

臺南市 110 年度國中學生獨立研究競賽作品

作品名稱：飲料產生泡沫機制之探討

編號：



摘要

去年爆紅的 400 次咖啡只要用即溶咖啡粉、糖、熱水 1:1:1，快速打發後就會形成綿密如雲朵般的泡沫，瞬間引起風潮。喜愛奶泡口感的我們，基於好奇便選擇不同咖啡粉、蛋白粉，牛奶等飲品開始嘗試以不同的溫度、糖量、脂肪含量，進行打發泡沫，並觀察是否真的能打出綿密口感，並找出產生泡沫的機制為何。我們利用手動起泡機打發飲品後的泡沫高度及在顯微鏡下觀察泡沫氣泡結構分布情形，綜合結果發現：牛奶在 60°C、不加糖、全脂狀態下，發泡能力最佳；咖啡則是 40°C 的三合一即溶咖啡效果最好！而飲品中蛋白質與脂肪係為打發飲品泡沫的關鍵所在！！

壹、研究動機

2020 年爆紅的 400 次咖啡，是由韓國綜藝節目走訪澳門老店，以即溶咖啡粉、糖、熱水=1:1:1[註 1]快速用手或機器快速打發，形成如奶霜般豐厚焦糖色泡沫而廣為人知。而一杯有著漂亮拉花的咖啡，對消費者來說更有吸引力，尤其是牛奶和咖啡完美融合後帶出來的甜感，更是入口容易，回味無窮。

喜愛奶泡口感又好奇的我們，便開始討論著在綿密如雲朵般的泡沫下，泡沫包覆的是油脂還是空氣？而這些泡沫背後，蘊含的科學原理到底是什麼呢？

貳、研究目的

根據網路的做法，咖啡和牛奶成分的差異會影響泡沫起泡的能力？！因此，本研究將分成兩階段進行泡沫起泡能力之探討。

首先，第一階段部分，我們先釐清咖啡和牛奶成分的差異會影響起泡能力是否為真？第二階段，試著以不同變因找出影響飲品泡沫起泡的程度，並探究形成泡沫中的科學原理！因此，我們的研究目的有以下四點：

- 1、探討**咖啡與牛奶**中不同成分種類對打發泡沫起泡的影響
- 2、探討飲品中**糖量**對泡沫起泡的影響
- 3、探討飲品中**脂肪**對泡沫起泡的影響
- 4、探討飲品**溫度**對泡沫起泡的影響

參、研究設備及器材

一、實驗器材：250c.c 燒杯、溫度計、玻璃棒、酒精燈、陶瓷纖維網、三腳架、量筒、電子秤、載玻片、蓋玻片

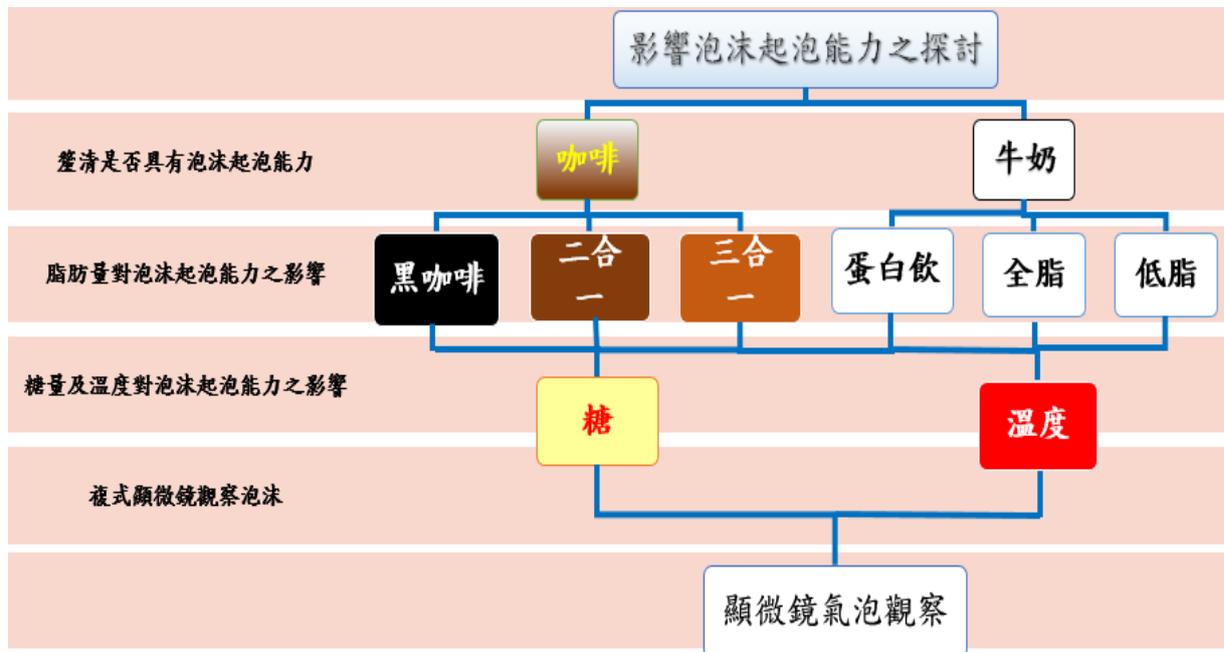
複式顯微鏡	手動奶泡機	電動奶泡器
		

二、實驗材料：

光泉牛奶 (低脂、全脂)	營養補充奶粉 即享雪克	固得 蛋白素	The Diet 尖端 減脂配方粉	糖
				
咖啡 2 合 1 key	純咖啡	貝納頌 三合一咖啡	貝納頌 二合一咖啡	Orgain KETO
				

肆、研究過程或方法

研究流程圖



文獻探討

一、牛奶中的成分

牛奶的蛋白質分為兩個種類-酪蛋白和乳清蛋白，它們出現於脂肪球薄膜的表層。酪蛋白占了 80%，以 100-200 奈米大小的酪蛋白膠粒形式出現，其中包含酪蛋白分子，磷酸鈣，以及水。占 20%的乳清蛋白以單獨形式或小團聚集出現，容易在牛奶加熱時大量聚集，給牛奶帶來額外的黏稠度。

二、牛奶中的脂肪

一般情況下，牛奶中脂肪含量約為 4-5%，以脂肪球的形式存在於牛奶中。這種自然而成的牛奶脂球膜就像界面活性劑可以包覆空氣和水。脂質含量較多的牛奶可能有助於形成較穩定的奶泡，但乳脂是牛奶中主要的脂肪，而這是一種又大又重的脂肪。超過 95%的牛奶乳脂都是直徑 0.1-15 微米的小球，而在脂肪這麼大又重的情況，會壓縮氣泡導致氣泡破裂。

三、牛奶發泡的基本原理

表面張力：牛乳在 15°C 時表面張力為 0.04~0.062/N/m，與牛乳的起泡性、熱

處理、均質作用及風味有密切關係。利用蒸汽去沖打牛奶時，使液態狀的牛奶打入空氣，利用乳清蛋白的表面張力作用，形成許多細小泡沫，讓液態狀的牛奶體積膨脹，成為泡沫狀的牛奶泡。

溫度：當乳清蛋白在加熱過程中展開時，牛奶中的蛋白質鏈一端是親水性、一端是疏水性，當蛋白質在變性過程中展開時，疏水性這一端的蛋白質會試圖遠離牛奶中的水分。這代表每個奶泡的氣泡結構中，內部都是疏水端的蛋白質鏈，親水端則是留在牛奶液體中，這種結構有助於氣泡維持完整的形狀。

