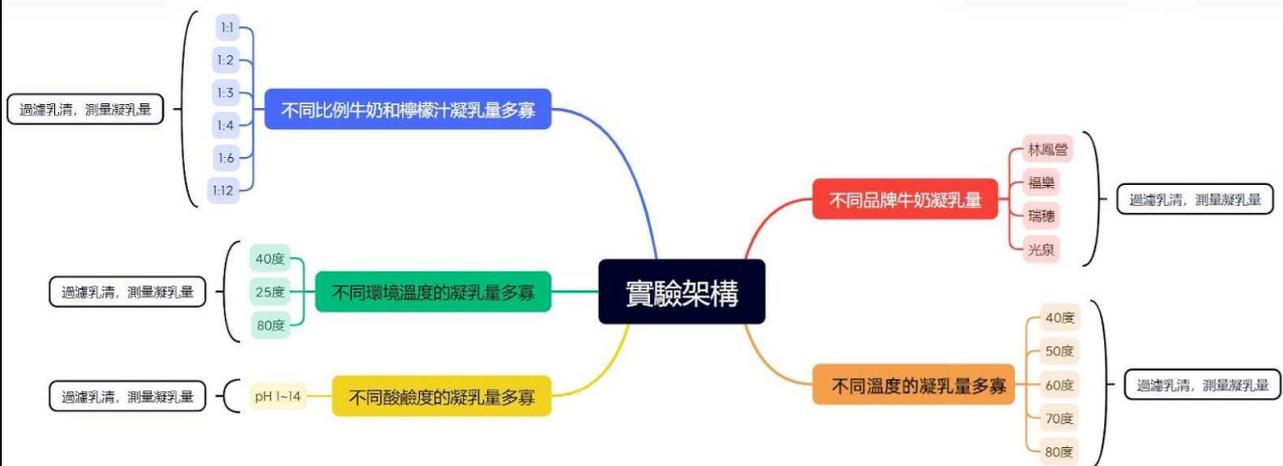


2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：遺臭萬年的牛奶之凝固量探討				
一、摘要				
<p>這項實驗旨在探討牛奶凝乳的影響因素，包括牛奶品牌、初始溫度、酸鹼值、環境溫度以及牛奶和檸檬汁的比例。透過添加檸檬酸促使牛奶凝固，實驗發現牛奶中的蛋白質含量與凝乳量呈正相關，且不同初始溫度、酸鹼值及環境溫度皆影響凝乳結果。其中，1:1 的牛奶和檸檬汁比例產生最大凝乳量。結論得知，理解這些影響因素有助於製備起司等發酵製品，或者鮮奶保鮮方式。</p>				
二、探究題目與動機				
<p>夏天時，乳製品放在常溫一段時間之後就很容易壞掉結塊，所以我們想探討乳製品在不同溫度、不同酸鹼值、不同時間，所結塊的程度。經過查詢資料，製作豆腐乳時，添加 20% 檸檬汁在 45°C 時靜置 25 分鐘有最佳凝乳效果(趙世琛等，2007)、在牛奶及豆漿中加檸檬酸顆粒或酸液，其凝乳效果均優於加蘋果酸者，可見檸檬酸有助於凝乳生成，不同溫度造成蛋白質不同的變化，進行凝乳反應時牛奶最佳的加熱溫度為 45°C(蔡介筠等，2013)、酸或凝乳酶加入，酪蛋白會凝結成塊(Sophia,2019)。我們知道了牛奶中的蛋白質遇酸會有凝固的現象，所以在實驗過程中添加檸檬酸加速反應。</p>				
三、探究目的與假設				
<p>(一) 探討不同品牌牛奶凝乳量多寡 (二) 探討不同初始溫度牛奶的凝乳量多寡 (三) 探討不同酸鹼值的凝乳量多寡 (四) 探討不同環境溫度的凝乳量多寡 (五) 探討不同比例的牛奶和檸檬汁凝乳量多寡</p>				
四、探究方法與驗證步驟				
一、研究設備與器材				
各種品牌的牛奶(林鳳營、瑞穗、福樂、光泉)				溫度計
電子磅秤	量筒	滴管	過濾袋	氫氧化鈉
鹽酸	pH 值感測器	檸檬汁	酒精燈	三腳架
陶瓷纖維網	烘箱	試管	試管架	計時器

