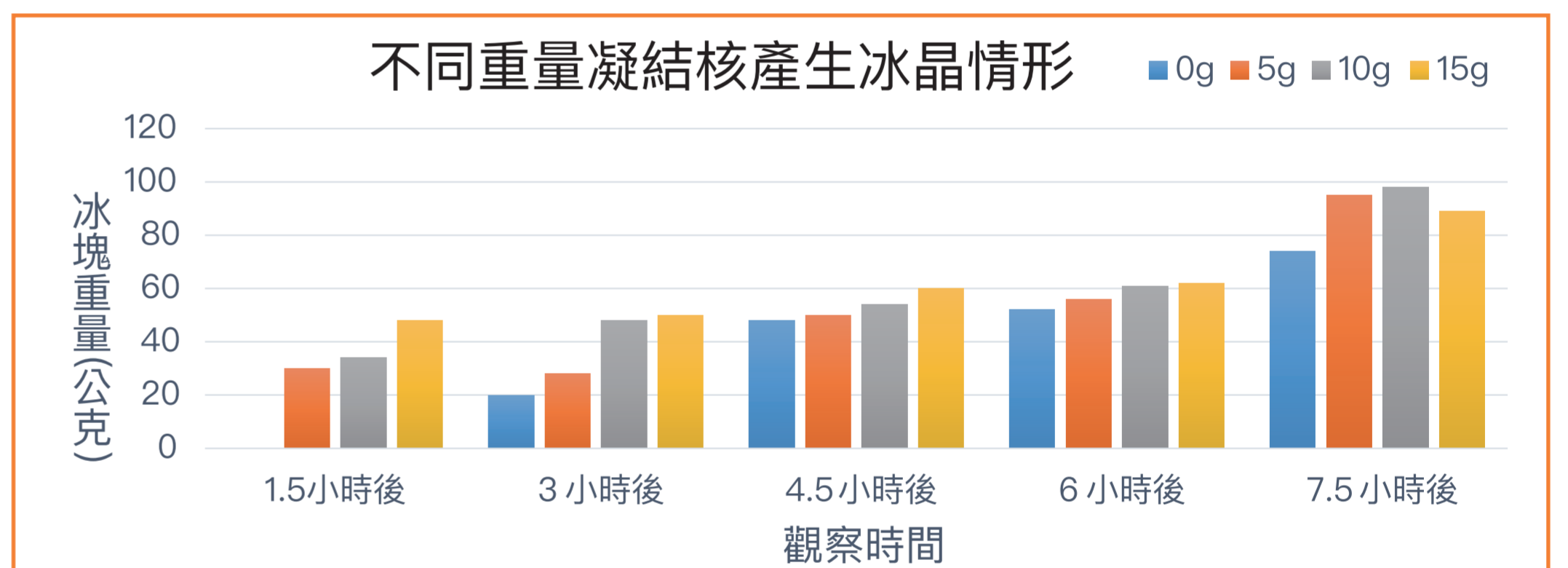
實驗一-2、冰淇淋溶液濃稠度

自製測量濃稠度儀器解說圖 (由第一作者繪製、第四作者拍攝)

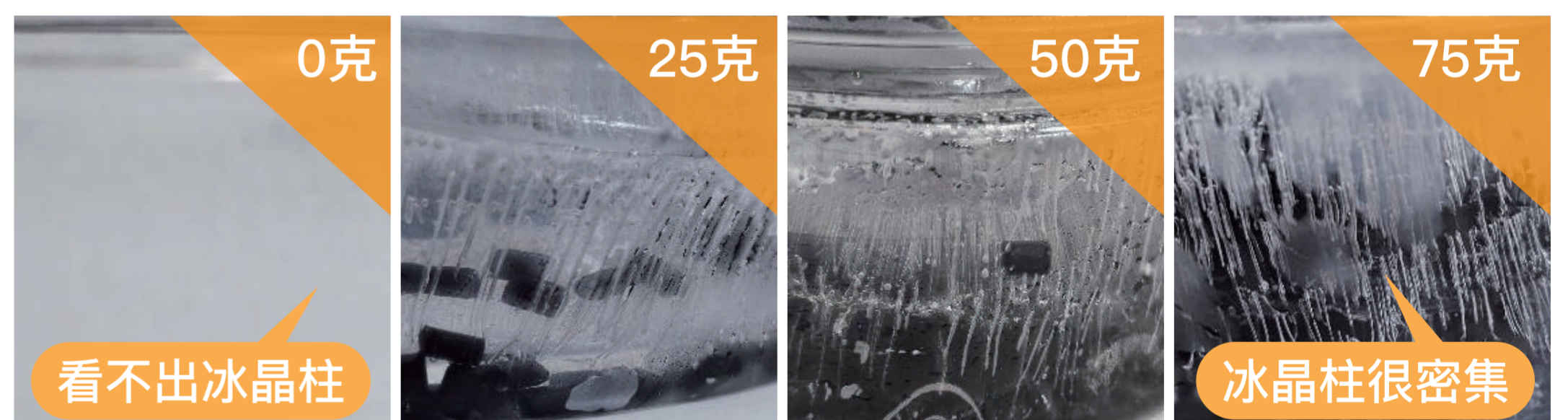


實驗一-3、探討冰晶的形成

不同重量凝結核產生冰晶情形 (由第一作者整理)



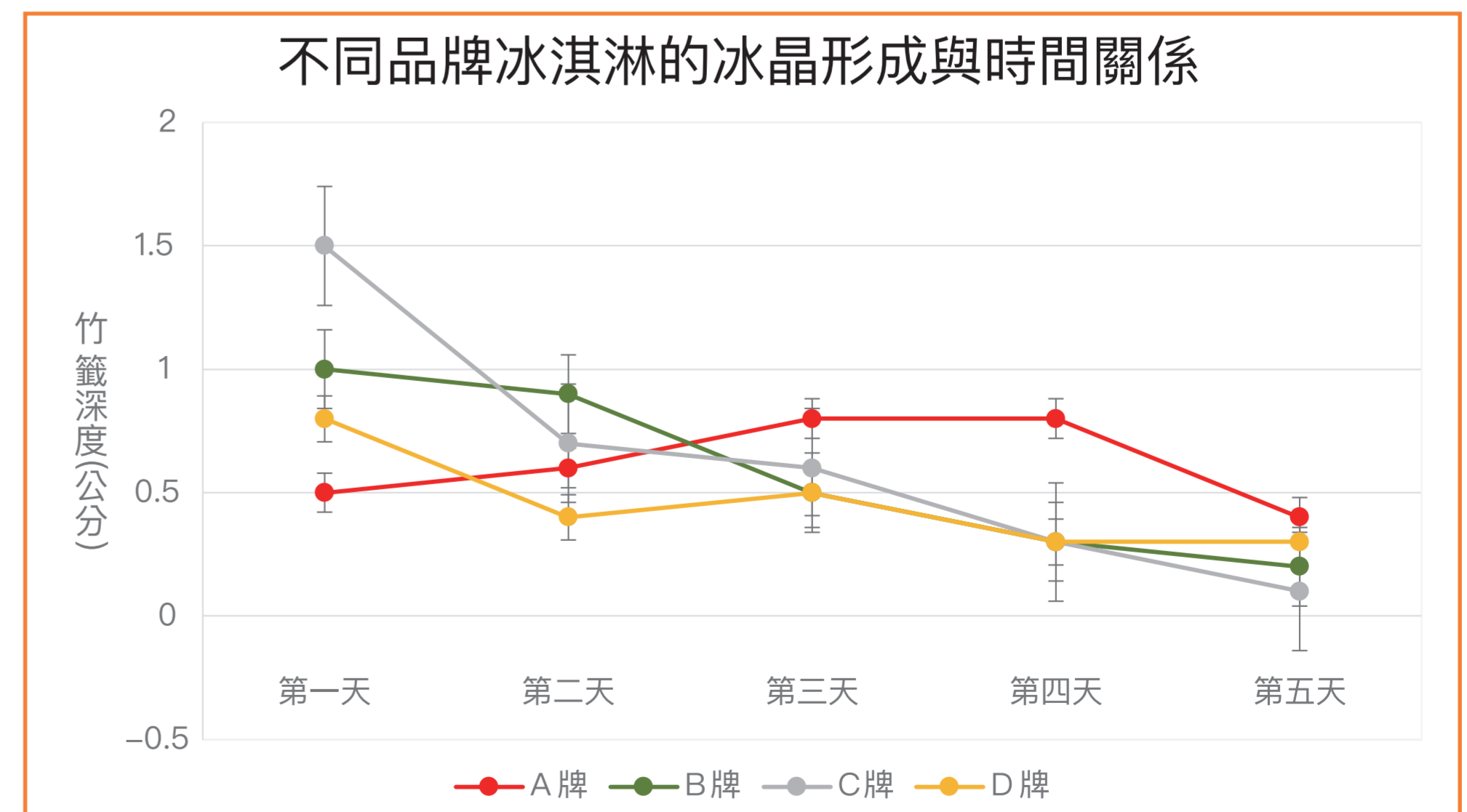
不同重量凝結冰晶側面照 (由第一指導老師拍攝)



1. 有黑色塑膠顆粒的冰，形成細長的冰晶，隨著黑色塑膠粒愈多產生更密集的長條型冰晶柱。
2. 奧斯瓦德熟化 (Ostwald ripening) 現象，原本較小的冰晶也會溶解沉積到較大的冰晶上，因此再結晶時，形成的冰晶就要大許多。

研究二、比較市售冰淇淋回冰後凝結冰晶的多寡

不同品牌冰淇淋形成冰晶的情形 (由第一作者整理)