糖：在發泡的過程中，乳糖因為溫度升高，溶解於牛奶，並利用發泡的作用使乳糖封在牛奶之中。

總結：根據文獻，我們推測影響牛奶打發泡沫起泡能力主要來自蛋白質，以及溫度的控制，而脂肪量多寡，除了可以影響風味外，少則穩定泡沫，多則有破壞氣泡，有猶不及的效果。因此，我們在實驗樣品上，選擇了蛋白質不同的蛋白飲、脂肪量不同的牛奶為主要對象，並以 40~60°C，作為實驗溫度範圍，以相同的打發工具、觀測工具，進行實驗。

本次實驗選用蛋白粉飲品種類

1. 濃縮乳清蛋白(WHEY protein concentrate)
2. 分離式乳清蛋白(WHEY protein isolate)分離式乳清蛋白的純度較高，大部分的分離式乳清蛋白碳水化合物跟乳糖的部分都會降到最低，甚至不含乳糖。
3. 酪蛋白(Casein protein)酪蛋白含有較多的麩醯胺酸 (glutamine)。
4. 水解乳清蛋白(Hydrolysate protein)是目前市面上最高品質的乳清蛋白
5. 大豆蛋白(Soy protein)是給素食者補充蛋白質的選擇。
6. 分離牛奶蛋白(MILK PROTEIN ISOLATE)包含酪蛋白跟乳清蛋白，另外也富含胺基酸。

五、蛋白質發泡原理

蛋白中有兩種主要的蛋白質—球蛋白與黏液蛋白。球蛋白的作用在於減少蛋白的表面張力，使得空氣被攪打入蛋白後可以產生泡沫，增加表面積從而膨脹開來；黏液蛋白是使形成的泡沫發生熱變性，從而凝固，這樣蛋白內的空氣能夠被包住不外泄。簡而言之，球蛋白使得空氣進入後蛋白得以膨脹，而粘液蛋白形成保護膜以保證空氣不會

漏出去。

六、咖啡起泡原理

1. 咖啡濃度：

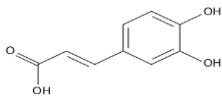
400 次咖啡使用即溶咖啡，與一般咖啡最大差異就在濃度。來自咖啡的固形物佔了 33%，而一般過濾式咖啡只有 1%，所以 400 次咖啡的咖啡濃度是一般咖啡的 30 倍，讓咖啡裡天然含有的界面活性劑，到達較高的濃度，因此能發揮明顯的界面活性效果。在高壓、高溫地瞬間萃取

從咖啡原豆中所含的脂肪成分會與二氧化碳結合，在表面就出現一層白白的泡沫！這種狀態我們稱之為「咖啡油脂 Crema」。

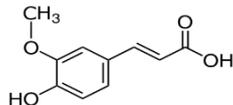
2. 咖啡成分：

咖啡裡具有少許蛋白質，經過即溶咖啡粉的濃縮後，濃度大幅拉高，能發揮較好的界面活性效果。

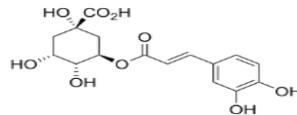
多酚：具有界面活性能力的分子，例如：茶的起泡(茶多酚)或是啤酒花



咖啡酸



阿魏酸



綠原酸

3、多醣：咖啡的碳水化合物裡有一些特殊的水溶性多醣，尤其最重要的是半乳甘露聚醣、阿拉伯甘露聚糖為代表，可以幫助咖啡增加黏稠度、增加口感、也有很好的界面活性。

根據文獻，咖啡能打發出泡沫的關鍵，仍以咖啡所含蛋白質、脂肪量有絕大部分的關聯，因此實驗上，我們也將咖啡納入實驗樣本中，並一同與牛奶進行泡沫起泡能力之探討。

實驗步驟：

一、釐清不同咖啡成份是否具有打發泡沫能力

本實驗以市售純黑咖啡(乾燥脫水咖啡粉)、二合一無糖即溶咖啡粉、三合一咖啡粉，分別取 50g，並以 100°C、100g 水，進行溶解，再以手動奶泡機打發 160 下(約 2 分鐘)，同時也以電動奶泡器嘗試較替打發，以鐵尺、複式顯微鏡觀察其起泡效果及泡沫結構。

二、探討溫度對打發程度之影響

(一)、不同溫度對牛奶打發程度的影響

1. 準備酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網，將牛奶加熱到 30°C
2. 將 1. 倒入奶泡機，打發 160 下(2 分鐘)
3. 測量其高度並取少許以顯微鏡觀察
4. 將牛奶分別加熱到 40°C、50°C、60°C、70°C，重複上述步驟。

(二)、不同溫度對咖啡打發程度的影響

1. 準備電子秤，取 50 克咖啡、100 克水混合攪拌至溶解
2. 準備酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網，將 1. 加熱到 60°C
3. 將 2. 倒入奶泡機，打發 160 下
4. 測量其高度並取少許以顯微鏡觀察
5. 改為 15°C、40°C 重複 1. ~ 4.

二、探討糖分多寡對打發程度的影響

(一)、不同糖分對牛奶打發程度的影響

1. 準備電子秤，秤量紙，秤糖 100 克
2. 將糖加入 100 克牛奶攪拌使其溶解
3. 準備酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網，將牛奶加熱到 60°C
4. 將 3. 倒入奶泡機，分別打發 160 下
5. 測量其高度並取少許以顯微鏡觀察
6. 改為加糖 50 克，重複上述步驟

(二)、不同糖分對咖啡打發程度的影響

1. 準備電子秤，取 100 克純咖啡、糖 100 克混合攪拌至溶解
2. 準備酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網，將 1. 加熱到 40°C
3. 將 2. 倒入奶泡機，打發 160 下
4. 測量其高度並取少許以顯微鏡觀察
5. 改為加糖 50 克重複 1.~4.

三、脂肪多寡對打發程度的影響

1. 準備電子秤，取 100 克全脂牛奶
2. 準備酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網，將 1. 加熱到 60°C
3. 將 2. 倒入奶泡機，打發 160 下
4. 測量其高度並取少許以顯微鏡觀察
5. 改為低脂牛奶、二合一咖啡、純咖啡重複 1. ~ 4.

四、不同種類的蛋白飲發泡程度的比較

1. 準備電子秤，取 10 克乳清蛋白粉，與 90 克水混和攪拌至溶解
2. 準備酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網，將 1. 加熱到 60°C
3. 將 2. 倒入奶泡機，打發 160 下
4. 測量其高度並取少許以顯微鏡觀察
5. 分別以其他種類的乳清蛋白粉，重複上述步驟

五、不同種類的咖啡打發程度的比較

1. 準備電子秤，取 50 克咖啡、100 克水混合攪拌至溶解
2. 準備酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網，將 1. 加熱到 60°C
3. 將 2. 倒入奶泡機，打發 160 下
4. 測量其高度並取少許以顯微鏡觀察
5. 分別以其他品牌的咖啡，重複上述步驟