二、研究架構



三、研究方法與結果討論

(一) 探討不同品牌牛奶凝乳量多寡

1. 準備不同品牌的鮮乳各 10 毫升，如表(一)

表(一) 不同品牌牛奶

實驗組別	1	2	3	4
牛奶品牌	林鳳營	光泉	瑞穗	福樂

2. 準備酒精燈、三腳架及陶瓷纖維網，將牛奶加熱至 55 度，使用溫度計追蹤溫度。

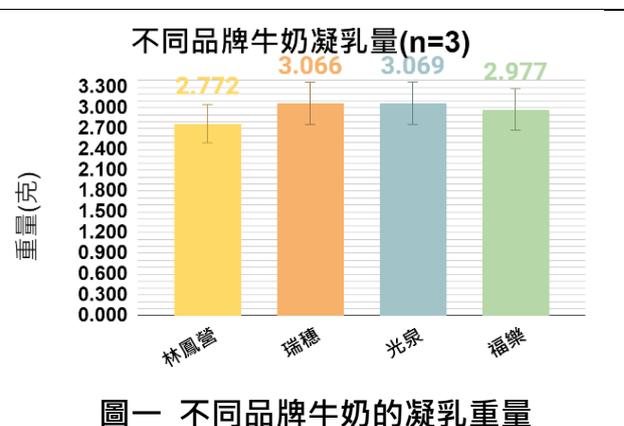
3. 用量筒取 10 毫升鮮乳注入試管內。

4. 加入 3 毫升飽和檸檬酸水溶液。

5. 50 分鐘後，將結塊的部分用濾網篩出

6. 用電子磅秤測量結塊部分的重量。

7. 利用 google 試算表製作長條圖後，再使用 SPSS 統計軟體進行 ANOVA 分析，比較四種牛奶品牌對凝乳量是否有差異，如圖一。



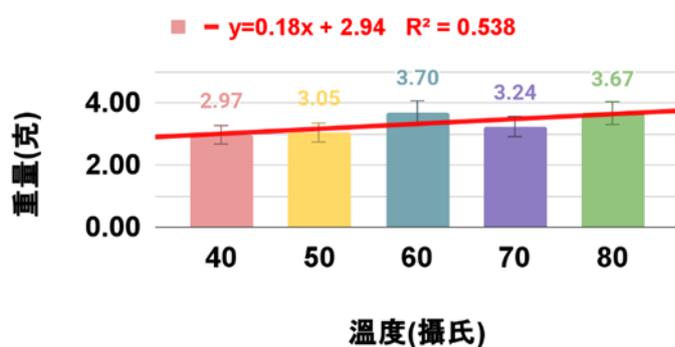
圖一 不同品牌牛奶的凝乳重量

林鳳營的平均凝乳量為 2.772g，瑞穗 3.066g，光泉為 3.069g，福樂為 2.977g，平均凝乳量多寡：光泉 > 瑞穗 > 福樂 > 林鳳營，經過單因子變數(ANOVA)分析，顯著值(p value)皆大於 0.05，彼此間無顯著差異。

8. 討論

經由查詢牛奶蛋白質含量後，光泉的蛋白質含量 3.3g/100ml，瑞穗的蛋白質含量 3.2g/100ml，福樂的蛋白質含量 3.1g/100ml，林鳳營的蛋白質含量 3g/100ml。經過查詢資料，蛋白質處於等電點(不同的蛋白質是由不同種類與數量的胺基酸所組成，故不同種類的蛋白質在不同的酸鹼值溶液中所帶的電荷亦不同。當特定蛋白質在特定酸鹼值的溶液中，其攜帶的淨電荷為 0(正電荷數量等於負電荷數量)，該 pH 值稱為該蛋白質的等電點(Isoelectric Point, pI)。)時容易沉澱結塊(蔡任圍，2020)，我們推測，蛋白質含量雖和凝乳量多寡成正相關，但由於本實驗牛奶量較少，且每組 pH 值相同，因此未必達個牛奶蛋白的等電點。

探討不同初始溫度的凝乳量多寡(n=3)



圖二 不同初始溫度的牛奶凝乳重量

平均凝乳量多寡:60°C > 80°C > 70°C > 50°C > 40°C。經過單因子變異數(ANOVA)分析，顯著值皆大於 0.05，整體並無顯著差異，不過 R² 值為 0.538，表示牛奶的初始溫度上升對凝乳量有中等正相關。