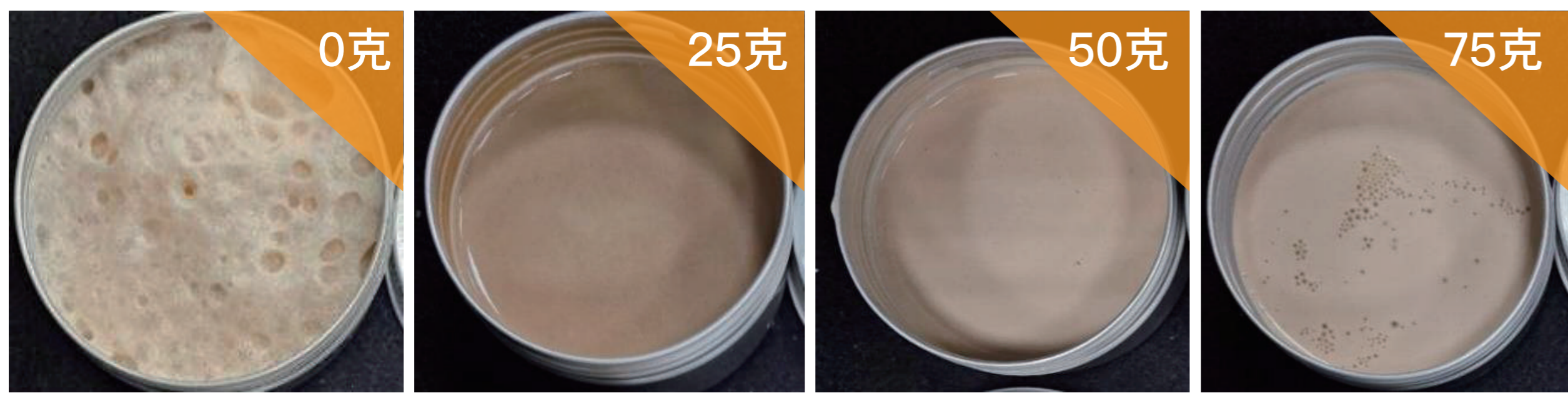


1. 根據比較市售冰淇淋成份，使用自製硬度測量器，發現所有冰淇淋在第四天開始，都因為冰晶的逐漸變多而變硬，所測得的竹籤深度數值都變小。
2. 比較這些市售冰淇淋後，得知這四種品牌：
(1) 第一天鬆軟度：C牌 > B牌 > D牌 > A牌。
(2) 第二天鬆軟度：B牌 > C牌 > A牌 > D牌。
(3) 第三~五天鬆軟度：A牌 > B牌 > D牌 > C牌。
(4) 發現單純材料的D牌，冰淇淋質地相較都是偏硬的。

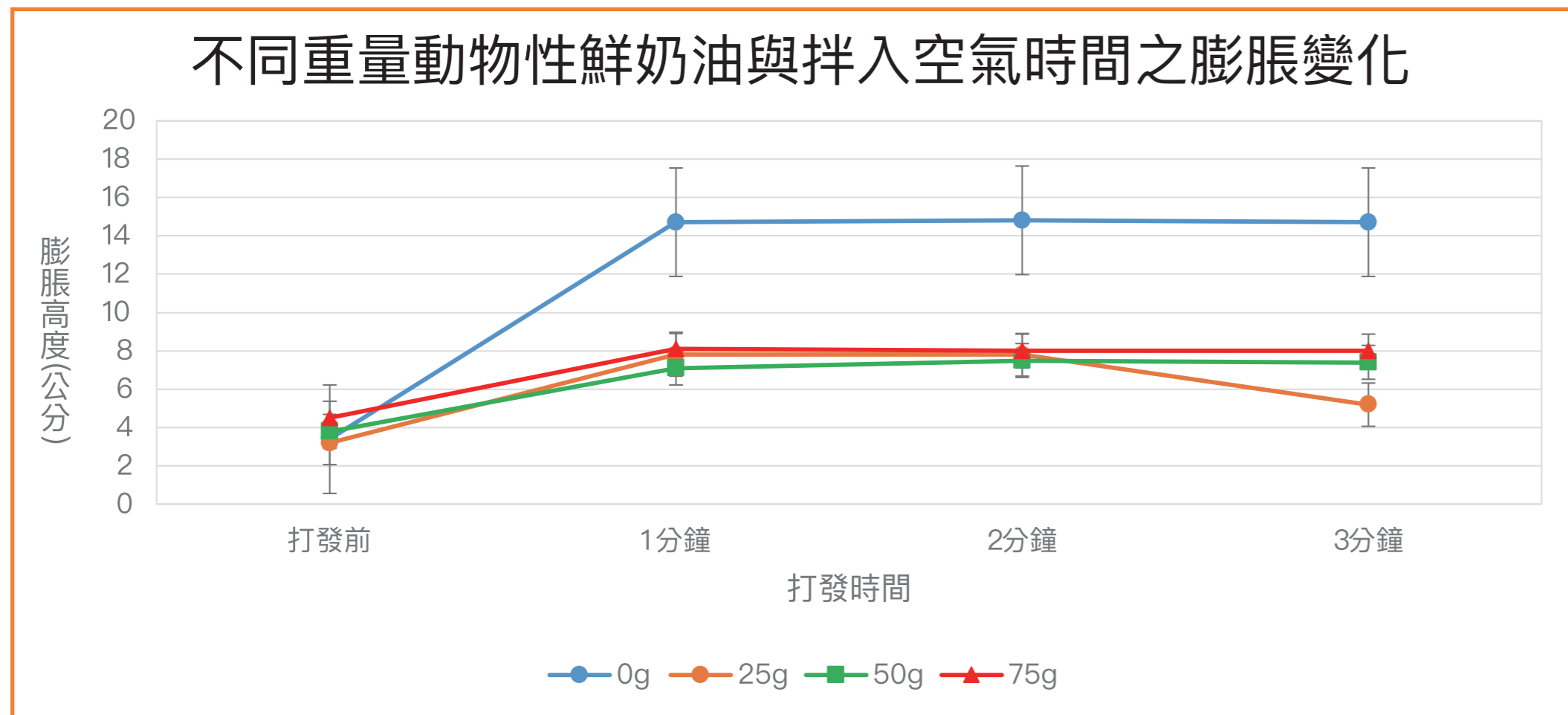
研究三、探討構成冰淇淋的成分對質地的影響

實驗三-1、動物性鮮奶油的比例對冰淇淋質地的影響

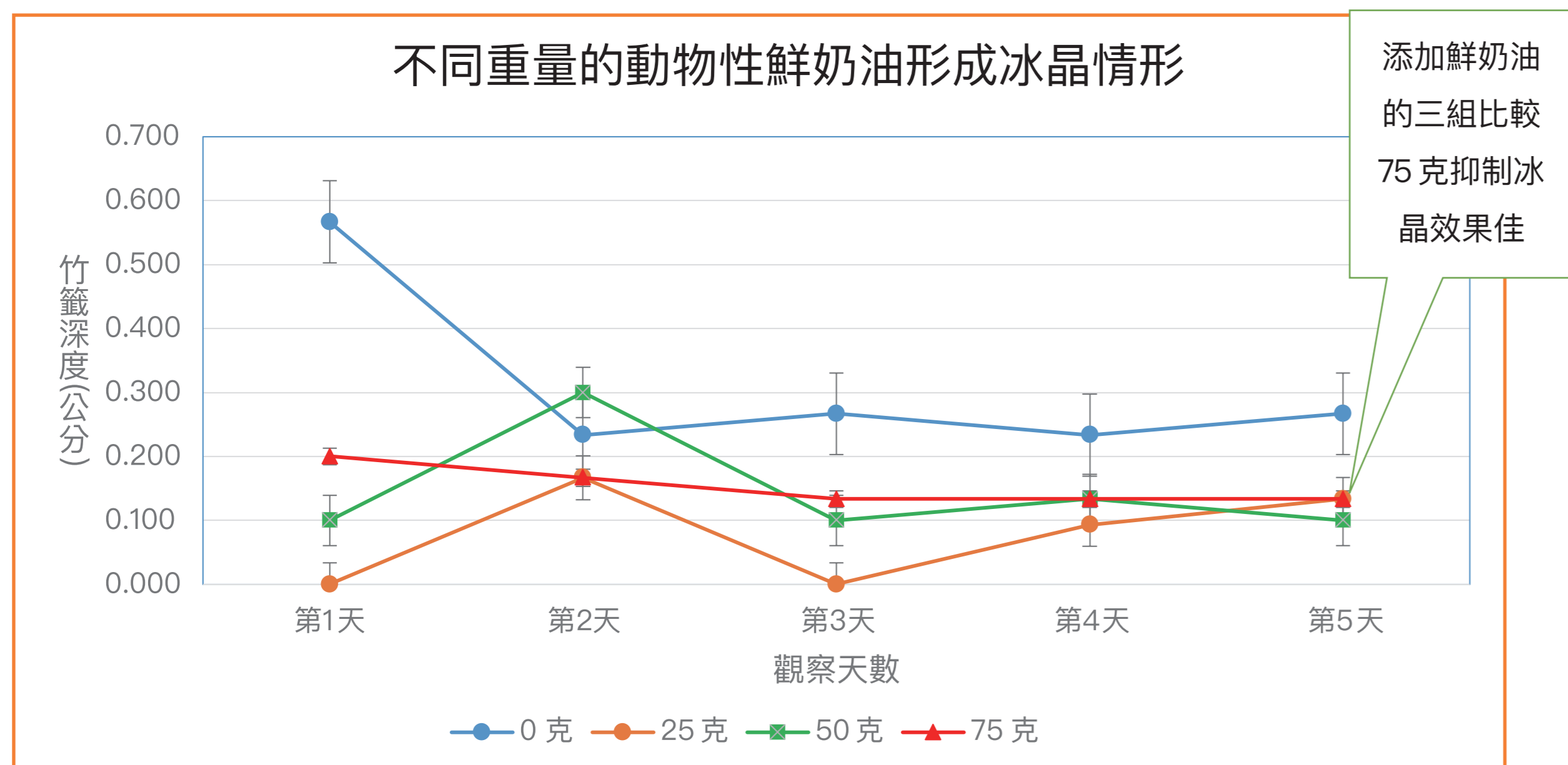
不同比例的動物性鮮奶油打發情形(由第四作者拍攝)



不同重量動物性鮮奶油與拌入空氣時間之膨脹變化(由第二作者整理)