評判標準

本實驗以低倍、中倍複式顯微鏡，主要觀察泡沫中氣泡被包覆的結構情況，並以鐵尺量出泡沫高度，作為判斷標準。

伍、研究結果與討論

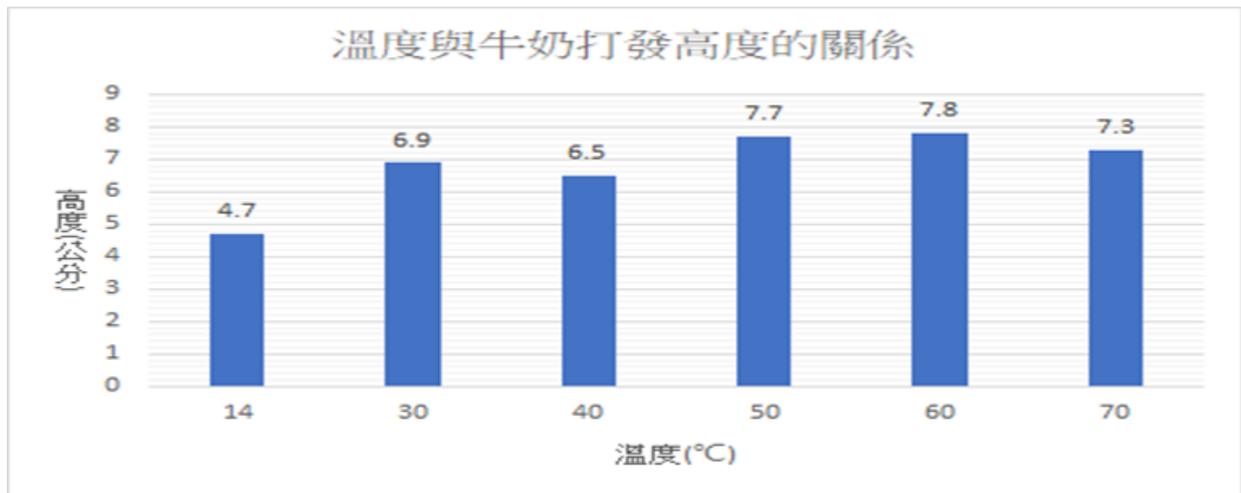
一、不同咖啡成份是否具有打發泡沫能力

1. 黑咖啡、二合一、三合一均能打發出泡沫



2. 實驗初期，我們以手動起泡器及電動起泡器進行產生泡沫的比較，發現以手動起泡器來模擬市面上高壓起泡機的機制，產生的泡沫效果較為明顯，而電動起泡器馬力小、接觸面積小，同時間產生的泡沫效果不佳，因此，以下實驗均採用手動起泡器打發 160 次，約 2 分鐘來進行。(2 分鐘係為市面上蒸氣打發泡沫時間)

二、溫度對起泡程度的探討



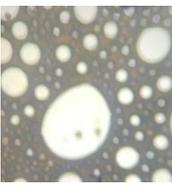
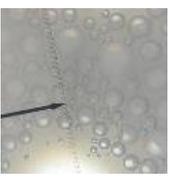
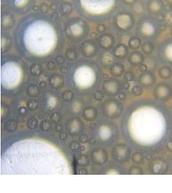
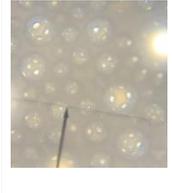
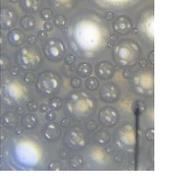
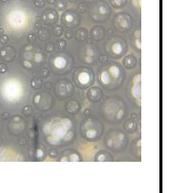
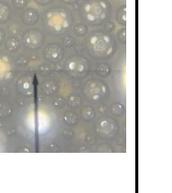
(一)、牛奶

1. 打發高度

- (1). 打發高度有隨著溫度增加而增高的趨勢；60°C 打發高度最高
- (2). 70°C 打發高度較 60°C 略微下降

(3). 溫度在 30、40°C，打發高度落在 6.5~7cm；50、60、70°C 時打發高度落在 7~8cm

2. 顯微鏡下的泡沫

溫度	14°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
顯微鏡下的泡沫 40X 100X						
						

- (1). 低溫(14°C)泡沫外圍蛋白質膜較薄
- (2). 30°C有許多圓形大氣泡
- (3). 40°C以上有泡中泡現象，泡沫較細小且穩定，幾乎沒有大氣泡
- (4). 50°C以上蛋白質膜厚且穩定，其中60°C的大氣泡數量最少

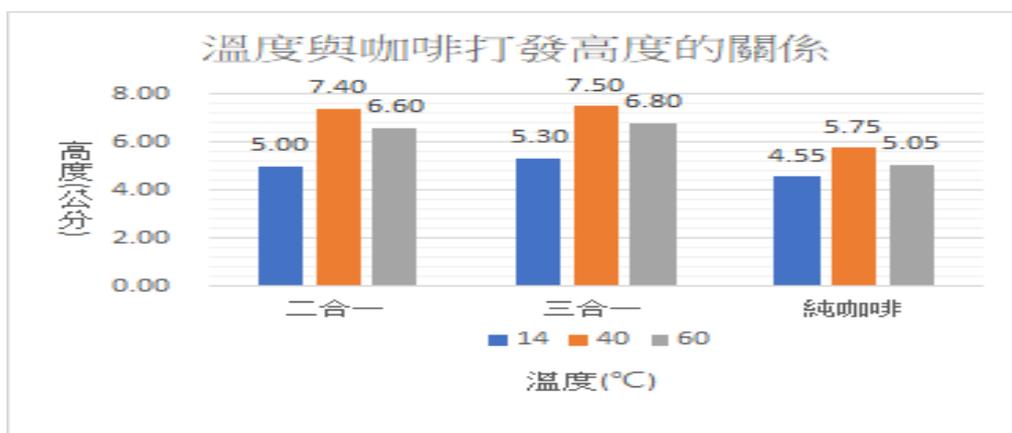
推論

- 溫度增加有助於牛奶起泡能力，牛奶加熱時，促使蛋白質疏水性交互作用，蛋白質的疏水基與脂肪球結合，親水基與水分子結合，蛋白質形成一層薄膜包覆在脂肪球表面
- 低溫(14°C)時，牛奶泡沫高度最低，無法形成堅實的蛋白質膜，推測環境溫度不利於蛋白質膜的形成
- 30°C、40°C時，30°C泡沫不穩定，並快速形成大氣泡，40°C泡沫高度略低於30°C，推測30°C的大氣泡稱大體積，因此膨脹率較大
- 50°C、60°C時，疏水性交互作用最強，觀察有出現脫水現象，黏度上升而且吸附的蛋白質膜變厚，膜的表面變的堅實，可形成較穩定的蛋白質膜，形成較小且分散狀態較好的氣泡，起泡能力較佳，推測高溫疏水性交互作用強，能形成穩定的蛋白質膜。

- 70°C時，打發高度略降低，推測高溫使更多蛋白質變性，破壞其原始特性，因此高度較 60°C 低
- 14-30°C 時牛奶脂肪球在奶泡打發過程不穩定。加溫至 40°C 以上，所有牛奶脂肪融化，液體脂肪在氣泡表面上形成薄膜，有助於防止氣泡聚集，以免形成大氣泡，脂肪球細小化可以增強穩定性

