

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

佳作

080203

少年起司的奇幻漂流

～探討牛奶與豆漿的凝乳現象

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 蔡介筠 小六 鄧羽嫻 小六 王 瞳 小六 陳俊源 小六 張睿軒	指導老師： 張慧娟 林亭君
---	-----------------------------

關鍵詞：凝乳現象、酸鹼值、溫度

少年起司的奇幻漂流 ~探討牛奶與豆漿的凝乳現象

摘要

本研究緣起於想讓吃全素者也能享受吃起司的美味，接著透過文獻探討，再藉由實驗及操作瞭解酸、乳酸菌、凝固劑、加熱溫度及時間等因素對凝乳現象的影響。最後希望能嘗試自製牛奶起司與豆漿起司。

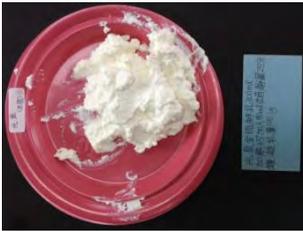
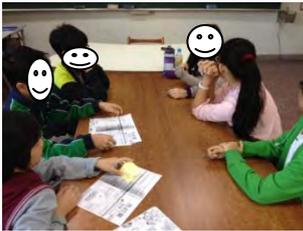
透過一系列的實驗操作，我們瞭解牛奶與豆漿的凝乳的特殊現象，在本研究中牛奶的取得佔去高額の實驗經費而豆漿成本較低卻有更多的凝乳量，由此推論若能研究出最佳的豆漿凝乳配方應具其經濟價值；而且豆漿起司的研發也可以造福吃全素者，讓他們享受起司的美味。

壹、研究動機

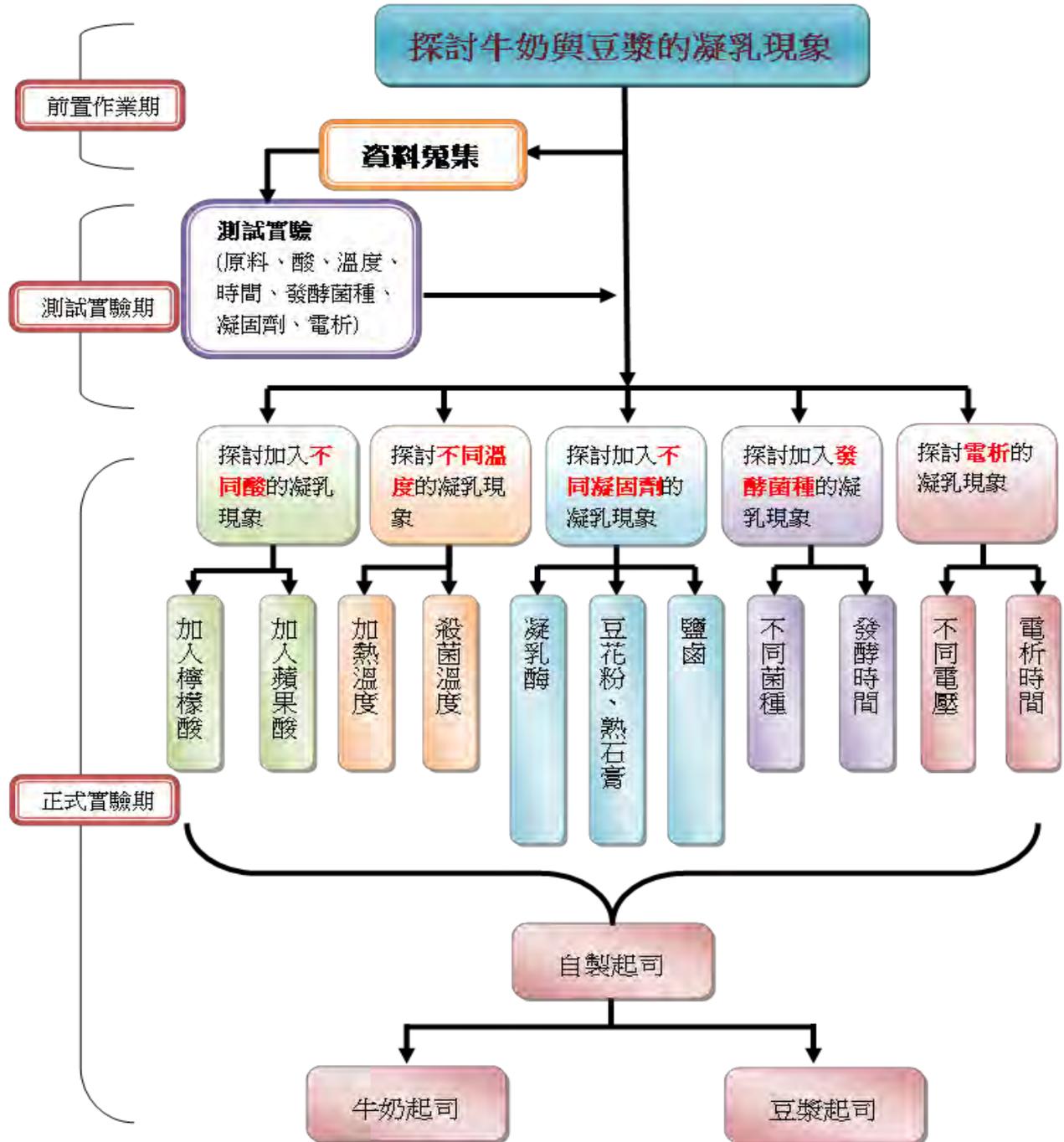
每當在電視上看到披薩的廣告，那上頭的起司真的讓人垂涎三尺，但是有些同學因為吃全素而無法享受起司的美好滋味!加上有「廚房裡的科學」這個單元當基礎，這讓我們開始思索，起司到底是如何製作的呢? 而東方牛奶”豆漿”的大豆蛋白質是否也能做出起司呢?為了要解開起司的密碼，於是展開了一系列探討牛奶與豆漿的凝乳現象的研究與實驗。

貳、研究目的

1. 藉由文獻探討，了解製作起司與豆腐的原理與過程。
2. 藉由實驗及操作瞭解凝乳現象的發生及影響因素。
3. 探討酸、乳酸菌、凝固劑、加熱溫度及時間等因素對凝乳量的影響。
4. 嘗試自製牛奶起司與豆漿起司。

			
第一次的自製起司	第一次自製豆漿起司	實驗後的討論	逐漸改良工具
			
比較各種凝固劑	探討各項實驗變因	前後成品的差異	品嚐自製起司與改良

參、研究架構



肆、研究問題

- 1.不同處理方式的牛奶及豆漿是否會影響凝乳量的多寡？
- 2.加入不同的酸對凝乳量有什麼差別？
- 3.不同的殺菌溫度及加熱溫度對凝乳量影響是什麼？
- 4.不同靜置時間製造起司的凝乳量有什麼差別？
- 5.乳酸菌的添加及醱酵時間的不同是否會影響凝乳量的多寡？
- 6.電析對凝乳現象有什麼影響？
- 7.不同的凝固劑對凝乳現象有什麼影響？
- 8.自製起司的配方是什麼？

伍、研究設備(器材)

1. 原料：生乳、瑞穗全脂、瑞穗低脂、凝乳酶、雪碧汽水、多多、工研醋、陳年醋、工研烏醋、檸檬汁、柳丁汁、豆漿、豆花粉、鹽鹵、九陽豆漿機製豆漿。
2. 備酸: pH 筆、燒杯、滴管、6 毫升針筒、校正劑、螺絲起子、洗滌瓶、生飲水、檸檬酸、蘋果酸、玻棒。
3. 加熱: 電磁爐、鋼杯、溫度計、溫度計夾、湯匙、鑷子、濾網、燒杯、10ml 針筒、不鏽鋼鍋。
4. 靜置、重壓: 試管、試管架、計時器、保溫箱、水桶。
5. 過濾、刮除: 滷包袋、免洗杯、試飲杯、刮刀、手套、電子秤。
6. 紀錄: 相機、標籤、紀錄紙、筆。
7. 善後: 試管刷、洗潔精、菜瓜布、鋼刷、保鮮膜。
8. 電析：1.5v 電池、9v 電池、紙巾、鋁箔紙。

			
討論題目與研究方向	擬訂實驗架構與子題	研究市售起司	參觀酪農場
			
測試實驗用鮮奶	比較各種鮮奶成分	自製觀測溫度設備	以計時器控制時間
			
以電磁爐加熱	過濾刮除用的工具	pH 檢測儀	實驗用針筒
			
實驗用酸顆粒	方便觀察凝乳狀況的透明玻璃試管	秤重用工具	重壓工具

陸、研究歷程

一、文獻探討

(一) 基本概念的建立

1. **牛奶**: 牛奶是人類最常利用的乳品，固形物約佔 13.1%(其化學組成中蛋白質約 3.5%、脂質 4.0%、乳糖 4.9%、灰分 0.7%)。
2. **豆漿**: 豆漿也是被普遍利用的東方牛奶，其固形物約佔 11.4%(其化學組成中蛋白質約 4.5%、脂質 2.5%、碳水化合物 3.8%、灰分 0.6%)。
3. **乾酪**: 乾酪以奶類為原料，含有豐富的蛋白質和脂質，製作過程中通常加入凝乳酵素，造成其中的酪蛋白凝結，使乳品酸化，再將固體分離、壓製為成品。
4. **豆腐**: 將豆漿熬煮再加入鹽類後產生凝乳所製成的食品，是東方料理中常見的食材。
5. **凝乳**: 因牛奶/豆漿與凝固劑混合後分離出的蛋白質固體的化學作用。
6. **乳清**: 牛奶/豆漿與凝固劑起化學作用而分離出的液體。
7. **凝固劑**: 使牛奶/豆漿蛋白質凝固並分離出乳清的藥劑。一般使牛奶凝固可加入酸或凝乳酶，而讓豆漿凝固除了加酸，還可加入熟石膏或鹽鹼。
8. **等電點**: 特定溶液在達到某個特定酸鹼值(pH)時其分子所帶的正極荷數與負極荷數相等時，通常用 pI 來代表。例如牛奶添加酸或進行乳酸發酵，使其 pH 值達到酪蛋白的等電點產生沈澱再加以分離。
9. **酪蛋白**: 存在於奶類中的特有蛋白質。
10. **大豆蛋白**: 存在於豆類中的特有蛋白質。
11. **凝乳量**: 指牛奶/豆漿與凝固劑起化學作用而分離出的蛋白質固體重量。
12. **殺菌溫度**: 生乳可能含有細菌，故飲用前須經適當的殺菌處理，殺菌方式列表如下：