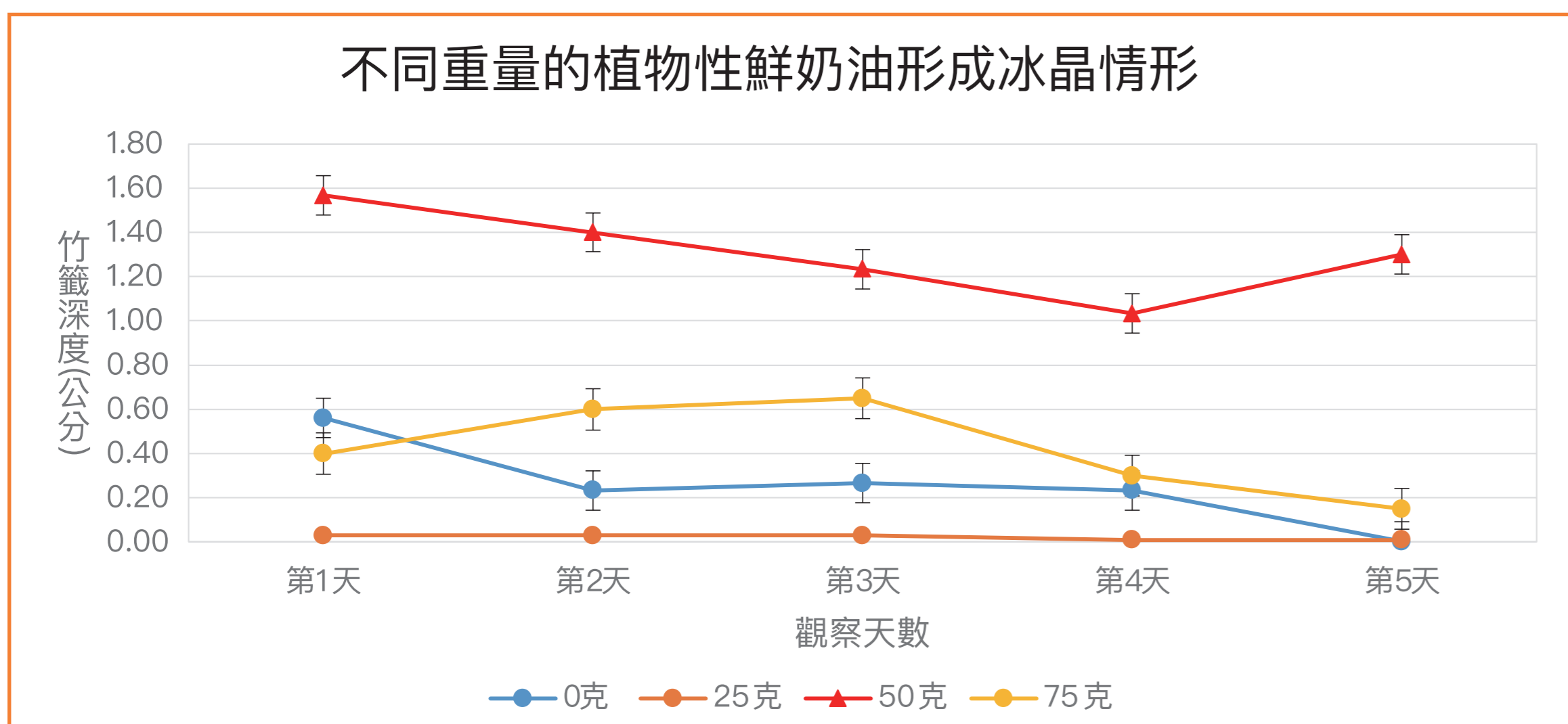
不同重量的動物性鮮奶油形成冰晶的情形(由第四作者整理)



動物性鮮奶油通常含有較高比例的飽和脂肪酸，這些脂肪酸更容易形成穩定的泡沫，從而產生更多的蓬鬆感。所以本實驗中動物性鮮奶油的比例愈高，冰淇淋質地會愈膨鬆。

實驗三-2、植物性鮮奶油不同重量對冰淇淋質地的影響

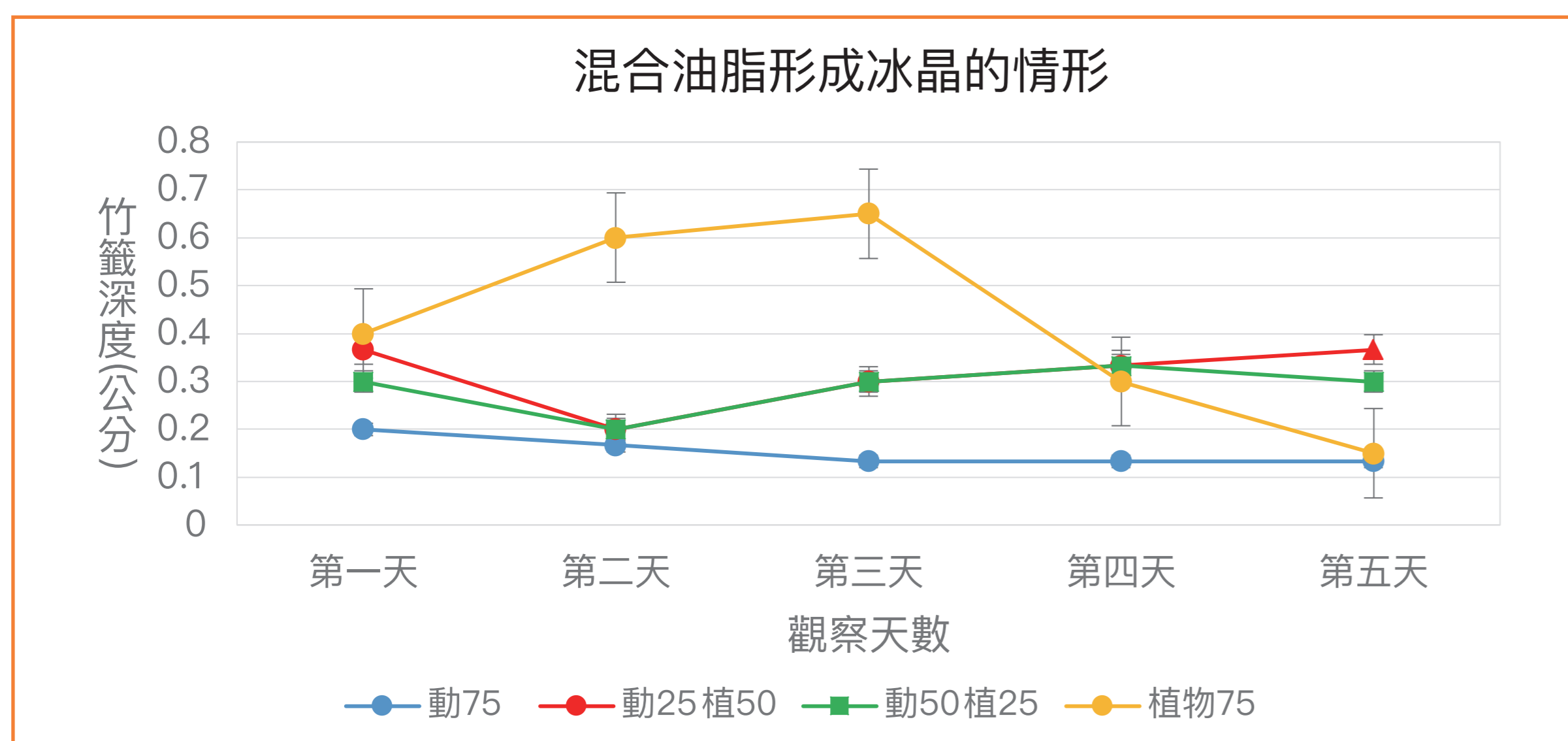
不同重量的植物性鮮奶油對冰晶形成影響關係(由第一作者整理)



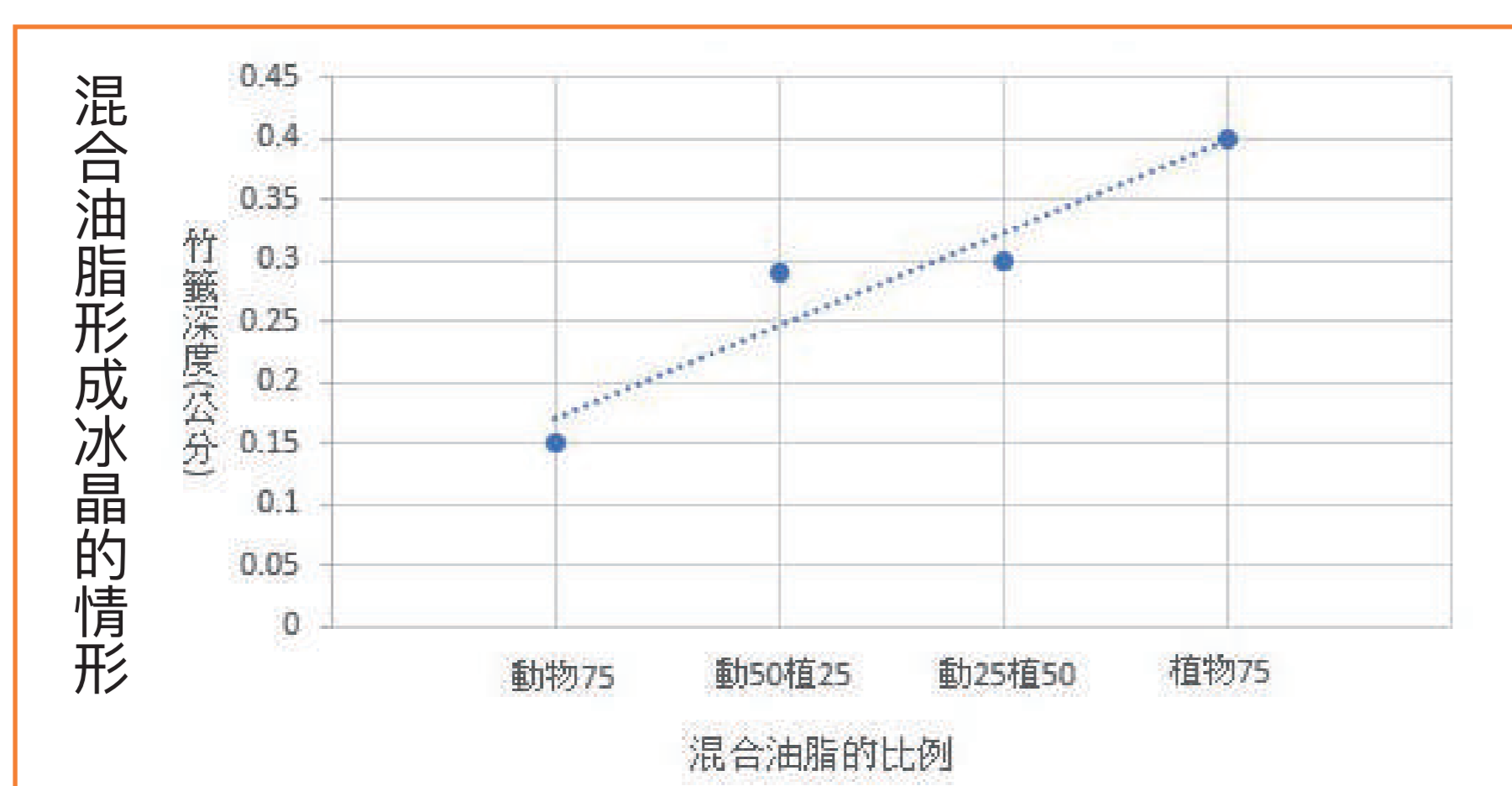
植物性鮮奶油通常含有高比例的不飽和脂肪，不飽和脂肪酸較動物性鮮奶油中的飽和脂肪酸不穩定，特別是在攪拌時容易油水分離或失去穩定性。因此，添加過多的植物性鮮奶油更可能會導致冰淇淋溶液的成份結構不穩定。