(二) 探討不同初始溫度牛奶的凝乳量多寡(使用實驗一中凝乳量效果最好的品牌：光泉)

1. 將光泉牛奶分別加熱至 40 度、50 度、60 度、70 度、80 度
2. 用量筒取 10 毫升鮮乳注入試管內
3. 加入 3 毫升飽和檸檬酸水溶液
4. 再靜置 55 分鐘
5. 將結塊的部分用濾網篩出
6. 用電子磅秤測量結塊部分的重量
7. 實驗進行三重複
8. 將不同時間及凝乳量製作成長條圖並畫出趨勢線，計算相關係數(R²)，如圖二。

9. 結果討論

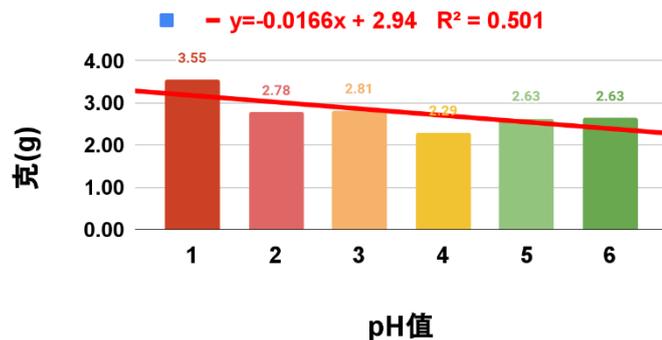
經過查詢資料，牛乳中的主要蛋白質有酪蛋白(80%)和乳清蛋白(20%)。酪蛋白耐熱性比較高，通常溫度在攝氏 100°C 以下都不會凝固(林慶文，2009)、酪蛋白的等電點大約在 pH 4.6(蔡任圍，2020)、於酸性環境中，兩種蛋白質會分離，酪蛋白沉澱，乳清蛋白為澄清液。因此我們推測，實驗二之所以有凝固，主要是因為有添加檸檬汁符合酪蛋白喜好的 pH 值。

(三) 探討不同酸鹼值的凝乳量多寡(使用光泉牛奶)

1. 將牛奶加熱至 55°C
 2. 用量筒取 10 毫升鮮乳注入試管內
 3. 加入 1 毫升飽和檸檬酸水溶液
 4. 再分別加入 2ml 的 pH 值 1-14 的溶液
- (1) 配置 pH 值 1-7 的鹽酸

- ① 取 10 毫升的 1M 鹽酸，加水至 100 毫升，可得到 0.1M(pH=1)的鹽酸
- ② 取 10 毫升的 0.1M 鹽酸，加水至 100 毫升，可得到 0.01M(pH=2)的鹽酸
- ③ 以此類推，做到 10^{-7} M(pH 值趨近於 7)的鹽酸
- (2) 配置 pH 值 7-14 的氫氧化鈉水溶液
 - ① 取 2 公克的氫氧化鈉加水至 50 毫升，配出 1M 的氫氧化鈉水溶液
 - ② 取 10 毫升的 1M 氫氧化鈉水溶液，加水至 100 毫升，可得到 0.1M(pH=14)的氫氧化鈉水溶液
 - ③ 取 10 毫升的 0.1M 氫氧化鈉水溶液，加水至 100 毫升，可得到 0.01M(pH=13)的氫氧化鈉水溶液
 - ④ 以此類推，做到 10^{-7} M(pH 值趨近於 7)的氫氧化鈉水溶液
5. 50 分鐘後，將結塊的部分用濾網篩出
6. 用電子磅秤測量結塊部分的重量
7. 實驗進行三重複
8. 將不同時間及凝乳量製作成長條圖並計算相關係數(R^2)，判斷兩者的相關性，如圖三、四。

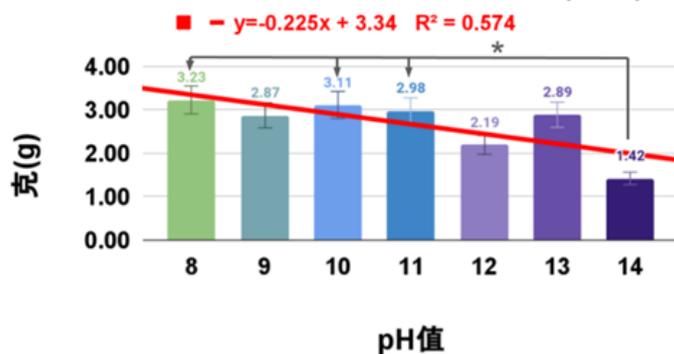
探討酸性濃度大小的凝乳量多寡(n=3)