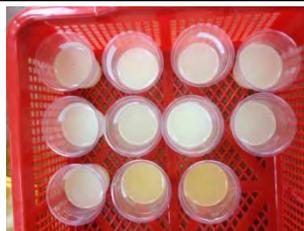
方法	低溫殺菌法	高溫短時間殺菌法	高溫殺菌法	超高溫殺菌法
殺菌溫度	63°C	75~78°C	115~120°C	130~150°C
殺菌時間	30min	15~20sec	15~20min	0.5~4sec
殺菌原理	殺滅病原菌以利安全飲用	殺滅病原菌以利安全飲用	殺滅腐敗菌以利室溫保藏	殺滅大部分微生物以利長久保藏

13. **均質化**: 是指牛乳以高壓(120~150kg/cm²)通過細孔，使乳脂肪球破裂成小顆粒，使均勻懸浮於牛乳中的過程。其目的在於破壞脂肪球、軟化蛋白質、提高黏稠性及消化性。
14. **冉斯登現象**: 當牛乳加熱至 40°C 以上，蛋白質在空氣接觸面形成皮膜，其預防方法是適度的攪拌、溫度不超過 40°C 或加水稀釋。

(二) 和本研究有關的化學概念

1. **pH 值**: 亦稱氫離子濃度指數、酸鹼值，是溶液中氫離子活度的一種表示方法，也就是通常意義上溶液酸鹼程度的衡量標準。通常情況下，pH<7 時，溶液呈酸性；pH>7 時，溶液呈鹼性；pH=7 時，溶液為中性。
2. **加熱**: 食物受熱後會產生顏色、體積及狀態改變，造成物質產生物理變化和化學變化。
3. **靜置**: 靜置的目的是讓蛋白(酪蛋白、大豆蛋白)和脂肪結合，以利排出多餘的水分。

4. 發酵:由微生物分泌的酵素作用，其引起的化學變化將有機物分解成對人類生活上有
益的簡單物質。微生物的發酵可分為好氧性的發酵及厭氧性的發酵，此作用
廣泛的運用於食品加工。

			
檢測 pH 值時要先以 校正液校正	將各種蛋白加熱後觀 察其變化	靜置時間長短也可能 造成實驗差異	市售起司中因發酵菌 種不同而有不同風味
			
一般市售的發酵菌 種，屬於複合菌。	市售發酵用乳酸菌內 含有八種不同菌種	利用不同糖類促使發 酵並比較其差異	單一菌種的發酵更可 以發現其差異

(三)製作乾酪(CHEESE)與豆腐相關資料蒐集

1. 新鮮乾酪(CHEESE)製作流程

- (1)牛乳殺菌後加熱至 55°C 再加入乳酸菌發酵 30 分鐘。
- (2)將凝乳酶以適當比例與白開水稀釋加入牛奶中攪拌。
- (3)靜置 30 分鐘，將凝乳截切再加熱到 50°C 攪拌後過濾乳清及水分。
- (4)以重物壓出多餘的乳清、含水量含水後將凝乳取出，以熱水慢慢澆淋，同時拉扯塑形。

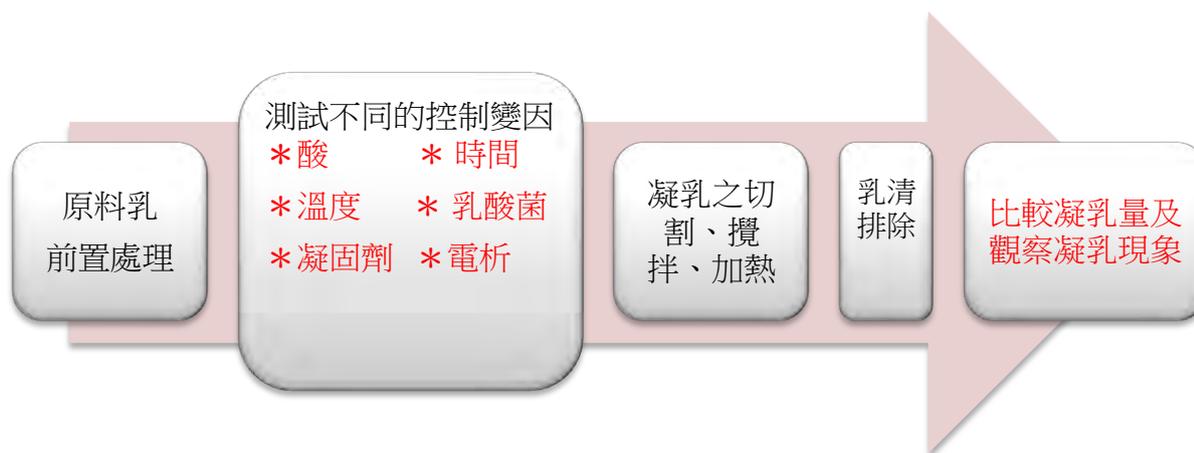
			
以量杯測量固定乳 量。	以溫度計監控加熱溫 度	添加乳酸菌後以悶燒 鍋保溫	將凝乳塑自冷凍庫取 出後取適量添加
			
將添加凝乳素的牛乳 至於保溫設施中靜置	取出後將凝乳加以切 割	切割後的凝乳及乳清 再加熱	過濾中壓後取得凝乳

2.豆腐的製作流程

- (1)黃豆加水磨成豆汁並過濾除渣。
- (2)將生豆漿煮沸再於 50cm 高進行沖漿，凝固劑鹽鹵配方才是豆腐(豆花粉是豆花)。
- (3)使其凝固靜置，待冷卻後塑形並壓出部分水分。

			
豆腐原料：黃豆	我們以九陽豆漿機製作豆漿	凝固劑 1:熟石膏	凝固劑 2:豆花粉
			
凝固劑 3:鹽鹵	將豆漿加熱後再沖漿	沖漿後靜置等待凝固	重壓後取出成品

3.依資料蒐集統整出本研究相關實驗流程如下:



			
原料乳及豆漿都必須經過加溫殺菌	測試各項變因	凝乳的裁切、攪拌	觀察比較凝乳與乳清的狀況

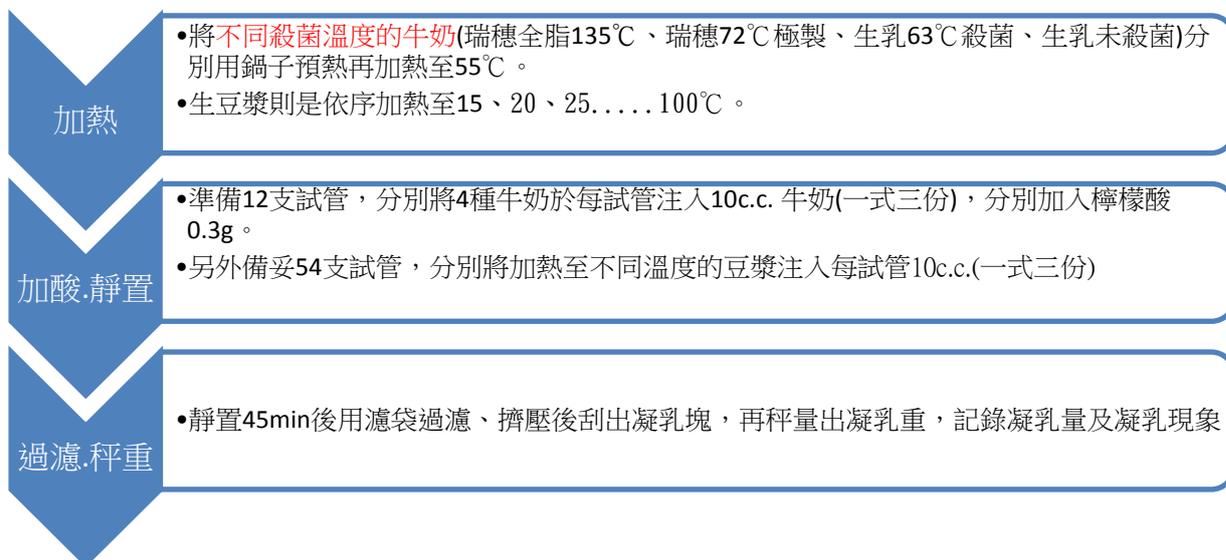
二、實驗過程與討論

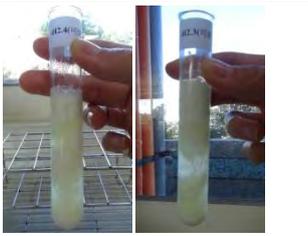
(一) 測試實驗

1.原料:找出哪一種牛奶及豆漿最適合本研究進行實驗？

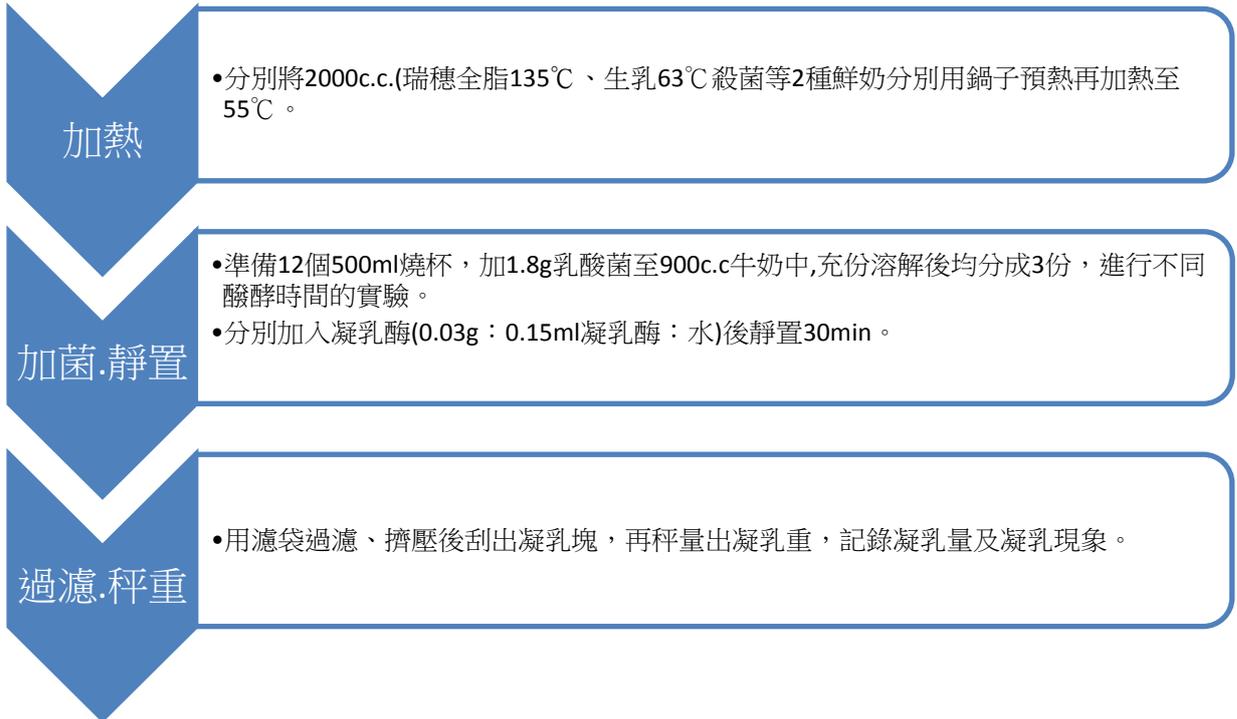
(1)實驗步驟：

A.牛奶及豆漿加檸檬酸



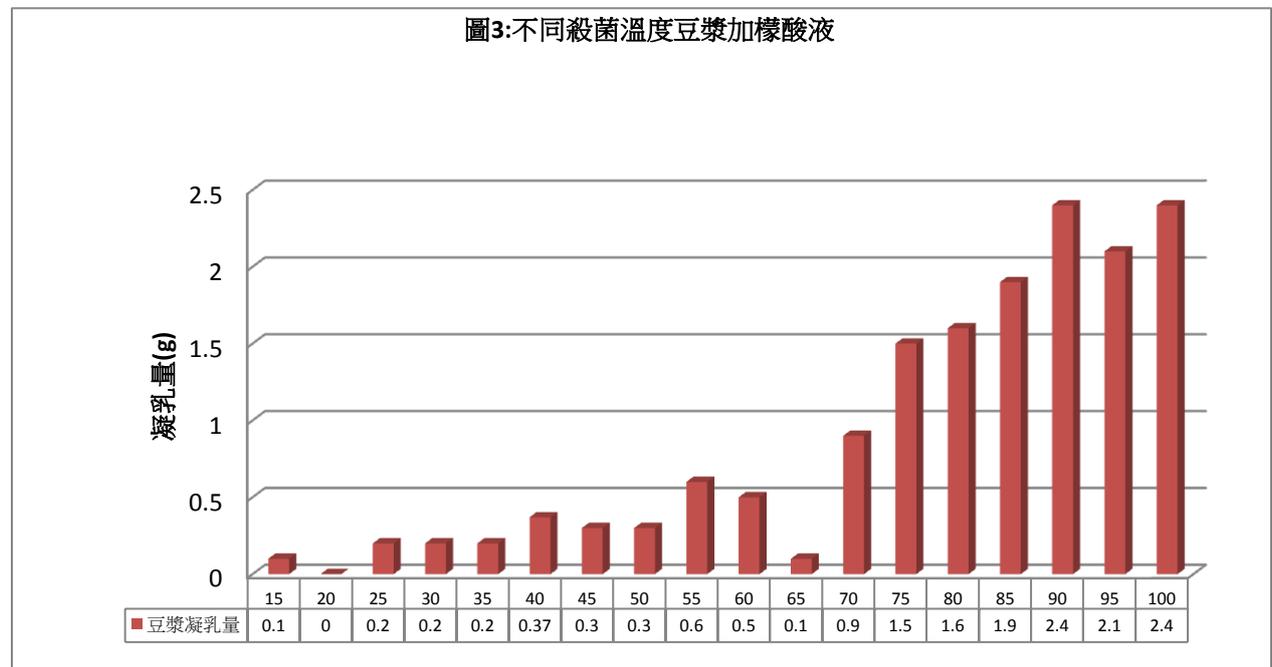
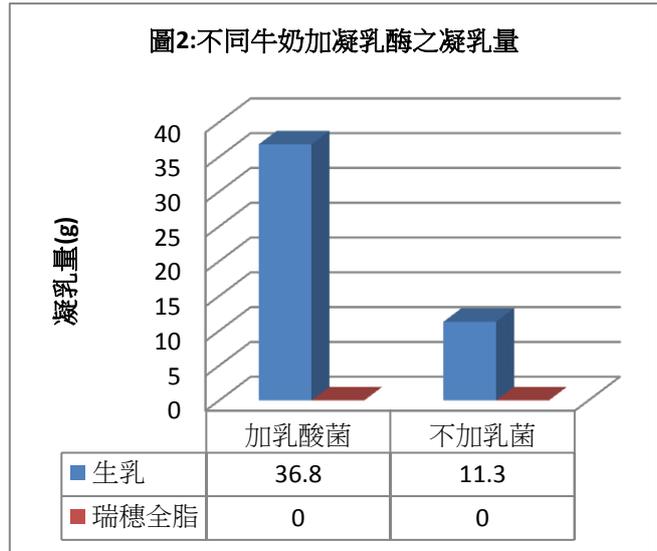
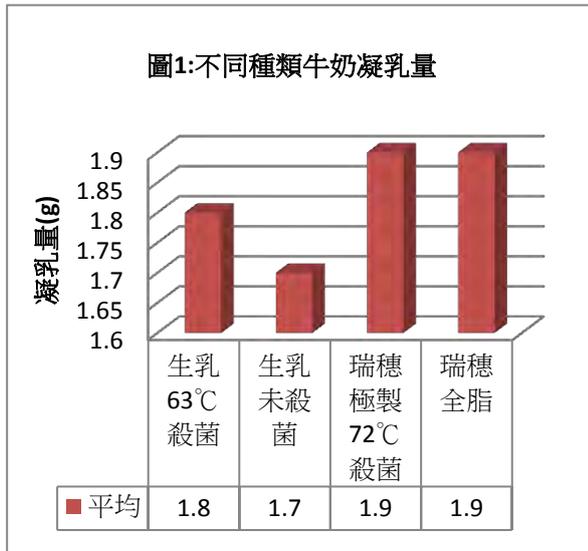
			