實驗三-3、油脂混合的比例對冰淇淋質地的影響

混合油脂對冰晶形成影響關係(由第一作者整理)

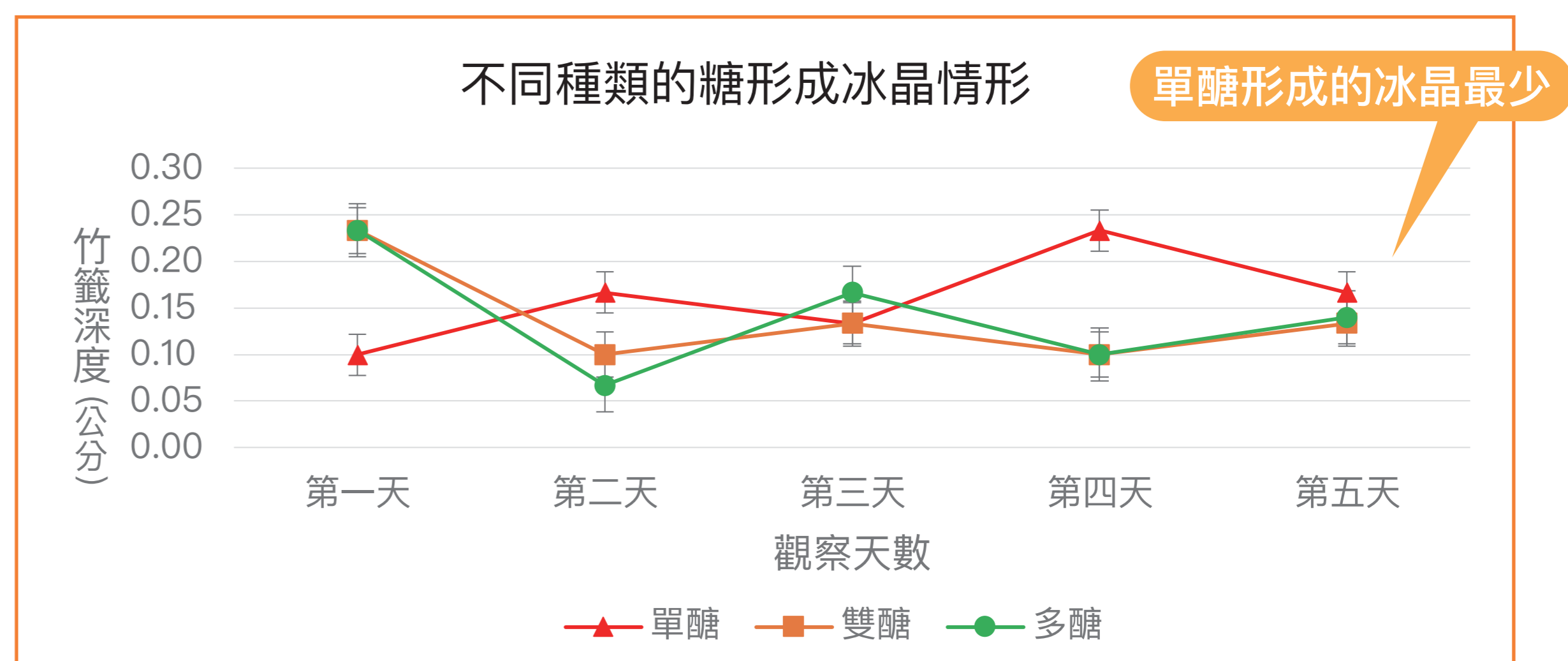


混合油脂對冰晶形成情形的線性關係(由第一作者整理)

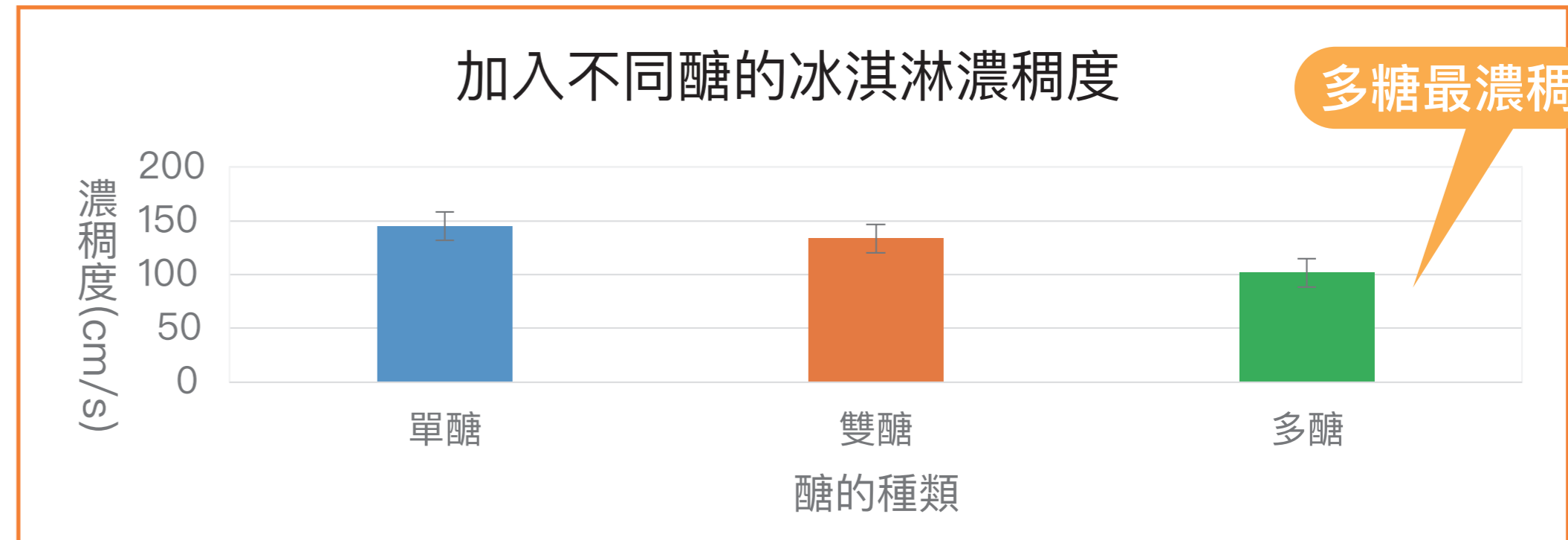


實驗三-4、糖的種類對冰淇淋質地的影響

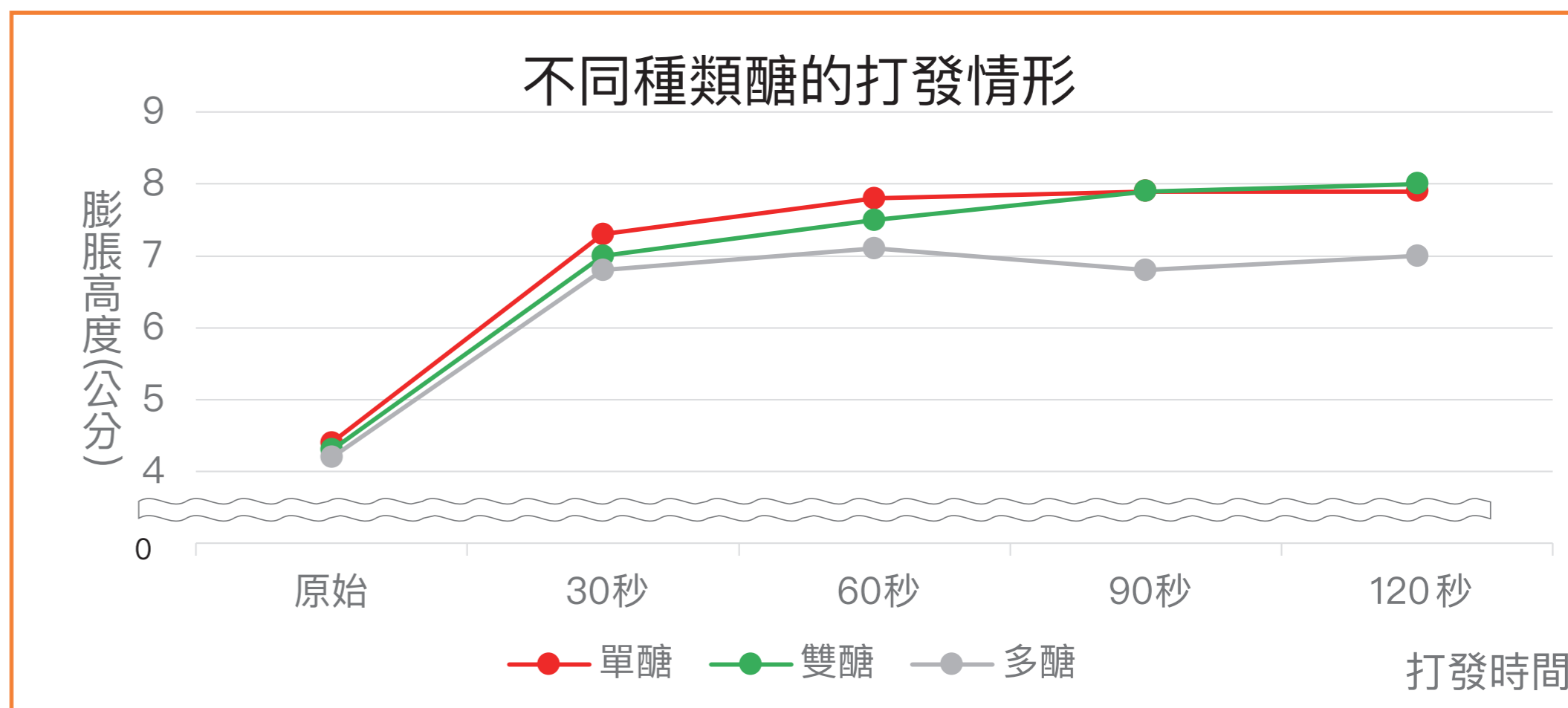
不同種類的糖形成冰晶關係(本圖由第三作者製作)