(二)、咖啡

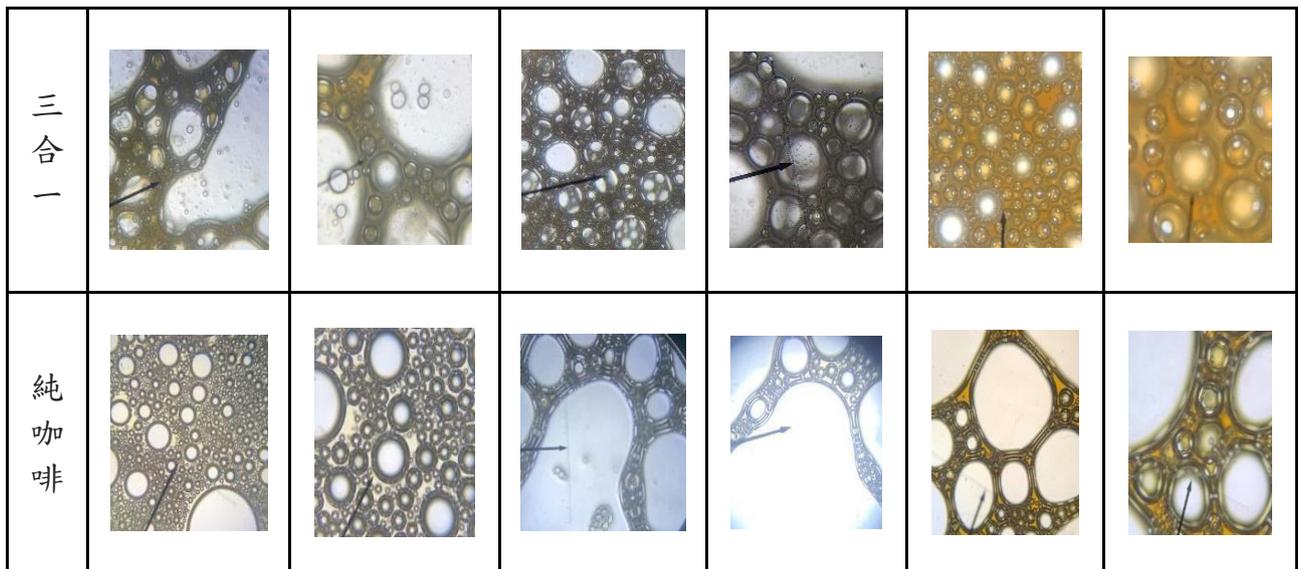
1. 打發高度



- (1). 14°C:打發高度落在 5cm 左右，普遍低於其他溫度
- (2). 40°C:除了純咖啡高度只有 5.75cm，2 合 1 和 3 合 1 咖啡打發高度約是 7.5cm，40°C 打發高度皆高於其他溫度
- (3). 60°C:打發高度介於 14°C 和 40°C，除了純咖啡高度只有 5.05cm，二合一和三合一咖啡打發高度約是 6.5~7cm

2. 顯微鏡下的泡沫

咖啡	14°C 40X	100X	40°C 40X	100X	60°C 40X	100X
二合一						



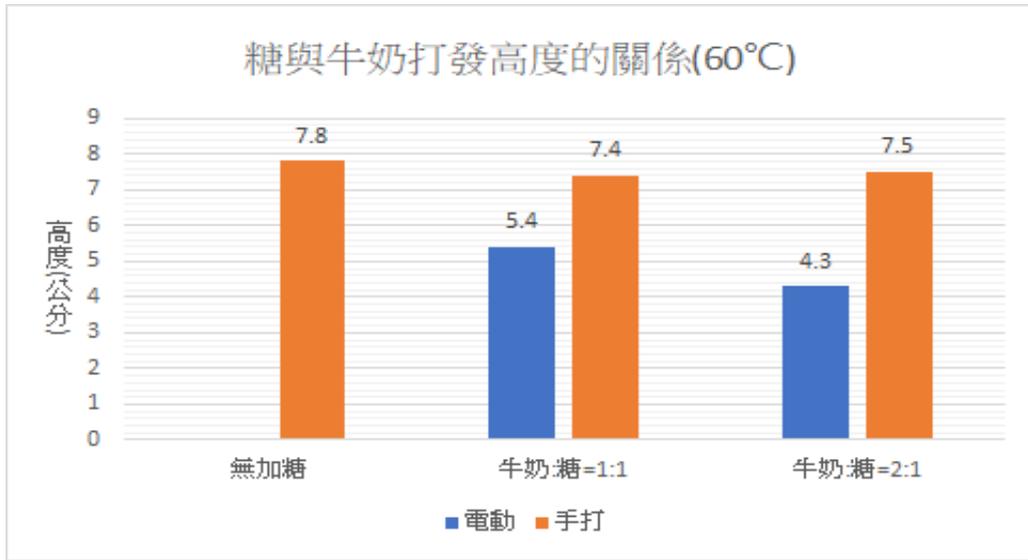
- (1). 14°C:除了純咖啡泡沫形狀較規則，2合1和3合1咖啡產生許多不規則大氣泡，泡沫鬆散，單位面積泡沫數量少於40°C和60°C
- (2). 40°C:純咖啡產生許多大氣泡，無法產生穩定的蛋白質膜。2合1和3合1咖啡在40°C單位面積泡沫數量最多，有泡中泡現象。
- (3). 60°C:純咖啡產生許多圓形大氣泡。2合1和3合1咖啡在60°C單位面積泡沫數量少於40°C，也有泡中泡，但蛋白質膜較40°C厚

推論

- 14°C:不利於蛋白質形成穩定的蛋白質膜，且此時脂肪不穩定，無助於穩定泡沫(2合1和3合1)，但此時咖啡中的多酚與多醣沒有被破壞，兩者又具有介面活性的效果，有助於起泡及泡沫的穩定(純咖啡)
- 40°C:蛋白質間的疏水性交互作用不像60°C強，因此蛋白質膜較60°C不穩定(純咖啡)，但此時脂肪融化有助於穩定泡沫(2合1和3合1)。
- 60°C:蛋白質間的疏水性交互作用最強，蛋白質膜最穩定，融化的脂肪也能穩定泡沫，但此時高溫破壞多酚和多醣，因此高度略低於40°C。

二、糖對起泡程度的影響

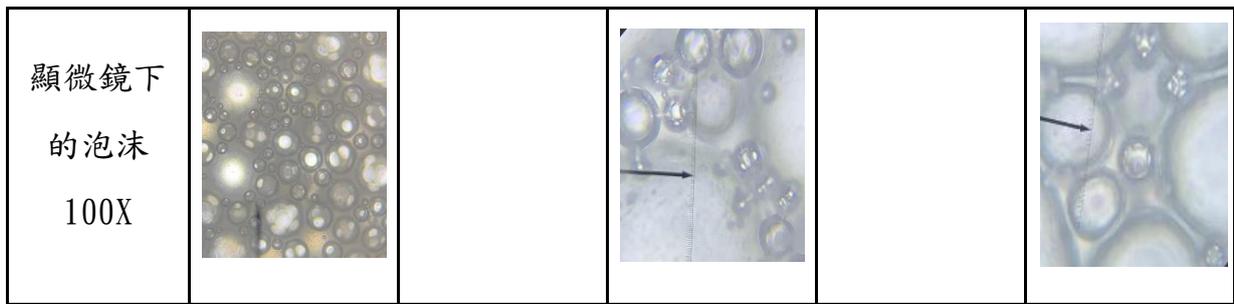
1. 打發高度



- (1). 電動奶泡機的打發高度明顯低於手打奶泡機
- (2). 手打奶泡中，打發高度隨糖量增加而降低
- (3). 電動奶泡中，牛奶:糖=1:1 打發高度卻高於牛奶:糖=2:1

2. 顯微鏡下的泡沫

種類	無加糖牛奶	光泉全脂牛奶：糖 1:1(電動)	光泉全脂牛奶：糖 1:1(手打)	光泉全脂牛奶：糖 2:1(電動)	光泉全脂牛奶：糖 2:1(手打)
高度	7.80cm	5.40cm	7.40cm	4.30cm	7.50cm
顯微鏡下的泡沫 40X					