不同品牌的鮮乳	牧場取得的生乳	以溫度計監控溫度	玻璃試管
			
以針筒汲取適量牛奶或豆漿	將豆漿或牛奶注入試管內	靜置 45 分鐘，並觀察其凝乳狀況	玻璃試管可以清楚觀察乳清與凝乳
			
以濾袋過濾乳清	擠壓出多餘乳清	刮出凝乳塊	秤重與紀錄

B.不同牛奶加凝乳酶



			
瑞穗全脂鮮乳	生乳先加熱到 63°C	保溫殺菌 30 分鐘	進行不同時間發酵
			
將凝乳酶溶與水後 添加至鮮乳中	靜置時間觀察凝乳 狀況並加以記錄	靜置時間觀察凝乳狀況 並加以記錄	以濾袋過濾多餘的 乳清
			
觀察不同變因產生 的凝乳狀況	凝乳狀態有所差異	凝乳狀態有所差異	秤重與紀錄

(2)實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：

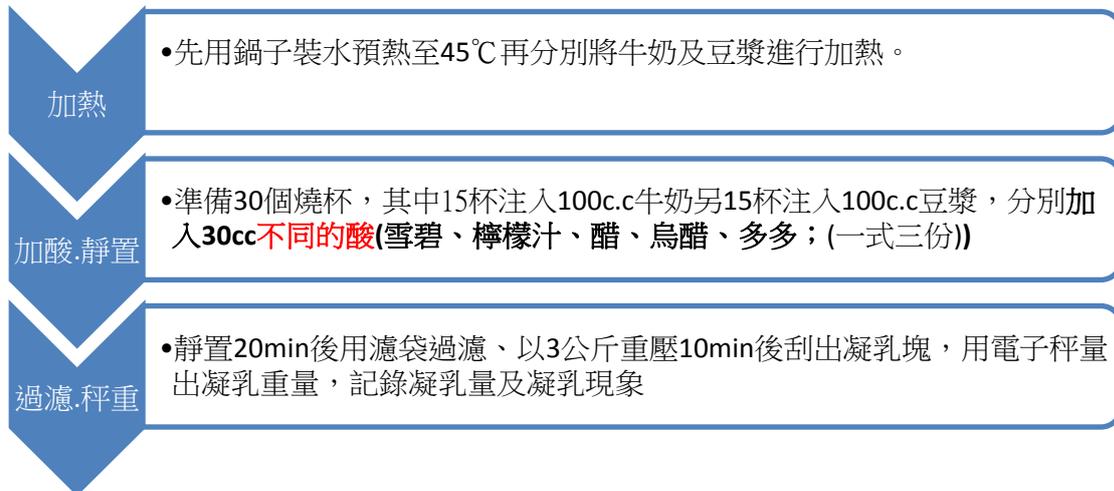


(3)發現與討論

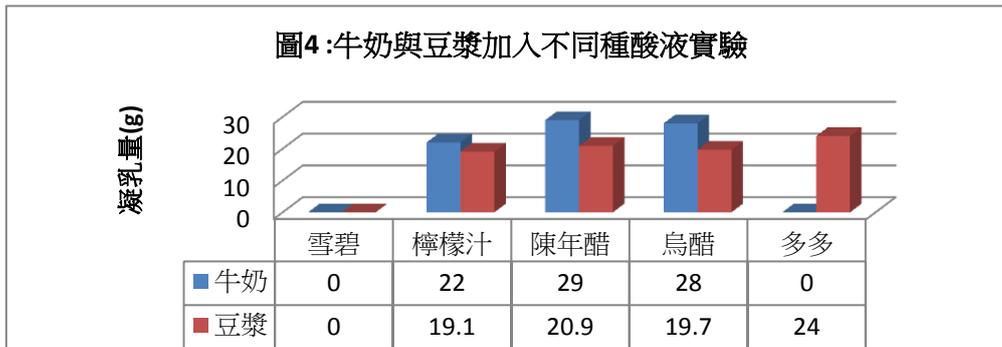
- A.在不同種類牛奶的測試實驗中其凝乳量為：瑞穗極製(72°C)=瑞穗全脂>生乳(63°C殺菌)>生乳(0°C)。其中極製鮮乳和瑞穗全脂鮮乳的平均凝乳量都是最高的1.9公克。瑞穗極製 72°C殺菌鮮乳量最多，但在加入凝乳酶實驗發現生乳 63°C殺菌才有凝乳，而均質化牛奶則無凝乳。所以我們以後的實驗用 63°C殺菌 30 分鐘的生乳來做實驗。
- B.豆漿以不同的殺菌溫度進行測試，凝乳量最多的殺菌溫度是 100°C和 90°C有 2.4 公克，凝乳量最少的殺菌溫度是 20°C只有 0 公克。殺菌溫度越高凝乳越多。因為考量九陽豆漿機都是 100°C殺菌，加上製造過程一致且製作出來的豆漿品質穩定，因此我們以後的實驗用九陽豆漿機製作豆漿。
- C.雪碧的 pH 值會改變，但我們都使用剛開瓶的，以減少實驗誤差。

2.加酸：找出哪些不同的酸最適合本研究進行實驗？

(1)實驗步驟:



(2)實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：



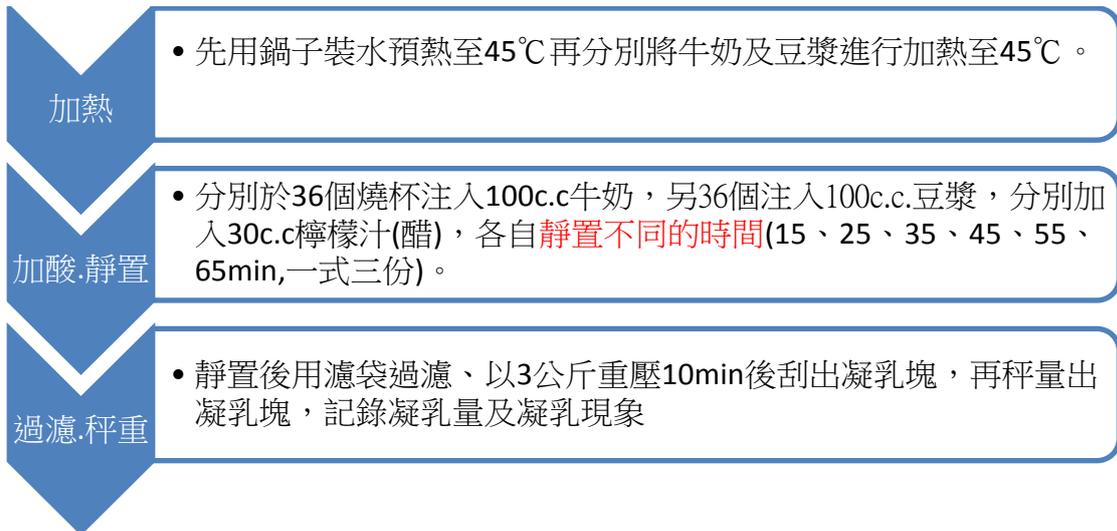
(3)發現與討論

- A.牛奶凝乳量:醋(29g) > 烏醋(28g) > 檸檬汁(22g)。加入多多、雪碧皆無凝乳。
- B.豆漿凝乳量:多多(24g) > 陳年醋(20.9g) > 烏醋(19.7g)。加雪碧無凝乳。
- C.雪碧的酸鹼值(pH=2.2)夠酸，但卻不足以讓豆漿、牛奶凝乳，據資料得知牛奶/豆漿未達到等電點時，所形成的凝乳會很少或者根本沒有，根據後來檢測到的 pH 值發現：太過酸性造成其未達到等電點，反而沒有凝乳或凝乳很少。
- D.實驗發現烏醋和醋的凝乳量雖然多但有很重的味道，不太好聞，液體內含有其他成分。再則檸檬汁只對牛奶有凝乳，而多多也只對豆漿有凝乳。**所以我們考慮用食品用酸：檸檬酸及蘋果酸進行測試，對於其化學成份的單純性及 pH 值控制也會比較精準。**

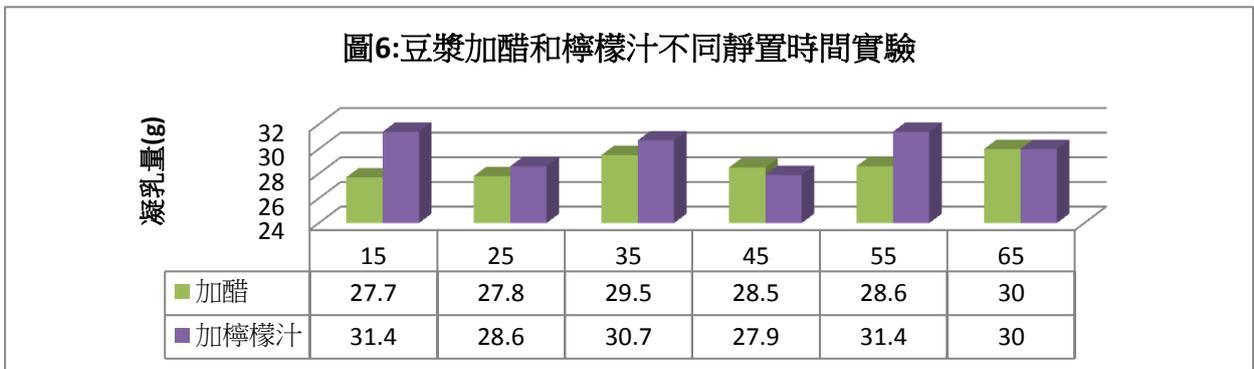
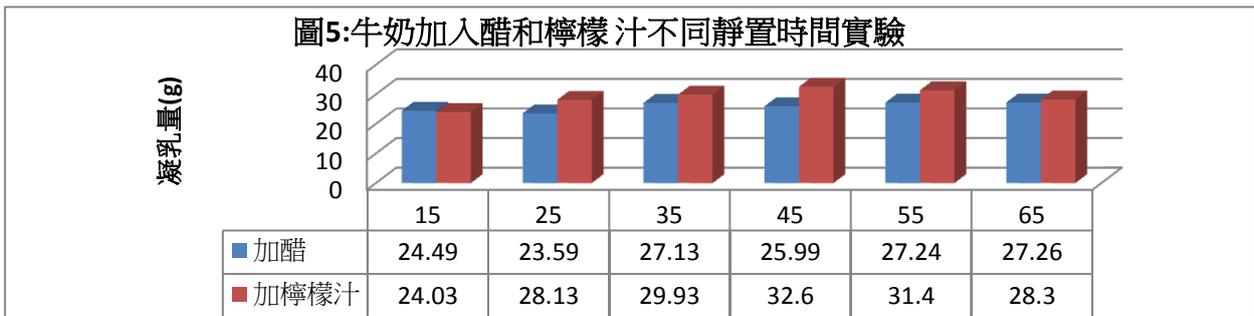