不同糖的濃稠度(本圖由第四作者製作)



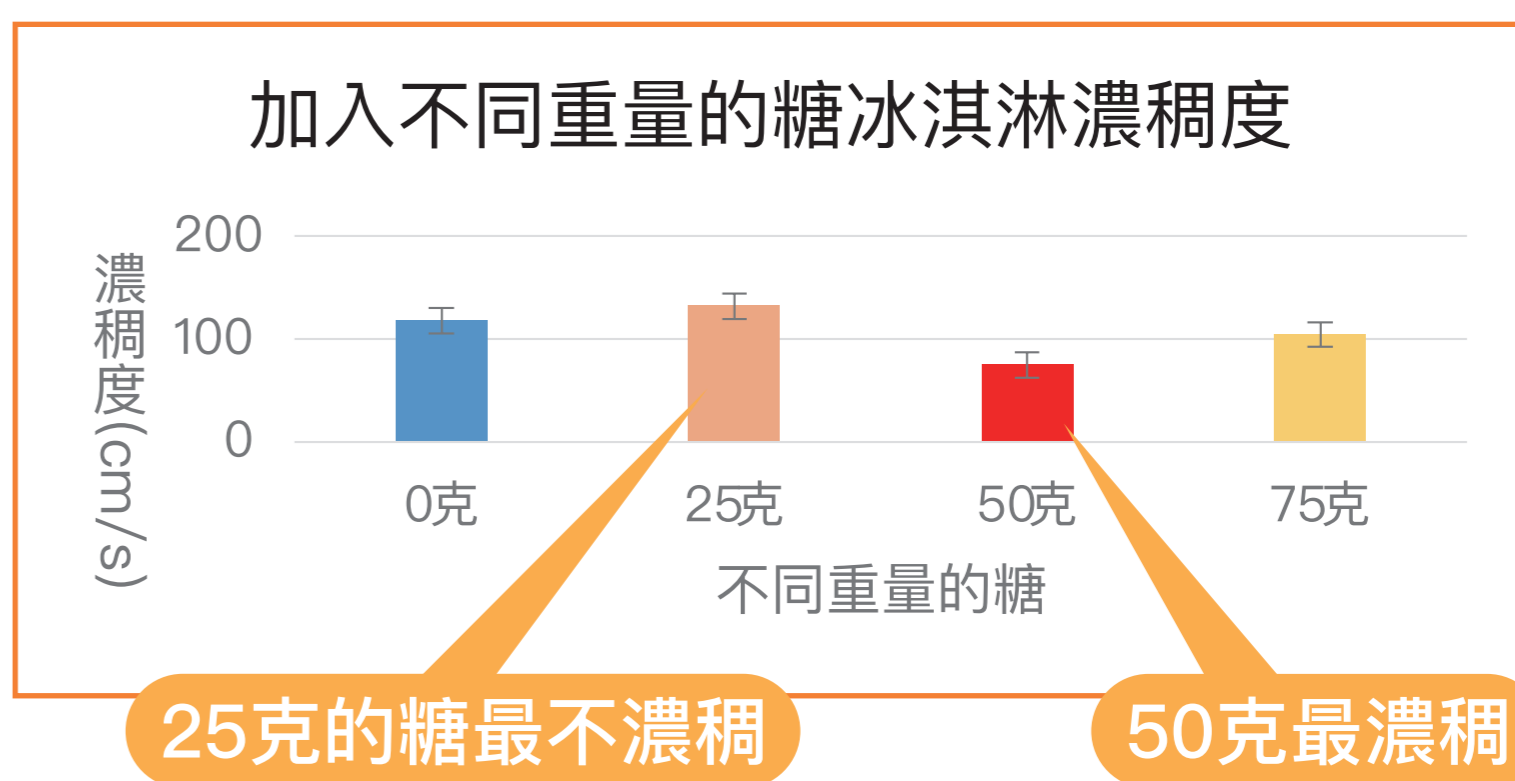
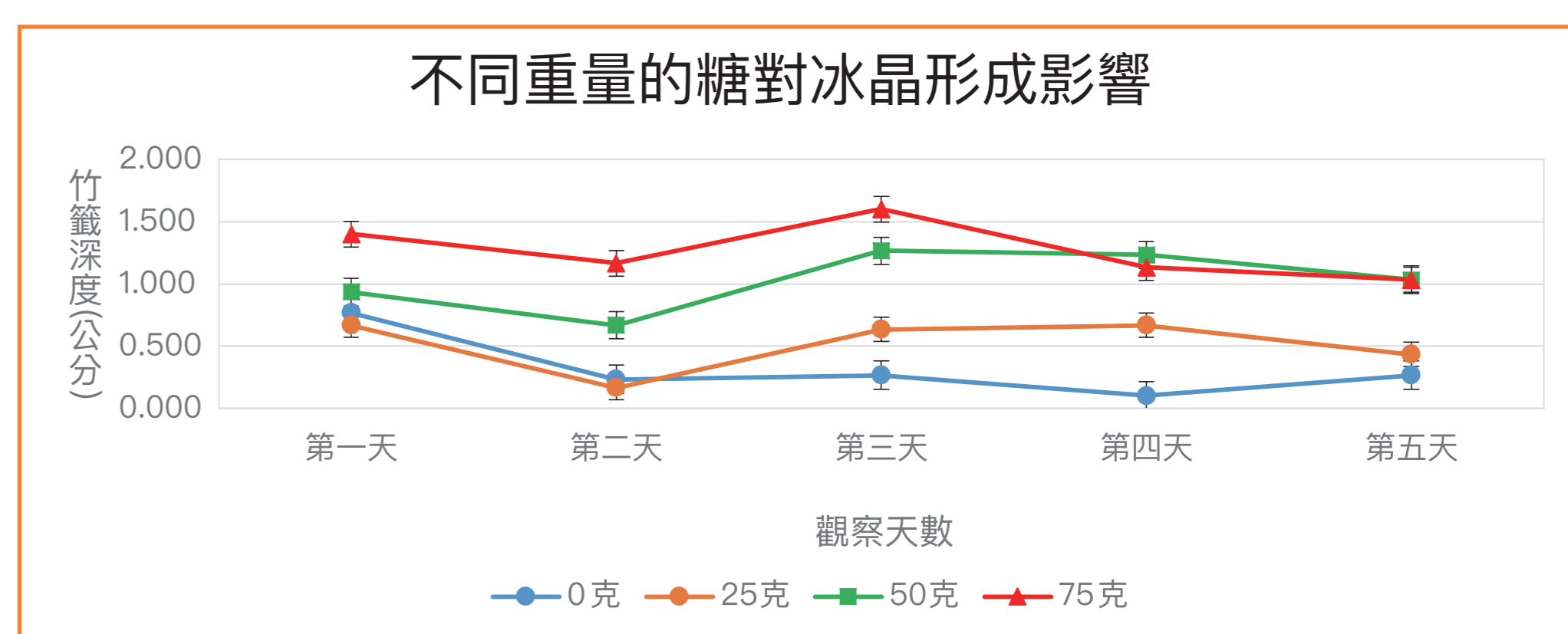
不同種類糖的打發時間關係(本表由第五作者製作)



實驗觀察發現，雙糖與多糖的形成冰晶情形大致相同，三組中單糖的冰晶產生最少。市面上的品牌，在冰淇淋製作中，通常會使用混合多種類型的糖來達到理想的口感、甜度和抑制冰晶的程度。