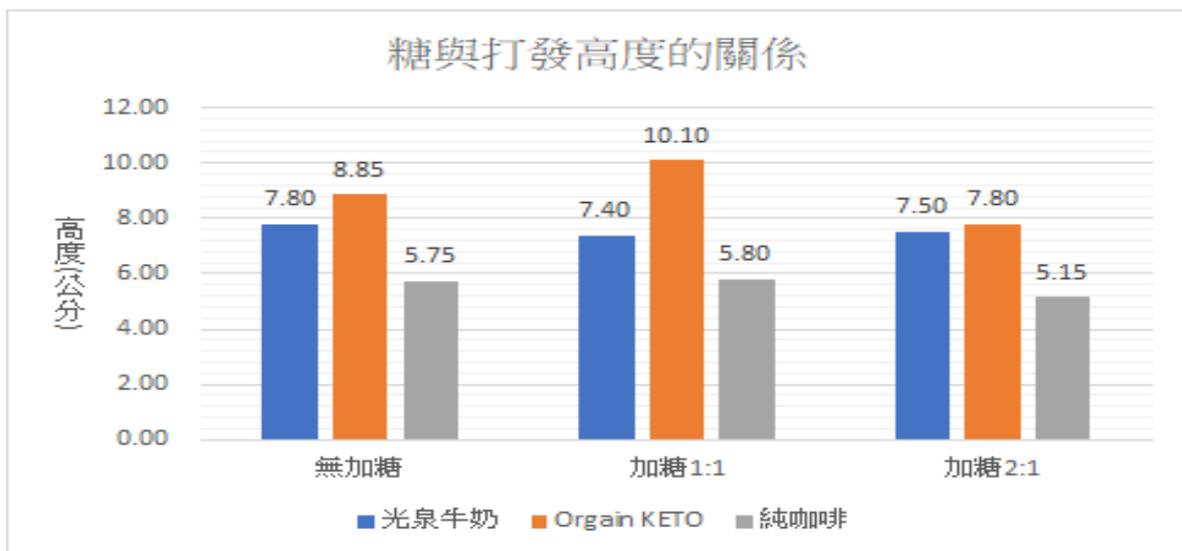


結果

電動奶泡機打出的奶泡單位面積泡沫數量少於手打，且泡沫鬆散，因此以下實驗將捨棄電動奶泡機，以手打奶泡機為主要。

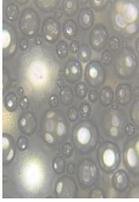
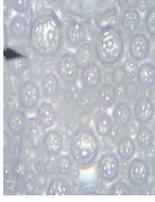
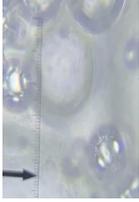
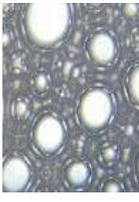
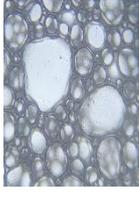
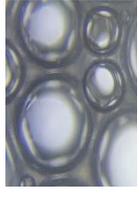
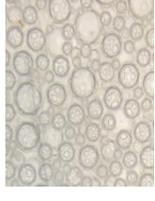
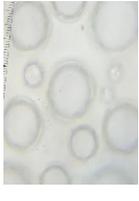
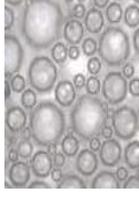
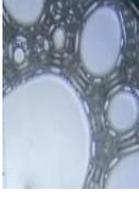
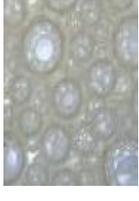
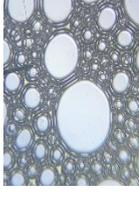
(三)不同飲品

打發高度



- (1). 無加糖:牛奶打發高度高於加糖 1:1 和加糖 2:1，但 Orgain Keto 和純咖啡打發高度低於加糖 1:1
- (2). 加糖 1:1:對於牛奶，打發高度低於無加糖和加糖 2:1，但 Orgain Keto 和純咖啡打發高度高於無加糖和加糖 2:1
- (3). 加糖 2:1:打發高度均低於無加糖和加糖 1:1

2. 泡沫觀察

飲品種類	無糖		加糖 奶:糖=1:1		加糖 奶:糖=2:1	
光泉牛奶						
Orgain KETO						
純咖啡						

3. 加糖 1:1

- (1). 無大氣泡產生，泡沫形狀變規則(圓形)，泡沫粒徑變小
- (2). 光泉牛奶和 Orgain KETO 泡沫之間的距離明顯大於無糖，單位面積泡沫數量變少
- (3). 純咖啡泡沫之間的距離縮短，單位面積泡沫數量明顯變多，有泡中泡現象

加糖 2:1

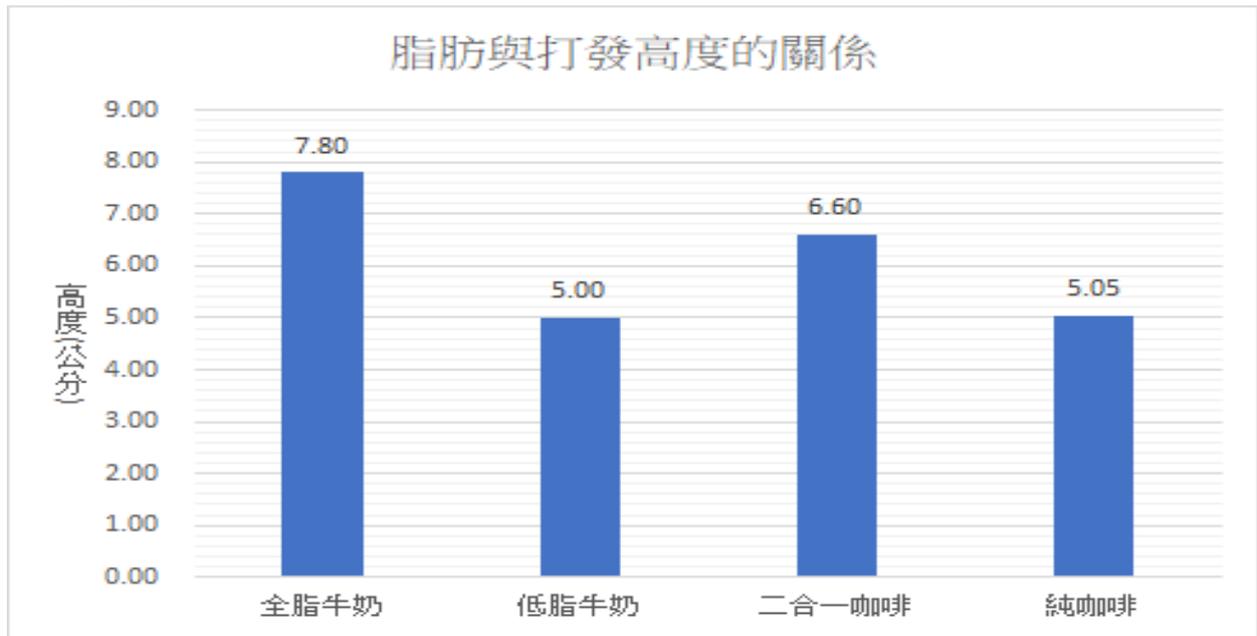
- (4). 泡沫形狀變規則(圓形)
- (5). Orgain KETO 和純咖啡大氣泡數量減少
- (6). 光泉牛奶和 Orgain KETO 泡沫之間的距離略大於無糖，光泉牛奶單位面積泡沫數量變少，但 Orgain KETO 單位面積泡沫數量變多
- (7). 純咖啡泡沫之間的距離縮短，單位面積泡沫數量較多

推論

- 糖抑制牛奶的起泡，但可以穩定泡沫
- 糖抑制 Orgain Keto 起泡，但可以穩定泡沫。但飲品:糖=1:1 打發高度卻高於無糖和飲品:糖=2:1，推測是因為泡沫間的距離明顯變大，這些泡沫的空隙撐大了整體體積，因此膨脹率較大
- 對於純咖啡，雖然糖會抑制蛋白質的起泡，但咖啡中的咖啡因與糖作用能增加界面活性的效果，有助於起泡
- 醣類屬於親水性物質，糖的氫基可與蛋白質中的極性基團形成氫鍵，阻止蛋白質的結合，抑制蛋白質的起泡，但這樣可保護氫鍵的聯結位置不直接暴露，穩定蛋白質膜。