3 靜置時間：靜置時間的不同會影響凝乳量嗎？

(1) 實驗步驟：



(2) 實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：



(3) 發現與討論：

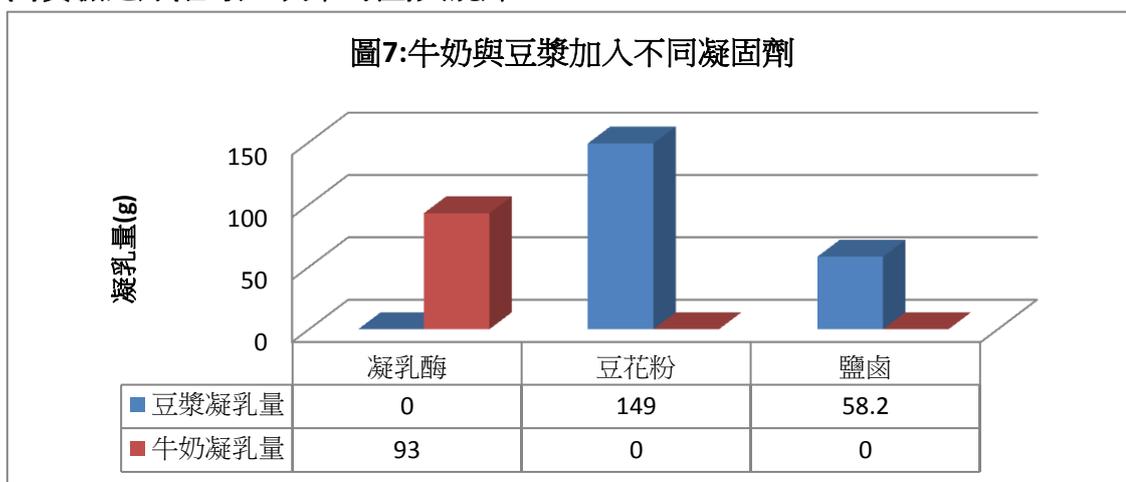
- 牛奶加檸檬汁凝乳量為：45min > 55min > 35min > 65min > 25min > 15min；加醋凝乳量則為：65min > 55min > 35min > 45min > 15min > 25min。
- 豆漿加檸檬汁凝乳量為：55min = 15min > 35min > 65min > 45min > 25min；加醋凝乳量則為：65min > 35min > 55min > 45min > 25min > 15min。
- 因不同的靜置時間對凝乳生成的確有影響，故將時間變因列入正式實驗項下。

4 凝固劑：加入哪些凝固劑有利牛乳及豆漿凝乳？

(1) 實驗步驟：

加熱	•將牛奶加熱至45°C及豆漿加熱至100°C。
加酸,靜置	•分別於每燒杯注入300ml牛奶、豆漿(一式三份),分別加入不同凝固劑(凝乳酶、豆花粉及鹽鹵),靜置45min
過濾,秤重	•靜置後用濾袋過濾、以8.8公斤重壓20分鐘後刮出凝乳塊,再秤量出凝乳重,記錄凝乳量及凝乳現象

(2) 實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：



(3) 發現與討論：

A. 牛奶對豆花粉和鹽鹵不會起作用；而豆漿對凝乳酶不會起作用。因此日後加入凝固劑的實驗：牛奶以凝乳酶進行，而豆漿則加入豆花粉及鹽鹵進行。

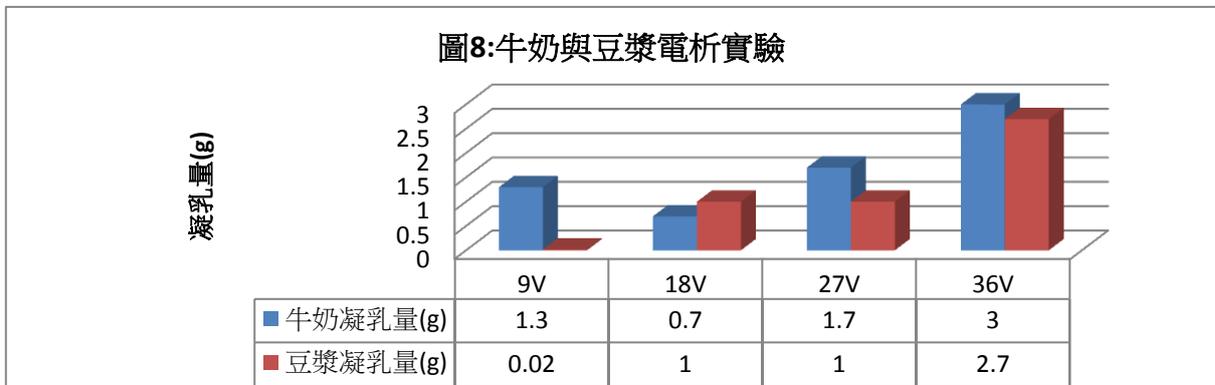


5.電析:牛奶或豆漿通電後有助於凝乳產生嗎?

(1)實驗步驟:

加熱	• 分別將牛奶加熱至45°C及豆漿加熱至100°C。
電析	• 取8個50ml燒杯在其中4個注入40ml牛奶,另外4個燒杯倒入40ml的豆漿,分別導入不同電壓的直流電(9V、18V、27V、36V)通電10min
過濾.秤重	• 分別觀察正負極的凝乳現象後用濾袋過濾、擠壓後刮出凝乳塊,再秤量出凝乳重量,記錄凝乳量。

(2)實驗記錄與統計:



(3)發現與討論:

A. 電析是以電流讓負電粒子轉成正電凝乳，本實驗中每一組牛奶或豆漿在通電後有凝乳反應，負極端會有起泡現象，正極端會有凝結的現象。牛奶凝乳量:36V(3g) > 27V(1.7 g) > 9V(1.3 g) > 18V(0.7 g); 豆漿凝乳量:36V(2.7g) > 27V(1 g) = 18V(1 g) > 9V(0.02 g)。牛奶通電 36V 是凝乳量最大值 3 公克；是豆漿通電 9v 的凝乳量為最小值只有 0.02 公克。

B. 在 9V、27V 及 36V 電析實驗中發現牛奶凝乳量均大於豆漿凝乳量。

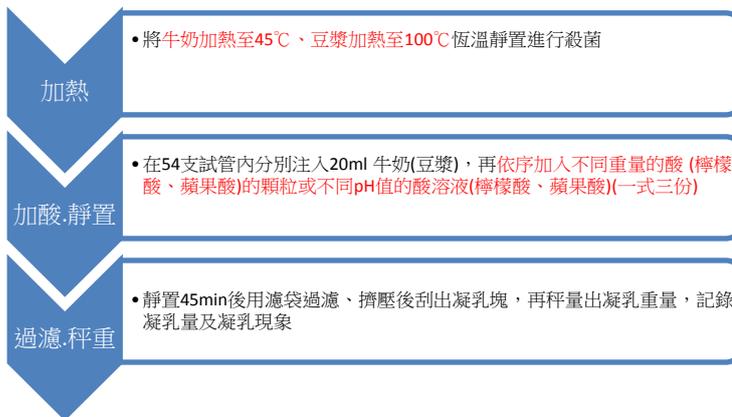
C. 牛奶以 9V 和 18V 進行電析其正極端凝乳呈淡藍綠色，有一些燒焦。負極端乳清呈灰白色，上層沒有泡泡。牛奶的電析凝乳量不穩定且散發出來的乳臭味很像皮蛋壞掉的味道非常不好聞。而在豆漿進行 9V 和 18V 電析時，正極凝乳呈乳白色，底部為皮膚色，凝乳外觀有光澤；負極乳清為乳黃色，周圍有些氣泡。



(二) 正式實驗

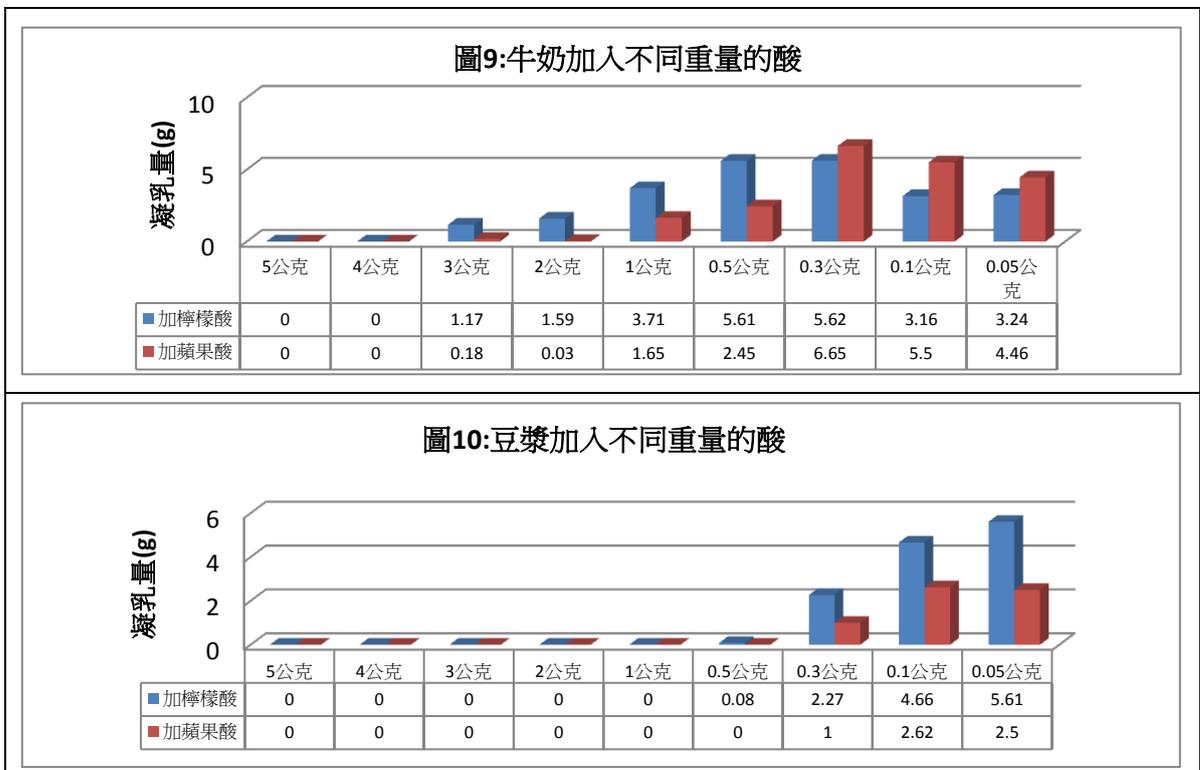
1. 加入不同的酸對凝乳量有什麼差別?