實驗三-5、糖的比例對冰淇淋質地的影響

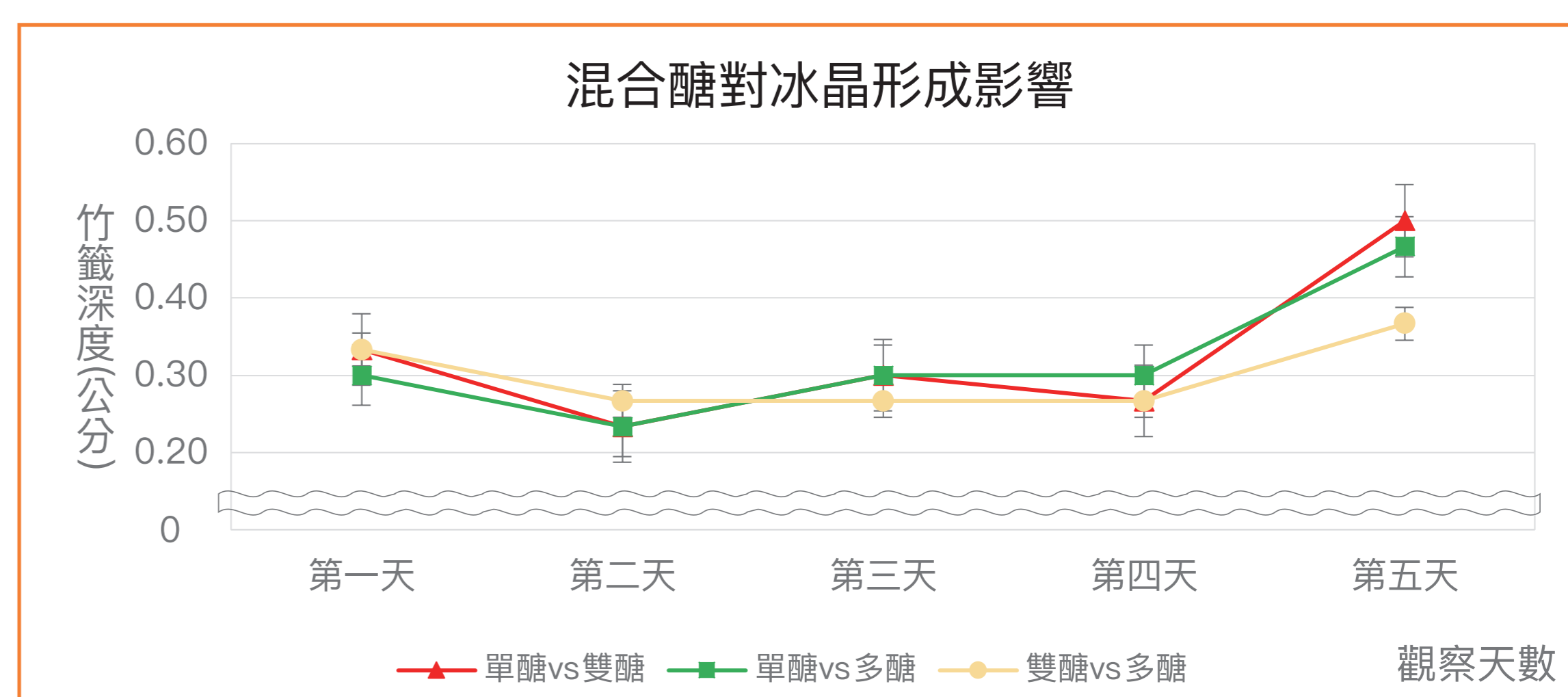
不同重量的糖對冰晶形成影響關係(本圖由第一作者製作)



75克糖組的冰淇淋溶液產生稀薄狀況，應該是糖在溶液中溶解度是有限的，不溶解的糖晶體，會導致溶液的濃度變稀。而適當的糖可以防止水分凝絮，保持濃稠度。過多的糖會使水份無法與其他成份結合，導致濃稠度下降。

實驗三-6、不同種類糖混合的比例對冰淇淋質地的影響

混合糖對冰晶影響(本圖由第一作者製作)

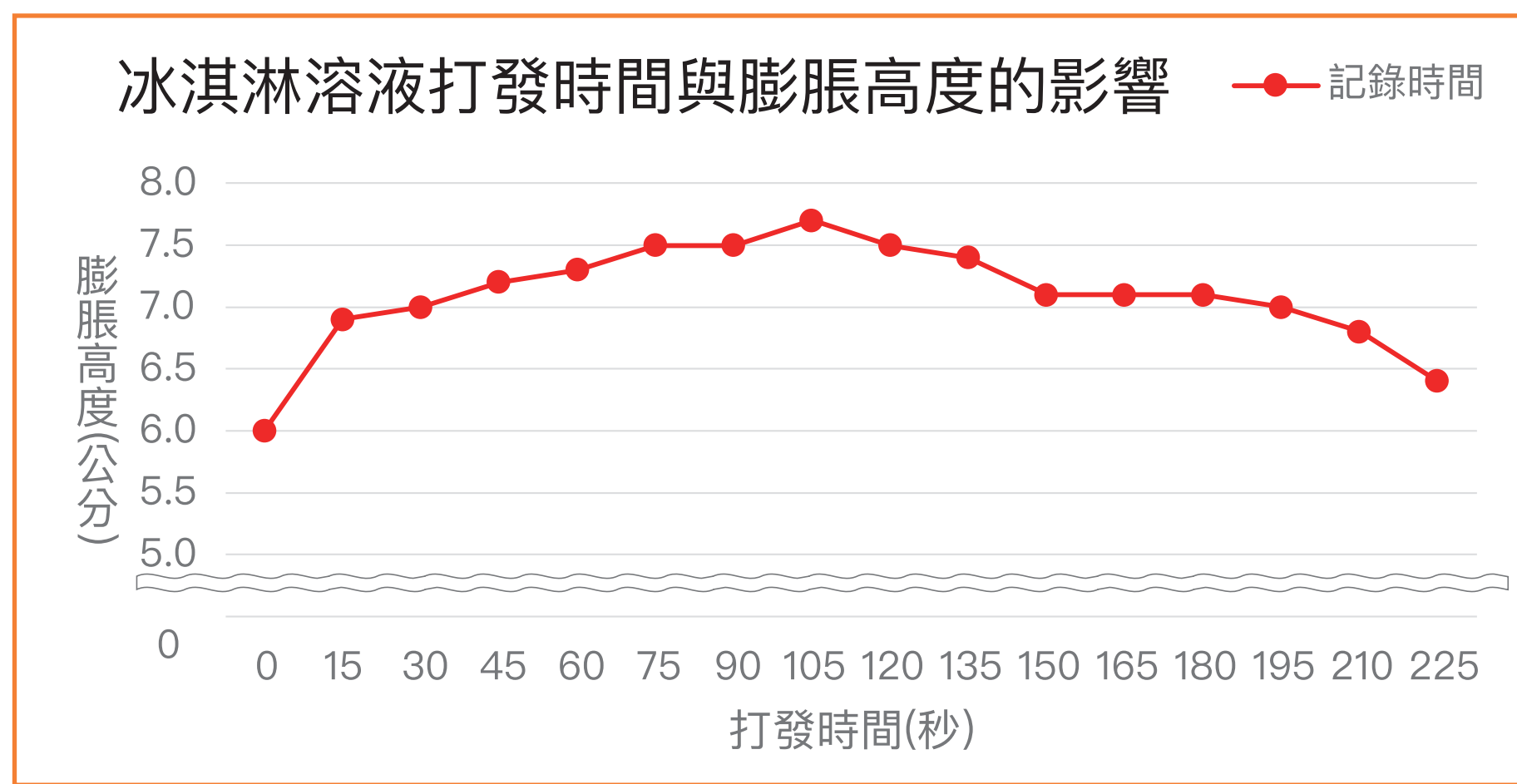


觀察這幾組冰淇淋溶液發現，只要含有單糖的冰淇淋溶液所形成的冰晶，都相對比其它組少，代表單糖抑制冰晶的效果顯著。

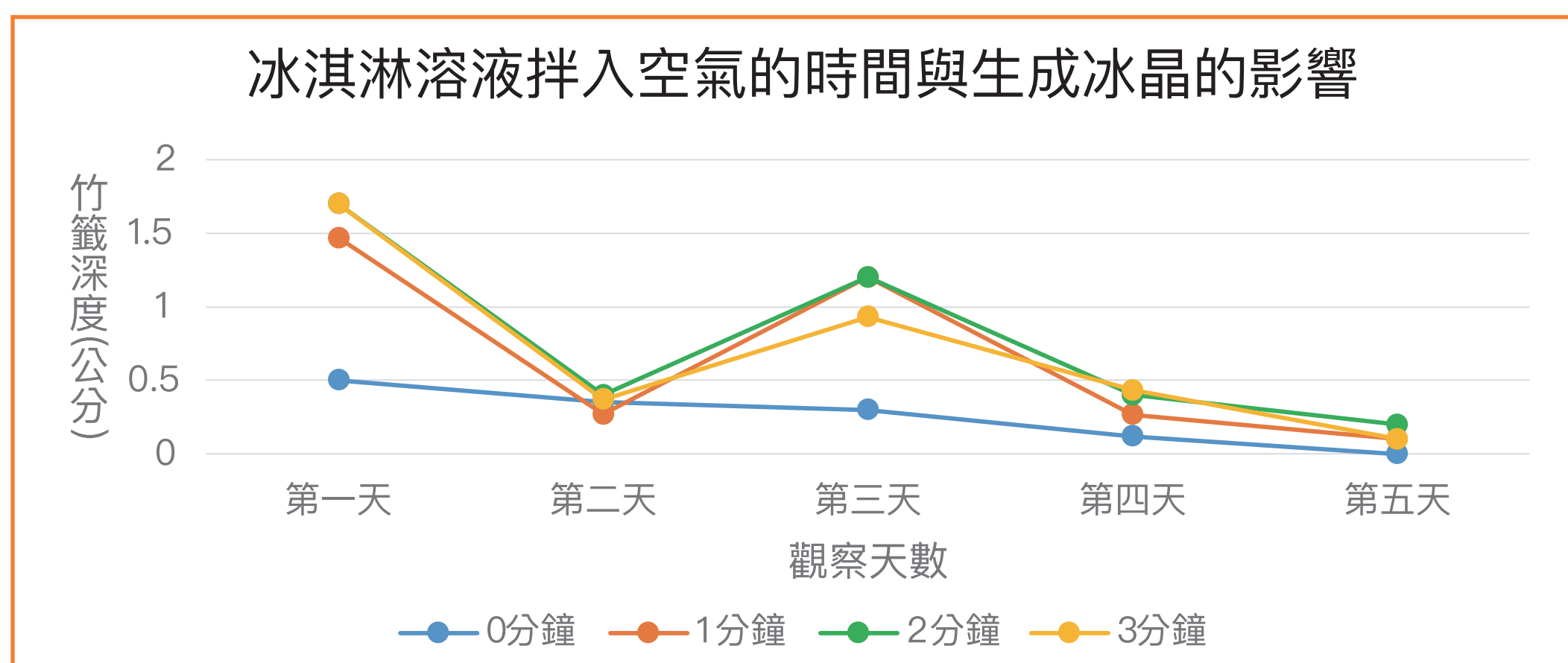


實驗三-7、冰淇淋溶液拌入空氣的時間對冰淇淋質地的影響

冰淇淋溶液打發時間與膨脹高度的影響(本圖由第一作者製作)