三. 脂肪對起泡程度的探討

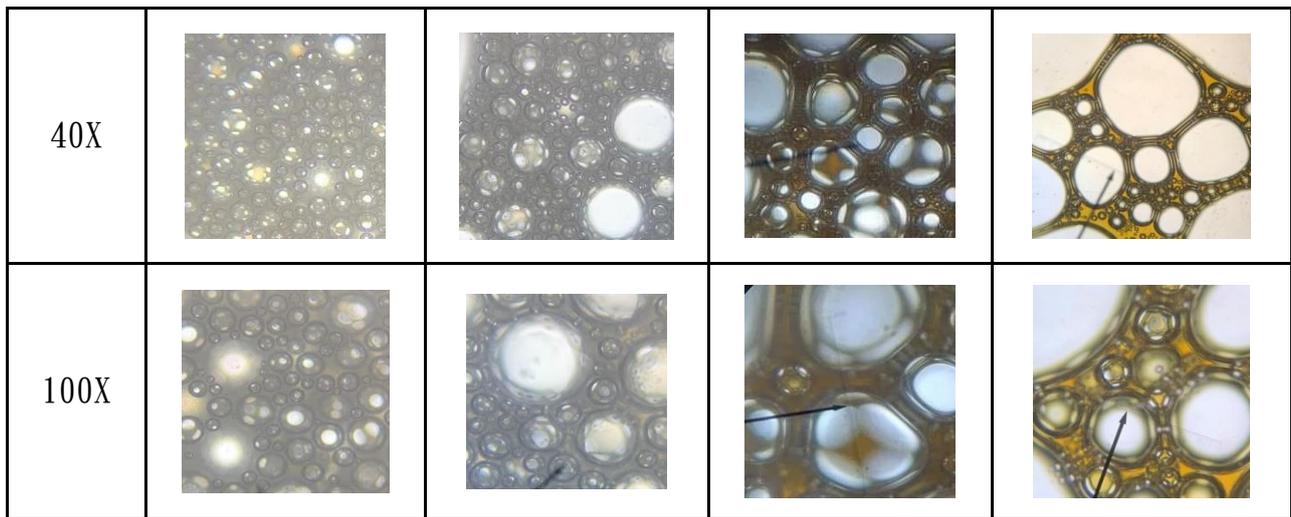
1. 打發高度



- (1). 全脂牛奶打發高度高於低脂牛奶
- (2). 二合一咖啡打發高度高於純咖啡

2. 泡沫觀察

飲品	光泉牛奶	光泉牛奶	2合1咖啡	純咖啡
脂肪量	高脂	低脂	9.23克	無

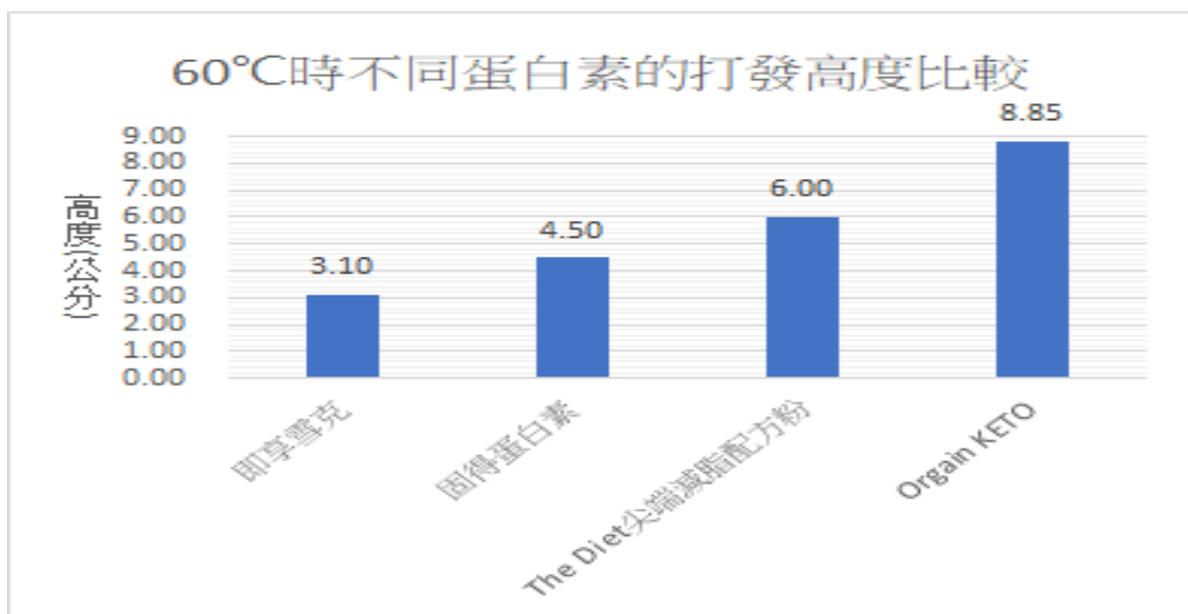


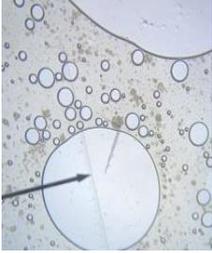
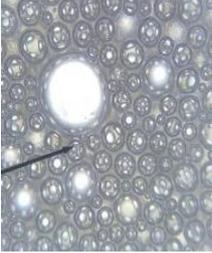
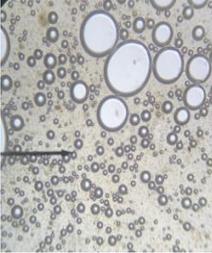
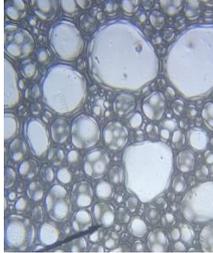
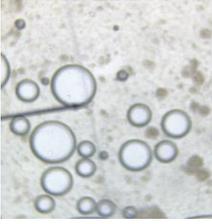
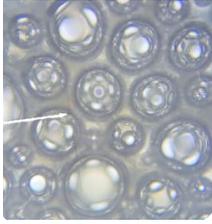
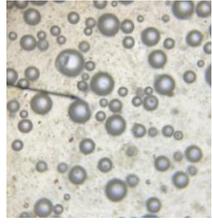
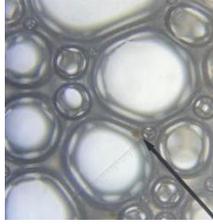
1. 含有較多脂肪的飲品大氣泡數量較少，純咖啡產生最多大氣泡
2. 低脂牛奶單位面積泡沫數量少於全脂牛奶
3. 二合一咖啡有明顯泡中泡現象，純咖啡較不明顯

推論

1. 60°C 的脂肪融化可在泡沫表面形成保護膜，阻止泡沫聚集形成大氣泡，有助於穩定泡沫並提升起泡能力
2. 脂肪對咖啡影響較嚴重，因為加熱到 60°C 破壞多酚和多醣這兩種有助於穩定泡沫的物質，醇咖啡既無脂肪的保護膜，多酚和多醣又被破壞，更降低泡沫的穩定，形成更多大氣泡。

四. 不同種類的蛋白飲的起泡程度打發高度



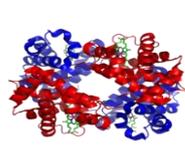
	40°C 即享雪克	固得蛋白素	The Diet 尖端減脂配方粉	Orgain KETO
成分	蛋白質 4.11g (分離大豆蛋白&濃縮乳清蛋白) 脂肪 1.11g 糖 0.21g	分離大豆蛋白 6g 乳清蛋白 4g 無糖無脂肪	蛋白質 7.3g 糖 0.33g 脂肪 0.22g	膠原蛋白 5g 無糖 脂肪 2.5g
高度	7.00cm	4.50cm	6.00cm	8.85cm
40X				
100X				