圖三 不同酸性的對牛奶凝乳重量

平均凝乳量多寡：pH=1 > pH=3 > pH=2 > pH=5 ≈ pH=6 > pH=4。經過單因子變數(ANOVA)分析，pH=1-7 間的顯著值(p value)皆大於 0.05，無顯著差異，不過 R^2 值為 0.501，表示 pH 值 1-7 對凝乳量有中等正相關。

探討鹼性濃度大小的凝乳量多寡(n=3)



圖四 不同鹼性的對牛奶凝乳重量

在 pH 值大於 7 時，平均凝乳量多寡：pH=8 > pH=10 > pH=11 > pH=13 > pH=9 > pH=12 > pH=14，pH=7 的凝乳量為 3.55g，經過單因子變數(ANOVA)分析，pH=14 的平均凝乳量顯著值小於 pH=8、pH=10 及 pH=11 的平均凝乳量($p < 0.05$)，而 R^2 值為 0.574，表示 pH 值 8-14 對凝乳量有中等負相關。

9. 討論-1(呼應圖三)

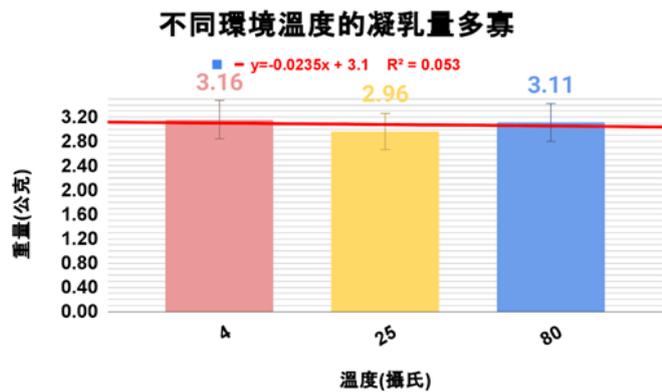
經過查詢資料，酪蛋白的溶解度在 pH4-5 最低(蔡任圃，2020)。而實驗三 pH4-5 的凝乳量卻最低，我們推論為我們的實驗有誤差，我們推測或許牛奶量增加才會看出差異。

12. 討論-2(呼應圖四)

鹼性溶液易使奶類蛋白質塑膠溶解，形成軟膠狀態(楊甸翌等，2018)。因此我們推論，pH>7 時，pH 值越大會導致凝乳量減少，造成此實驗凝固的原因是檸檬汁。

(四) 探討不同環境溫度的凝乳量多寡(使用光泉牛奶)

1. 將光泉牛奶加熱至 55 度
2. 用量筒取 10 毫升鮮乳注入試管內
3. 加入 3 毫升飽和檸檬酸水溶液
4. 分別置於冷藏庫(4 度)、室溫(25 度)、恆溫箱(80 度)的環境
5. 50 分鐘後，將結塊的部分用濾網篩出
6. 用電子磅秤測量結塊部分的重量
7. 實驗進行三重複
8. 將不同環境溫度及凝乳量製作成長條圖並計算相關係數(R^2)，如圖五。



圖五 不同環境溫度對牛奶凝乳重量

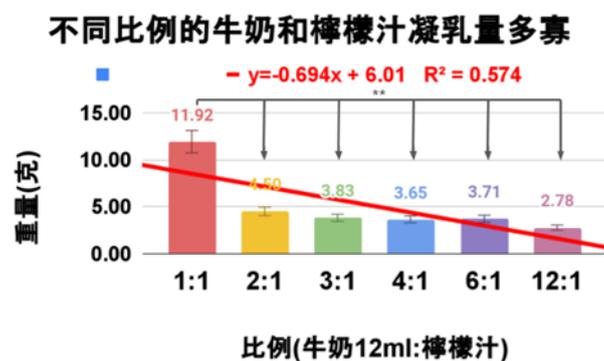
平均凝乳量多寡:4°C > 80°C > 25°C，經過單因子變數(ANOVA)分析，顯著值皆大於 0.05，整體並無顯著差異，而 R^2 值為 0.053，表示不同環境溫度跟凝乳量無相關性