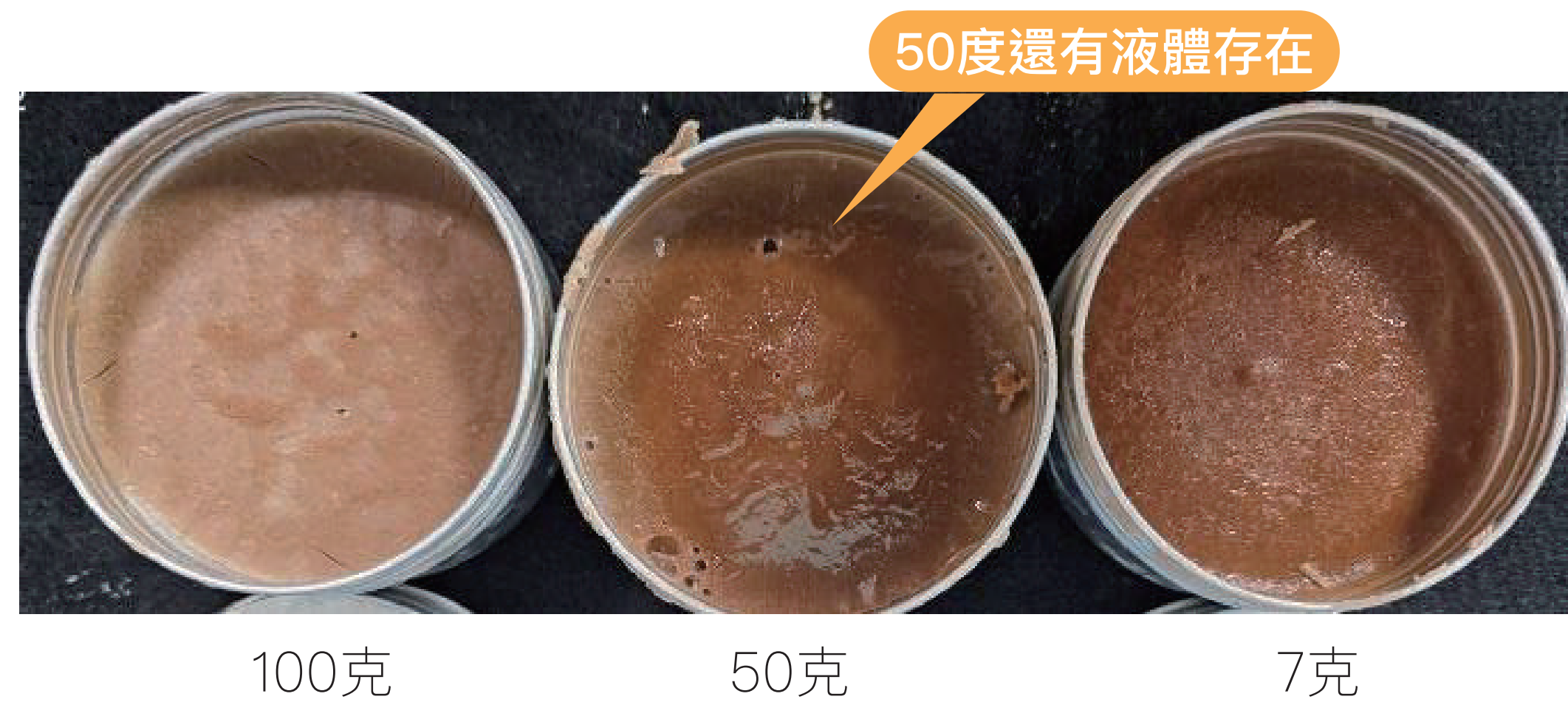
拌入空氣的時間與形成冰晶的影響關係(本圖由第一作者製作)



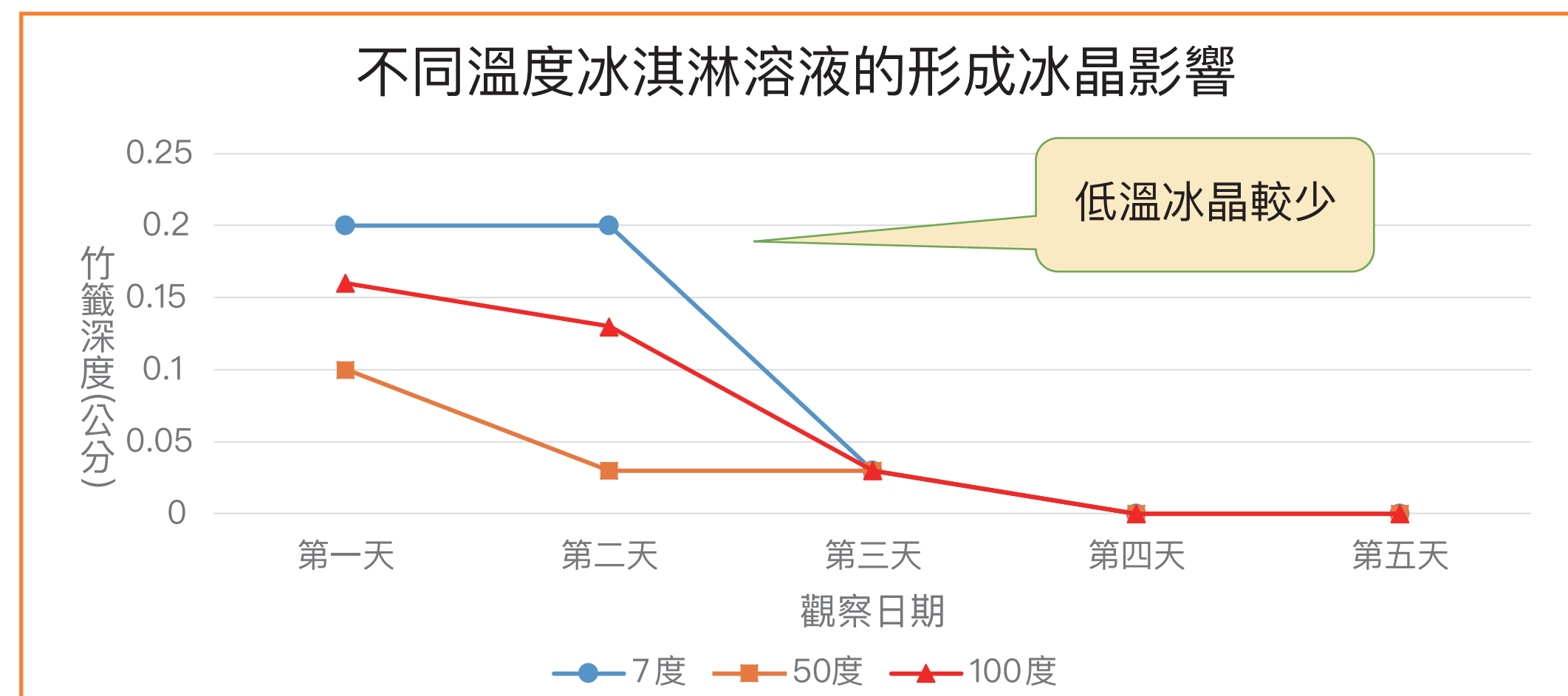
冰淇淋溶液在冷凍的過程中，其水分和脂肪會經歷**結晶的重排**。第三天的冰淇淋可能結晶重新排列，使其冰晶變少，冰淇淋質地變得較鬆軟。冰淇淋中的**空氣泡沫可能會隨著時間逐漸釋放**，導致冰淇淋的質地變得較為軟化。

研究四、驗證彭巴效應

不同溫度的冰淇淋結凍情形(本圖由第一作者製作)