(1) 實驗步驟:



調配不同的酸液。

(2) 實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計:



(3) 發現與討論

- 在加入不同重量檸檬酸實驗牛奶凝乳量前三名為：0.3g > 0.5g > 1g；而豆漿凝乳量前三名則為：0.05g > 0.1g > 0.3g；其餘完全沒有凝乳(0g)。
- 在加入不同重量蘋果酸實驗中牛奶凝乳量前三名為：0.3g > 0.1g > 0.05g；而豆漿凝乳量則為：0.1g > 0.05g > 0.3g。牛奶與豆漿加入不同重量蘋果酸後，發現豆漿的凝乳量均大於牛奶的凝乳量。
- 綜合比較得知牛奶在加入 0.3 公克檸檬酸和 0.3g 蘋果酸時均為凝乳量最多；而豆漿在分別加入 0.05 公克檸檬酸和 0.1g 的蘋果酸時得到凝乳量最多，而加入越多重量的酸反而沒有凝乳，可見牛奶與豆漿遇酸凝結並不是越酸越好。

圖11:牛奶加入不同pH值的酸液

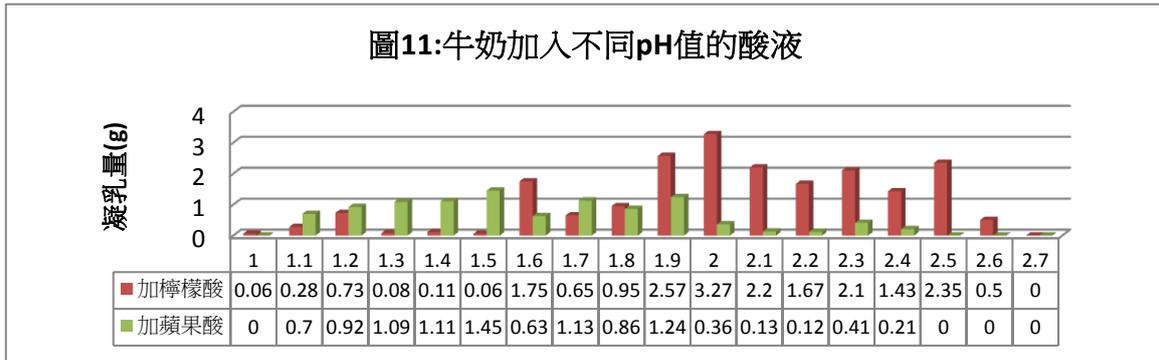
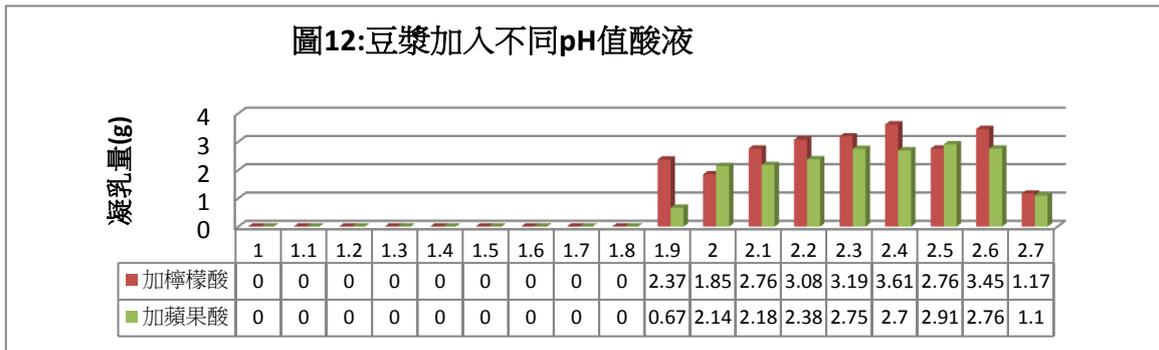


圖12:豆漿加入不同pH值酸液

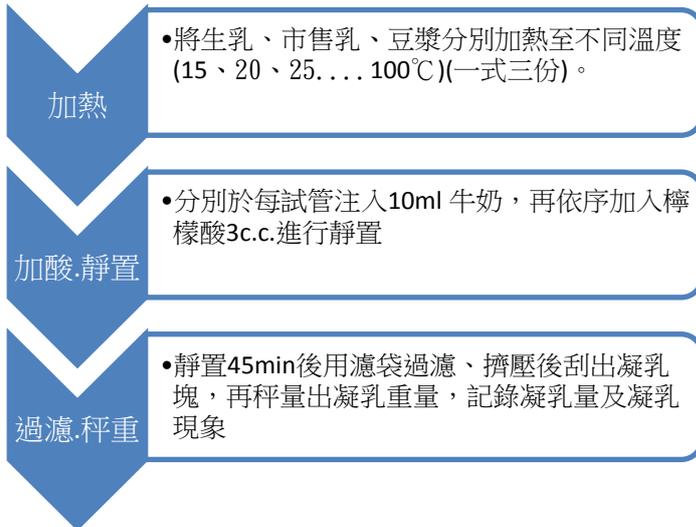


(3)發現與討論

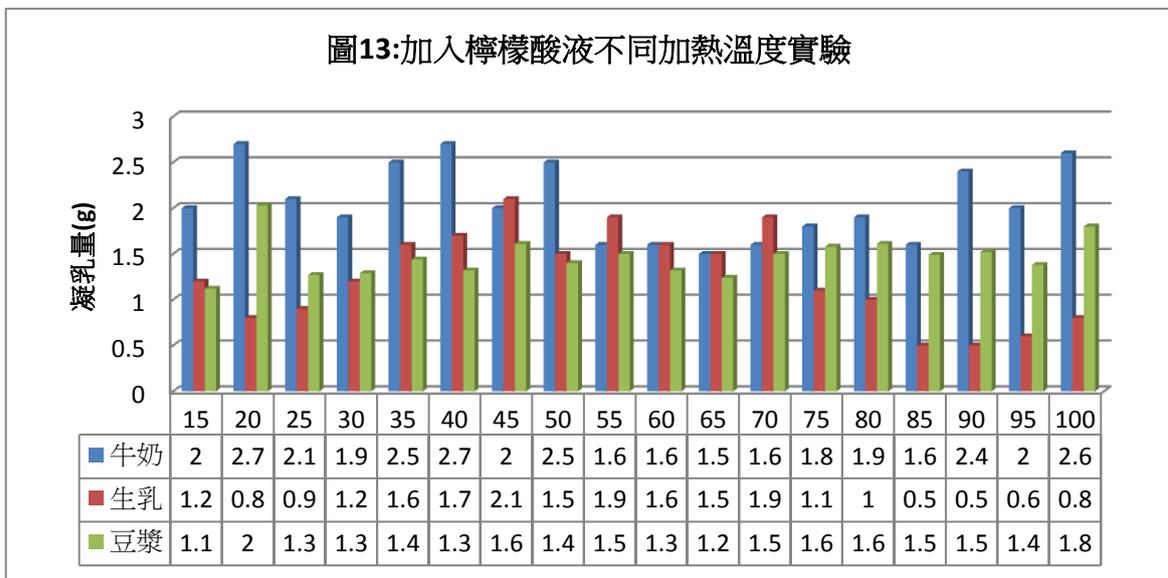
- A.牛奶加入不同酸顆粒或不同 pH 值酸液之前三名平均凝乳量為: pH2.0(3.27g)> pH1.9(2.57g)> pH2.5(2.35g)，最多的凝乳量為 pH2.0，凝乳量為 3.27g；最少的凝乳量為 pH2.7，凝乳量為 0g；最多與最少凝乳量相差 3.27g。在加入不同 pH 值蘋果酸液前 3 名為:pH1.5(1.45g)> pH1.9(1.2g)> pH 1.7(0.65g)>pH1.4(1.11)>，最多的凝乳量為 pH1.5，凝乳量為 1.45g；最少的凝乳量為 pH2.7~pH2.5&pH1.0，凝乳量為 0g；最多與最少凝乳量相差 1.4g。
- B.豆漿加入不同 pH 值檸檬酸液平均凝乳量前三名為: pH 2.4(3.61g)> pH 2.6(3.45g)> pH 2.3(3.19g)，平均最多的凝乳量為加入 pH2.4 酸液為 3.6g；最少的凝乳量為 pH1.0~pH1.8，凝乳量為 0g；最多與最少凝乳量相差 3.6g。而加入不同 pH 值蘋果酸液平均凝乳量前三名為: pH2.5(2.91g)> pH2.6(2.76g)> pH2.3(2.75g)，最多的凝乳量為 pH2.5，凝乳量為 2.91g；最少的凝乳量為 pH1.8~pH1.0，凝乳量為 0g；最多與最少凝乳量相差 2.91g。
- C.除了量的比較也在實驗中發現，**無論是牛奶或豆漿，加檸檬酸所得凝乳現象較明顯。**即在靜置過程中呈現層次分明的分離狀態(也就是凝乳和乳清分離清楚)，乳清色清澈，凝乳就會較多也較能成形；若是呈現層次混濁的分離狀態(也就是凝乳和乳清分離不清)，乳清色混濁，凝乳就會較少也較稀稠。
- D.牛奶加入酸液幾乎都會有凝乳，但加入 pH1.5 值較酸的檸檬酸液時，凝乳呈濃稠液狀，無法成形；豆漿加入 pH 值<1.9 的檸檬酸液時是連凝乳都沒有，完全過濾不出凝乳，而加入 pH 值>1.8 的檸檬酸液時則都有凝乳，此為豆漿凝乳與牛奶凝乳最顯著的差異。