結果

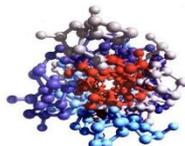
	60°C 即享雪克	40°C 即享雪克	固得蛋白素	The Diet 尖端減脂配方粉	Orgain KETO
泡沫高度	最低	次高	次低	居中	最高
大氣泡數量	略	最多	最少	次多	次少
泡沫大小均一、形狀規則	略	不符合	符合	不符合	不符合
單位面積泡沫數量	略	最少	最多	次少	次多
厚實的蛋白質膜	略	無	有	無	有
泡中泡現象	略	無	有	無	部分有

推論

- 乳清蛋白屬於球狀蛋白，空隙體積較大，較容易受高壓改變其結構，起泡效果較佳，泡沫較穩定。膠原蛋白屬於纖維狀蛋白，空隙體積較小，起泡效果較差，泡沫較不穩定。



球狀蛋白

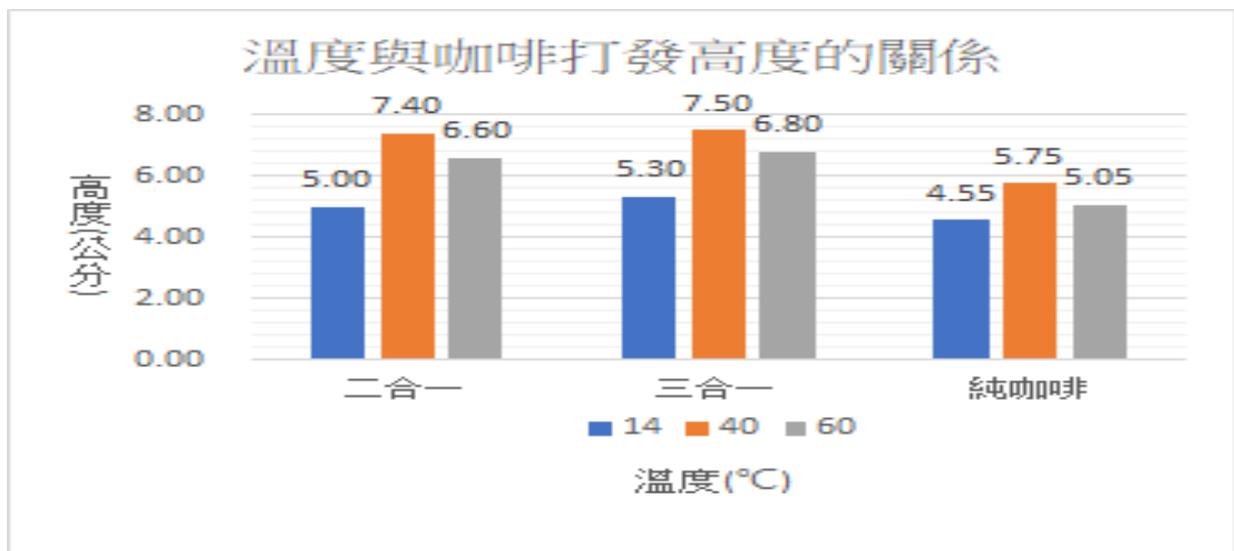


纖維狀蛋白

- Orgain KETO 打發高度卻高於固得蛋白素，推測是脂肪提高 Orgain KETO 打發高度，固得蛋白素不含脂肪，因此打發高度僅高於即享雪克
- The Diet 尖端減脂配方粉較即享雪克含有較多蛋白質，單位面積泡沫數量多於即享雪克，推測蛋白質含量影響起泡能力

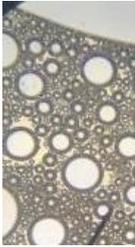
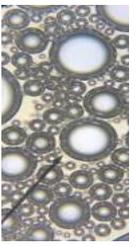
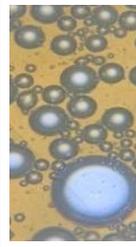
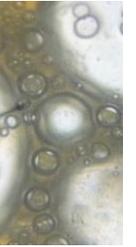
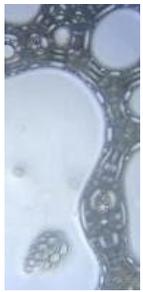
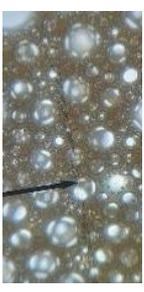
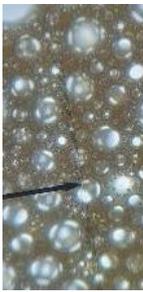
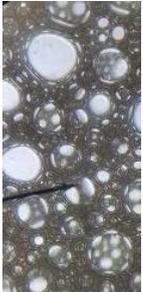
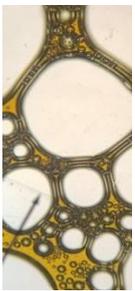
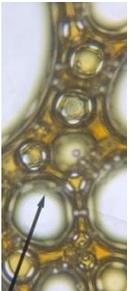
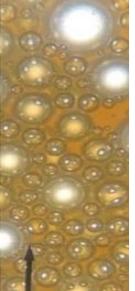
五、不同種類的咖啡的起泡程度

打發高度



- (1). 二合一:無論在什麼溫度下，打發高度皆介於三合一和純咖啡
- (2). 三合一:無論在什麼溫度下，打發高度皆高於二合一和純咖啡
- (3). 純咖啡:無論在什麼溫度下，打發高度皆低於於二合一和三合一咖啡

2. 顯微鏡下的泡沫

飲品種類	純咖啡		二合一		三合一	
14°C						
40°C						
60°C						

純咖啡

- (1). 14°C大氣泡少於二合一和三合一，單位面積泡沫數量多於二合一和三合一
- (2). 40°C大氣泡最多，無穩定的蛋白質膜
- (3). 60°C有許多圓形大氣泡，部分泡沫有泡中泡現象

二合一

- (1). 14°C有許多大氣泡，泡沫鬆散
- (2). 40°C無大氣泡產生，單位面積泡沫數量最多，有泡中泡現象
- (3). 60°C無大氣泡產生，蛋白質膜最厚，但單位面積泡沫數量最少

三合一

- (1). 14°C有許多不規則大氣泡，少部分泡沫有泡中泡現象
- (2). 40°C有些許大氣泡，單位面積泡沫數量最多，有泡中泡現象
- (3). 60°C無大氣泡產生，蛋白質膜最厚，但單位面積泡沫數量最少

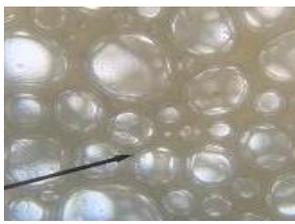
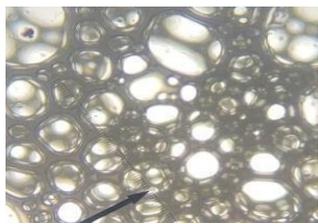
推論

純咖啡：

- 無脂肪，因此在 14°C 時不會因為低溫脂肪的不穩定而影響泡沫的穩定性，再加上此時多酚和多醣等界面活性劑被破壞得最少，因此泡沫較其他種咖啡的泡沫穩定。
- 40°C，蛋白質膜不穩定，多酚和多醣界面活性效果不如 14°C，泡沫極不穩定
- 到了 60°C，雖然蛋白質的疏水性交互作用最強，但多酚和多醣被破壞，又無脂肪幫忙穩定泡沫，泡沫較不穩定。

二合一咖啡 & 三合一咖啡：

- 14°C時脂肪較不穩定，影響泡沫的穩定性
- 40°C蛋白質膜不如 60°C穩定，但脂肪可以穩定泡沫，避免形成大氣泡
- 60°C時脂肪可以在泡沫外圍形成保護膜，有助於穩定泡沫。蛋白質在 60°C時疏水性交互作用有助於促進起泡能力和泡沫穩定性。
- 二合一咖啡含有較多的糖，糖和咖啡因作用對起泡有加成效果，因此泡沫高度略高於二合一咖啡。