冷凍2小時後，**最先結凍的是溫度最高，100度的冰淇淋溶液**，再來是7度，最慢結凍的是50度。

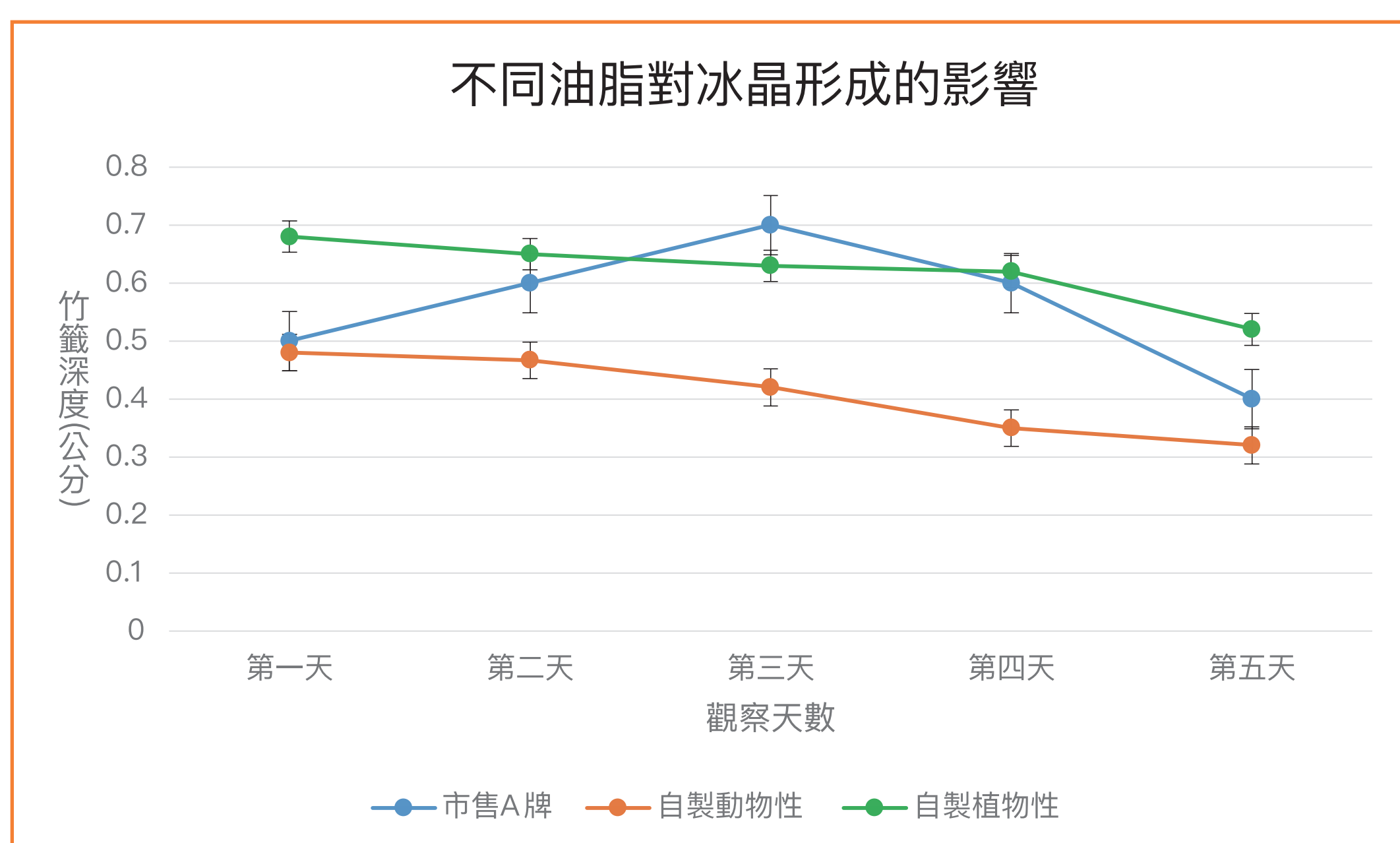


高溫液體放入冰凍中時，它會**迅速釋放熱量**，從而加速周圍冰淇淋溶液的冷卻速度。高溫的冰淇淋溶液是無法將空氣拌入的，所以冰淇淋的質地不會鬆軟，反而容易形成冰晶。

研究五、自製冰淇淋

實驗五-1、不同油脂所自製冰淇淋與市售冰淇淋比較

自製不同油脂冰淇淋與市售冰淇淋比較關係(本圖由第一作者製作)



我們自製冰淇淋在實驗過程中，只做了一次拌入空氣的動作。相較市售冰淇淋可能做了多次拌入空氣的動作。其最後比較冰淇淋鬆軟度並沒有太差。

實驗五-2、比較自製冰淇淋與市售冰淇淋的品評比較

自製冰淇淋與市售冰淇淋的品評比較情形(本圖由第三作者製作)



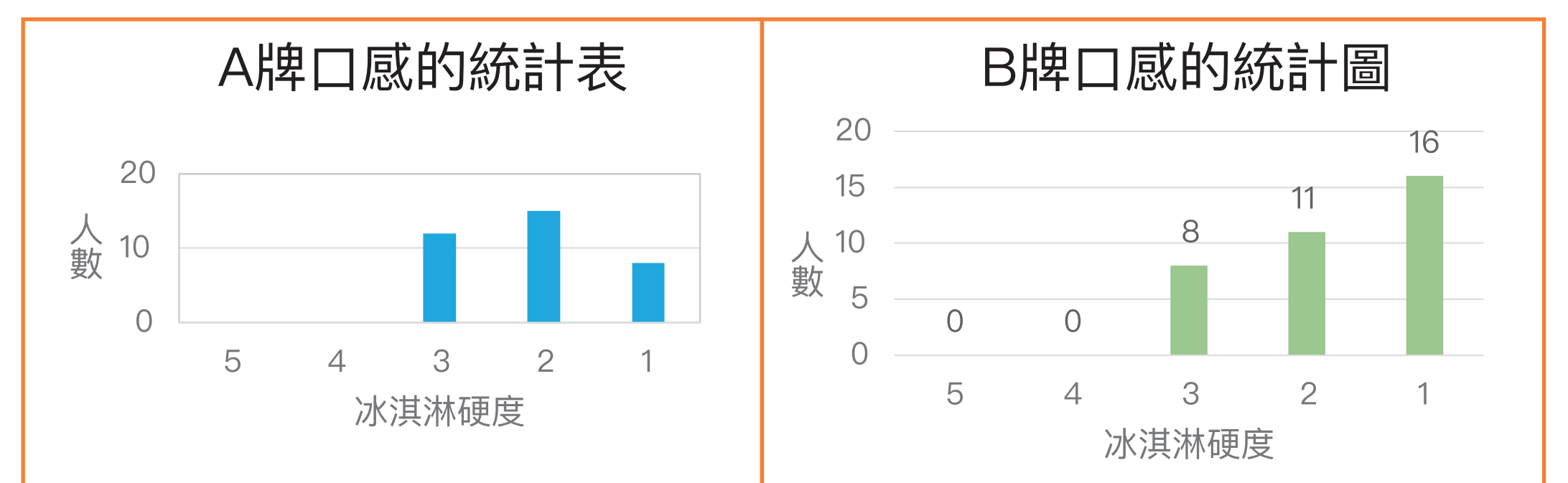
自製冰淇淋



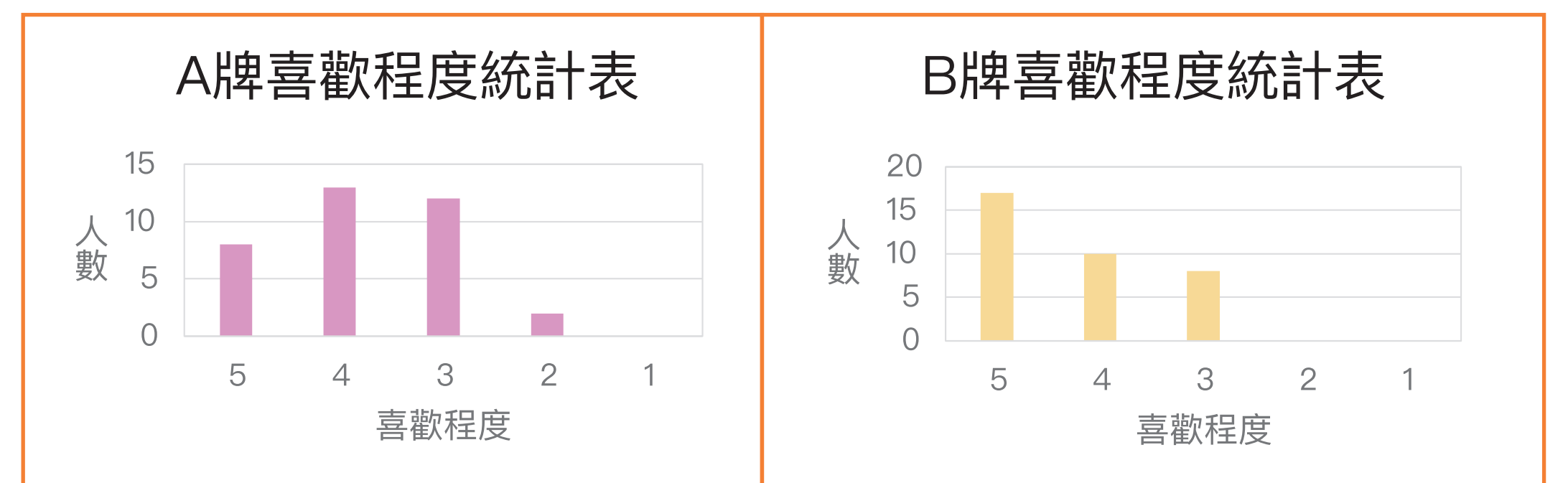
同學們試吃

1.問卷統計：有效問卷35份

兩種品牌冰淇淋硬度比較圖(本圖由第三作者製作)



兩種品牌冰淇淋喜好程度比較圖



A牌為自製冰淇淋，B牌為市售冰淇淋。結果分析出自製冰淇淋在硬度表現上，與市售冰淇淋的差異性不會太明顯，所以我們的配方是成功的。但是在口感喜歡程度上，我們自製冰淇淋用了雙糖(砂糖)，口感上會偏甜導致大部份的同學在喜歡程度上，無法接受太甜膩的口感。以糖度計測得的砂糖的確在甜味上偏甜，所以自製冰淇淋可以考慮用市面上的方法，把單糖和雙糖混合使用。



肆 結論

- 冰淇淋的鬆軟與冰晶形成有關，冰晶會在核化處生長，所以口感鬆軟的冰淇淋要靠**乳脂、糖及空氣來抑制冰晶形成**。
- 冰淇淋溶液中，**動物性的鮮奶油比例高，抑制冰晶形成效果愈好**；植物性鮮奶油易在低溫保持液體狀，**實驗結果15%，抑制冰晶形成效果愈好**。透過混合油脂的實驗，發現動物性與植物性鮮奶油的比例與抑制冰晶形成效果有呈現線性關係，混合油脂是抑制冰晶最好的配方。
- 自製冰淇淋加入糖類中，以單糖效果最好。但是因為考量冰淇淋風味，以**單糖與雙糖混合抑制冰晶最佳**。
- 拌入空氣以**二分鐘最好**，足夠的空氣與乳脂結合，產生口感鬆軟的冰淇淋。
- 冰淇淋溶液**越濃稠**，抑制冰晶效果越好。冰淇淋的濃稠度與抑制冰晶有正相關的關係。
- 彭巴效應對冰淇淋溶液，的確可以在**高溫區(100度)產生最快結凍**的效果，但是高溫的冰淇淋溶液無法打入空氣，所以無法製作出口感鬆軟的冰淇淋。
- 自製冰淇淋與市售冰淇淋的官能品評結果，差距不大，證明我們的研究出簡單做又好吃的冰淇淋。
- 透過這個研究，我們只要看到市售冰淇淋的配方，就可以立刻判斷出這個冰淇淋的口感。