8. 討論

夏天牛奶易凝固是因為奶類營養豐富，細菌易繁殖，乳酸菌會將乳糖分解為乳酸，進而使鮮乳的酸度提高，在酸度提高的狀態下，鮮乳當中的酪蛋白便會從原先細小散落逐漸凝結在一起，最終呈現塊狀，但本實驗無明顯差異，我們推測與加熱時間過短有關。

(五) 探討不同比例的牛奶和檸檬汁凝乳量多寡(使用光泉牛奶)

1. 將牛奶加熱至 55 度
2. 用量筒取 12 毫升鮮乳注入試管內
3. 分別加入 12 毫升(1:1)、6 毫升(2:1)、4 毫升(3:1)、3 毫升(4:1)、2 毫升(6:1)、1 毫升(12:1) 飽和檸檬酸水溶液
4. 靜置 55 分鐘
5. 將結塊的部分用濾網篩出
6. 用電子磅秤測量結塊部分的重量
7. 實驗進行三重複



圖六 不同牛奶和檸檬汁比例對牛奶凝乳重量

檸檬汁和牛奶比例不同對於凝乳量得比較為 1:1>2:1>3:1>6:1>4:1>12:1，經過單因子變數(ANOVA)分析，1:1 顯著值大於 2:1、3:1、4:1、6:1 與 12:1($p < 0.01^{**}$)，而 R^2 值為 0.574，表示牛奶/檸檬汁比例值對凝乳量有中等負相關

8. 討論

由此推論，檸檬汁含量與牛奶相似時，凝乳量很大，而少於鮮奶的一半時，對凝乳量影響就不顯著。

五、結論與生活應用

(一)結論

(1)牛奶中的蛋白質大致分為兩種：酪蛋白(80%)、乳清蛋白(20%)，而讓牛奶凝固的成分主要是酪蛋白，加入酸性物質也可以幫助牛奶凝固。

(2)當牛奶的蛋白質含量越高時，凝乳量越多，酪蛋白的耐熱性高，超過 100°C 才會凝固，因此我們在實驗中加入檸檬汁讓牛奶凝固。

(3)經過查詢資料了解到酪蛋白的等電點約為 pH=4.6，我們實驗數據卻在鹽酸 pH=4 及 pH=5 時的凝固量最少，以對照組(檸檬汁 pH=2~3)來看，數據和查詢到的資料符合，推測是鹽酸濃度錯誤。而鹼性溶液會使蛋白質溶解，所以牛奶的凝固量在 pH 值>7 時比較少。

(4)環境溫度對於牛奶凝固沒有影響，之所以平常牛奶於室溫下易凝固，是因為室溫讓細菌繁殖，進而使牛奶變酸，蛋白質遇到酸性物質就凝固了。

(5)當檸檬汁體積和牛奶接近時，產生的物質偏水狀，當檸檬汁體積低於牛奶的一半時，產生的物質是固狀。

(二)生活應用

以牛奶凝固的特性，得知應用於乳製品，例如起司、乳酪或優酪乳等，也可以提供大眾牛奶保鮮的方式。

參考資料

1. 蔡介筠、鄧羽嫻、王瞳、陳俊源、張睿軒(2013)。少年起司的奇幻漂流 ~ 探討牛奶與豆漿的凝乳現象。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會。
2. 趙世琛、何美芳、董彥欣、鄧真承(2007)。一場西方乾酪與東方豆腐乳奇妙相遇-『氣死(Cheese)豆腐乳』奇幻誕生。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會。
3. 蔡任圃(2020 年 12 月 18 日)。牛奶與豆漿為何加醋後會凝固？蔡任圃(艦長)的教學網站。
https://captainbiologyclass.blogspot.com/2020/12/blog-post_88.html
4. 林慶文(2009 年 11 月 10 日)。把牛奶列入菜單。學術園地。
<https://www.angrin.tlri.gov.tw/cow/dhi86/dhi86P50.htm>
5. Sophia(2019 年 07 月 24 日)。從起司工廠的廢棄物到健身必備，貴鬆鬆的「乳清蛋白」是怎麼來的？
<https://pansci.asia/archives/164835>
6. 楊甸翌、黃宇詳、陳眉攸、李君瑜(2018)。蛋白質得來塑。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。