手打		蒸氣	
二合一 40°C	二合一 60°C	7-11 熱拿鐵	艾維斯熱拿鐵
			

用高溫高壓蒸氣打出的奶泡(最右邊兩個圖，無大氣泡的產生)，高壓更能粉碎脂肪球，使奶泡外圍形成脂肪膜，因此咖啡店的奶泡較我們自己手打的穩定。

柒、結論

一、溫度對打發的影響

1. 牛奶

打發高度隨著溫度上升而增高，但超過 60°C 高度下降，推測是高溫使蛋白質變性；低溫時，蛋白質膜最薄，50°C 以上膜較厚且穩定、60°C 大氣泡最少；40°C 以上的泡沫較細小且穩定，推測是因為脂肪融化形成薄膜，防止氣泡聚集。

2. 咖啡

40°C 時打發高度最高，純咖啡大氣泡最多、單位面積泡沫數最少，無厚實的蛋白質膜；2 合 1、3 合 1 單位面積泡沫數最多、出現泡中泡；低溫打發高度最低，純咖啡低溫高度最低但單位面積泡沫數最多；2 合 1、3 合 1 大氣泡多，單位面積泡沫數最少且無泡中泡現象，因此，推測咖啡內蛋白質可以產生泡沫，但含有脂肪時，可大大提升泡沫數量，並包覆於泡沫中，形成小泡沫，而降低泡沫高度。

二、糖對打發的影響

1. 牛奶

不加糖的高度最高，加糖 1:1 的最低，推測糖會抑制起泡數量；但加糖後泡沫變得較圓、體積較小，推測糖是可穩定泡沫、延緩消泡速率。

2. 蛋白飲

3. 咖啡

不加糖高度最高，加糖 2:1 高度最低推測糖抑制起泡：不加糖大氣泡最多，單位面積的泡沫最少，加糖後泡沫變圓且較密集，出現泡中泡，推測糖穩定泡沫。

三、脂肪對打發的影響

1. 牛奶

全脂牛奶高度高於低脂牛奶，大氣泡少於低脂牛奶，泡沫間較為緊密。

2. 咖啡

含脂肪較多的 2 合 1 咖啡高度高於純咖啡，大氣泡較少，蛋白質膜較厚實，泡沫間較緊密。

四、不同種類的蛋白飲對打發的影響

根據顯微鏡下單位面積泡沫數量，可得知固得蛋白素最多，且有厚實的蛋白膜包覆、泡中泡形成。分析固得蛋白素中具有分離大豆蛋白 6g、乳清蛋白 4g，除蛋白質質量較高於其他蛋白飲外，也是唯一含有乳清蛋白的飲品，證實含有乳清蛋白是可增加其泡沫起泡能力的！

五、不同種類的咖啡對打發的影響

無論在什麼溫度下，含蛋白質、脂肪及糖的三合一咖啡的打發高度均最高，；只含蛋白質的純咖啡在 14°C 時，大氣泡較少，泡沫較圓，蛋白質最不易變性；三合一及二合一咖啡在 40°C 和 60°C 時(恰好於蛋白質變性、加溫增加氣泡空間條件)，大氣泡均較少且有泡中泡的現象，此時，泡沫起泡效果較佳。

總結：

60 度時蛋白質疏水性交互作用最強，增加起泡能力和泡沫穩定性；添加糖雖會抑制起泡但有助於穩定泡沫，因黏稠度關係導致消泡速率變慢。脂肪在 40 度之前是泡沫不穩定，40 度之後增加膨脹率，有助於穩定泡沫。蛋白質含量愈多有助於提升起泡能力；乳清蛋白泡沫較膠原蛋白穩定，單位面積泡沫數較多，起泡效果較佳；多酚和多糖有助於穩定泡沫，但加熱時失去此效果。

由此得知牛奶產生泡沫機制最好的條件是全脂、溫度控制於 60°C、無糖狀況下，以手動起泡器產生泡沫的綿密程度最好；而咖啡是三合一、在 40°C 時以手動起泡器產生泡沫的綿密程度較好。

本實驗以常見咖啡、牛奶，作為實驗對象，並發現飲品含有蛋白質、脂肪等其他因素是泡沫起泡的重要機制，未來希望試著以更多不同含有蛋白質及脂肪之飲品，看看是否也能製造出氣泡被包覆如雲朵般的綿密感。

捌、參考資料

1. 奶泡為何以及如何影響咖啡風味？
<https://www.perfectdailygrind.com/2018/12/why-does-milk-foam-what-happens-when-it-does/>
2. 新手攻略 | 牛奶發泡的原理和技巧，看完你就懂！
<https://caffes.me/2018/12/27/%E6%96%B0%E6%89%8B%E6%94%BB%E7%95%A5%E4%B8%A8%E7%89%9B%E5%A5%B6%E7%99%BC%E6%B3%A1%E7%9A%84%E5%8E%9F%E7%90%86%E5%92%8C%E6%8A%80%E5%B7%A7%EF%BC%8C%E7%9C%8B%E5%AE%8C%E4%BD%A0%E5%B0%B1%E6%87%82%EF%BC%81/>
3. 為什麼 400 次咖啡要用即溶咖啡粉？
<https://www.cw.com.tw/article/5099909?template=fashion>
4. 打奶泡 | 打出綿密奶泡的四個標準，分層的奶泡要怎麼解決
<https://caffes.me/2018/02/04/%E6%89%93%E5%A5%B6%E6%B3%A1-%E6%89%93%E5%87%BA%E7%B6%BF%E5%AF%86%E5%A5%B6%E6%B3%A1%E7%9A%84%E5%9B%9B%E5%80%8B%E6%A8%99%E6%BA%96%EF%BC%8C%E5%88%86%E5%B1%A4%E7%9A%84%E5%A5%B6%E6%B3%A1%E8%A6%81%E6%80%8E/>
5. 乳清蛋白的種類 <https://ifitness.tw/whey-types/>
6. 羅以琳;洪驊孺;陳羿仔(民國 106 年)。奶泡阻尼效應之研究。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明。
7. <https://food.ltn.com.tw/article/1190> 把握這些重點！輕鬆打出綿密奶泡
8. <https://kknews.cc/food/py9eg3j.html> 讓你的奶泡更持久：50~70°C 真的是最理想的溫度嗎？
9. <https://blog.flowviewtek.com/FVTEK/article-15235> SEM 下的 400 次咖啡
10. [http://juang.bst.ntu.edu.tw/files%20BC/BC2007/Protein\(5\)%202007B.pdf?fclid=IwAR1bBfPORW5EQta2mWzB8SpYCPAAC16nXAN-3YVmf_i_XoNMe05Fieq1xbD8](http://juang.bst.ntu.edu.tw/files%20BC/BC2007/Protein(5)%202007B.pdf?fclid=IwAR1bBfPORW5EQta2mWzB8SpYCPAAC16nXAN-3YVmf_i_XoNMe05Fieq1xbD8)
11. 蛋白質的三級結構與結構 <https://kknews.cc/science/o3rkm55.html>
12. 蛋白質的二級結構、超二級結構與膜體 <https://kknews.cc/news/ppav4yz.html>

13. 健人都說酪蛋白好，到底好在哪？<https://kknews.cc/health/y8ma69j.html>
14. 張光雄(2010)。純咖啡或是拿鐵咖啡 —單味及複方。明通醫藥，399，2-4。
15. 《達人開課，教你手沖好咖啡》，永瀨正人。新北市：楓書坊。
16. 蛋白質功能 <http://www2.nsysu.edu.tw/Bio/images/commen/prot100.pdf>
17. 張鉉宇，咖啡拉花點線面，譚妮如譯，台灣廣廈，新北，2016 初版。
18. 成真咖啡官網 <https://www.cometrue-coffee.com/>