2.不同的加熱溫度對凝乳量影響是什麼？

(1)實驗步驟:



(2)實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：



(3)發現與討論

- 市售牛奶凝乳量排序為： $20^{\circ}\text{C}=40^{\circ}\text{C} > 100^{\circ}\text{C} > 35^{\circ}\text{C}=50^{\circ}\text{C} > 90^{\circ}\text{C} > 25^{\circ}\text{C} > 15^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}=95^{\circ}\text{C} > 80^{\circ}\text{C} > 75^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C} > 70^{\circ}\text{C} > 55^{\circ}\text{C}=60^{\circ}\text{C}=85^{\circ}\text{C} > 65^{\circ}\text{C}$ 。
- 生乳凝乳量由多至少分別為： $45^{\circ}\text{C} > 55^{\circ}\text{C}=70^{\circ}\text{C} > 40^{\circ}\text{C} > 60^{\circ}\text{C} > 65^{\circ}\text{C} > 35^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}=15^{\circ}\text{C} > 75^{\circ}\text{C} > 80^{\circ}\text{C} > 25^{\circ}\text{C} > 20^{\circ}\text{C}=100^{\circ}\text{C} > 95^{\circ}\text{C} > 90^{\circ}\text{C}=85^{\circ}\text{C}$ 。平均凝乳量從生乳加熱 70°C 到加熱 85°C 之間有微微下降。
- 豆漿平均凝乳量排序為： $20^{\circ}\text{C} > 100^{\circ}\text{C} > 45^{\circ}\text{C}=75^{\circ}\text{C}=80^{\circ}\text{C} > 55^{\circ}\text{C}=70^{\circ}\text{C}=85^{\circ}\text{C}=90^{\circ}\text{C} > 35^{\circ}\text{C}=50^{\circ}\text{C}=95^{\circ}\text{C} > 25^{\circ}\text{C}=30^{\circ}\text{C}=40^{\circ}\text{C}=60^{\circ}\text{C} > 65^{\circ}\text{C} > 15^{\circ}\text{C}$ 。最佳溫度是 20°C 。
- 凝乳量最多的是牛奶加熱 20°C 、 40°C 的實驗，凝乳量有到達 2.7 公克。最少的是生乳加熱 85°C 到生乳加熱 90°C 的實驗，只有 0.5 公克的凝乳量。
- 生乳凝乳量雖較少，但每一管凝乳及整體變化趨勢較市售牛奶穩定。

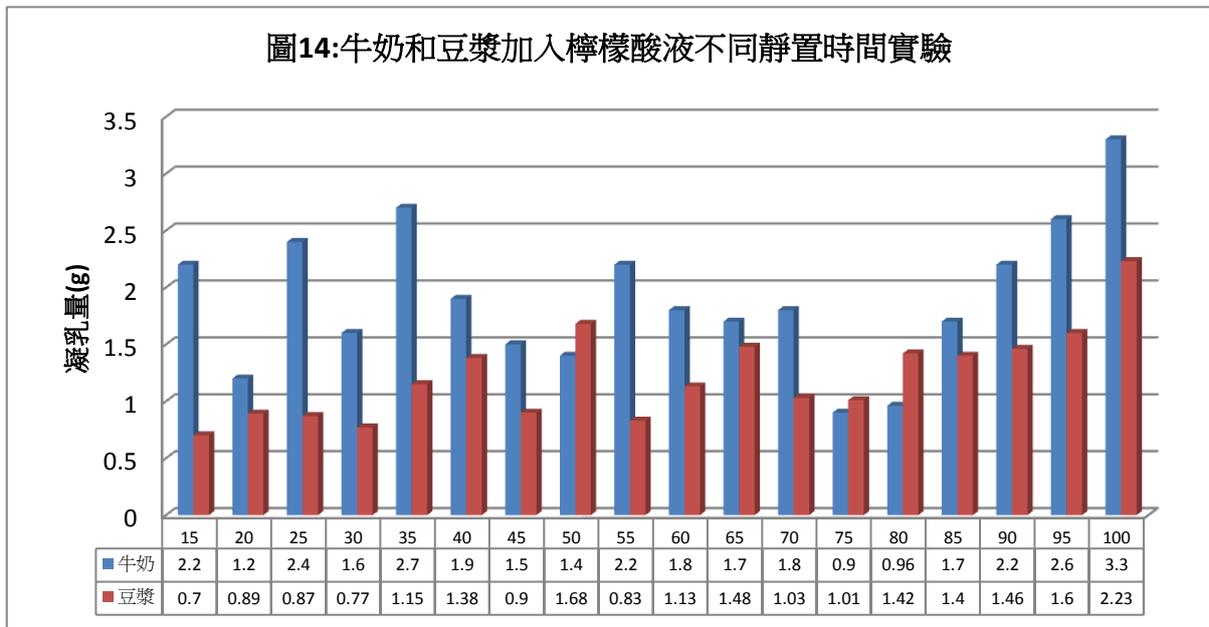
3.不同靜置時間製造起司的凝乳量有什麼差別?

(1)實驗步驟:



以計時器控制不同靜置時間。

(2)實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：

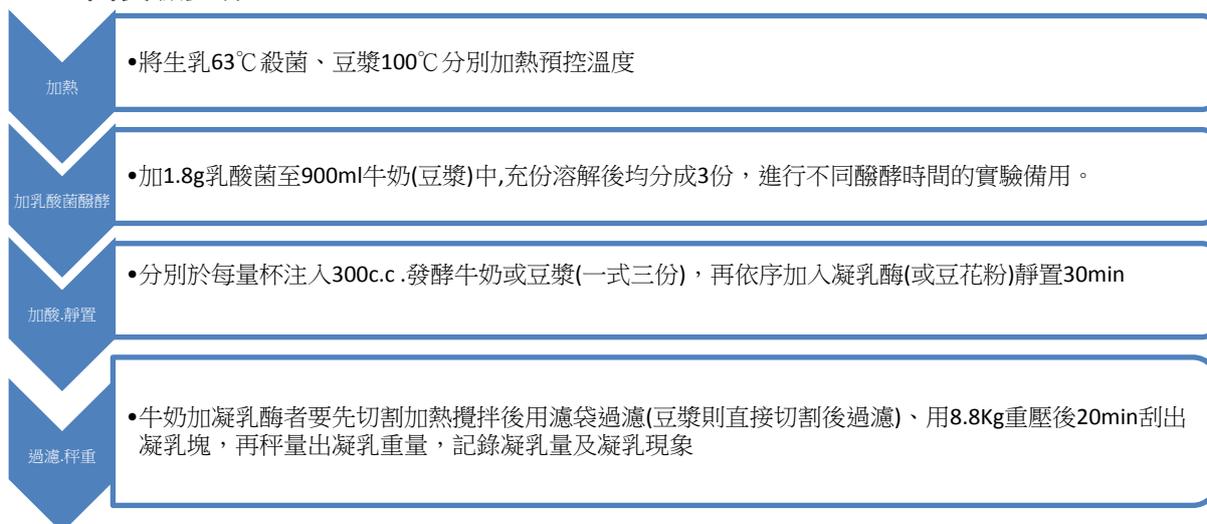


(3)發現與討論

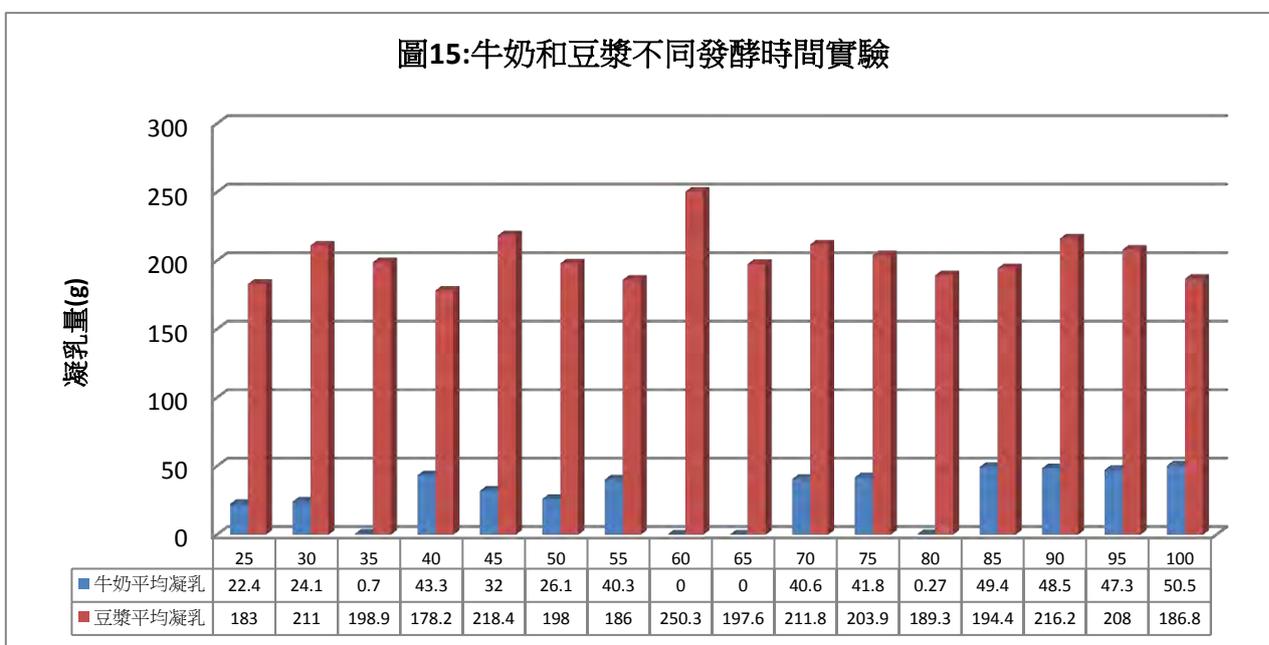
- 在牛奶和豆漿加入檸檬酸液不同靜置時間實驗中，發現牛奶靜置 15 分鐘到牛奶靜置 40 分鐘的實驗中，凝乳量有明顯的下降。
- 凝乳量最多的是牛奶靜置 100 分鐘的實驗，凝乳量有到達 3.3 公克。凝乳量最少的是豆漿靜置 15 分鐘的實驗，凝乳量只有 0.7 公克。
- 牛奶平均最多的凝乳量為 100min，凝乳量為 3.3g；最少的凝乳量為 80min，凝乳量為 1.0g；最多與最少凝乳量相差 2.3g。豆漿平均最多的凝乳量為 100min，凝乳量為 2.2g；最少的凝乳量為 15min，凝乳量為 0.7g；最多與最少凝乳量相差 1.5g。
- 靜置時間與凝乳量起伏狀態無規律，是靜置時的溫度下降所造成的不穩定？還是有其他原因？值得深入探討。

4. 添加乳酸菌後進行不同醱酵時間是否會影響凝乳量的多寡?

(1) 實驗步驟:

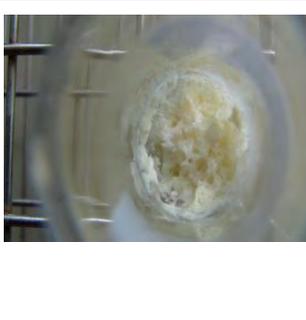
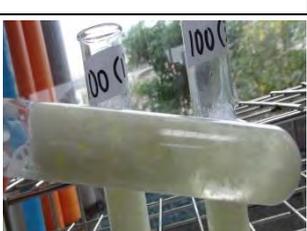
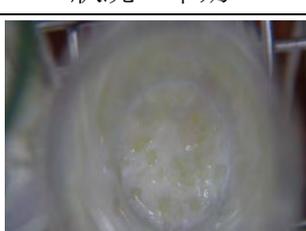


(2) 實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計:



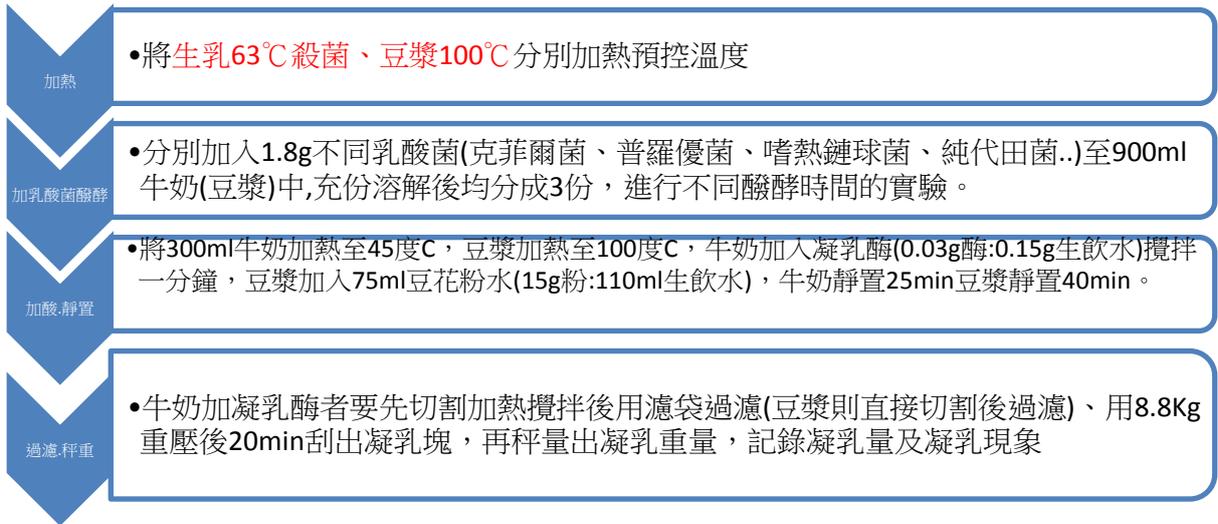
(3) 發現與討論

- A. 牛奶的凝乳前 5 名: 100min > 90 min = 85 min > 95 min > 40 min > 75 min。凝乳量最高是醱酵時間 100 min 有 51g；凝乳量最少是 60 min 及 65min 是 0g
- B. 豆漿的凝乳量前 5 名: 60 min > 45 min > 90 min > 70 min > 30 min，凝乳量最高是 60 min，凝乳量有 250.3g；凝乳量最少是 40 min 有 178.2g
- C. 豆漿的凝乳量都比牛奶高上很多，至少差了 3 倍以上。
- D. 牛奶的凝乳成塊狀，表面有光澤，有彈性。豆漿的凝乳濕濕黏黏的，無法結成塊，無彈性，無光澤。

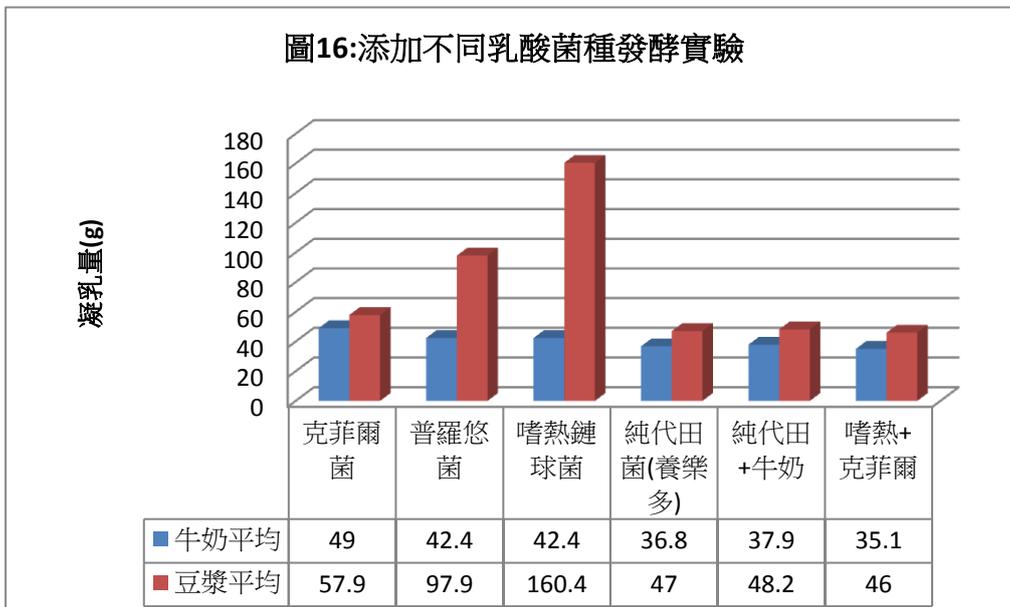
			
調製不同 pH 值酸液	秤取不同重量的酸顆粒	採用蘋果酸跟檸檬酸	汲取原料乳
			
注射入玻璃試管內	觀察不同 pH 值的凝乳狀況－牛奶	觀察不同 pH 值的凝乳狀況－牛奶	觀察不同 pH 值的凝乳狀況－牛奶
			
觀察不同 pH 值的凝乳狀況－豆漿	觀察不同 pH 值的凝乳狀況－豆漿	有些凝乳呈粉碎狀	有些凝乳成蜂窩狀
			
凝乳狀況有所差異	有些凝乳狀況不明顯	觀察不同溫度的凝乳狀況－牛奶	觀察不同溫度的凝乳狀況－牛奶
			
乳清有的很清澈		有的幾乎看不出凝乳	比較凝乳表面狀態

5. 添加不同乳酸菌後進行發酵是否會影響凝乳量的多寡?

(1)實驗步驟:



(2)實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：



(3)分析與討論：

- 牛奶凝乳量前三名為：克菲爾菌>普羅優菌=嗜熱鏈球菌；豆漿凝乳量前三名為：嗜熱鏈球菌>普羅優菌>克菲爾菌。
- 牛奶加入嗜熱鏈球菌發酵所製出的凝乳十分有延展性，大約可拉 5 公尺，而且在發酵完的第一次加熱攪拌時就馬上有凝乳。
- 牛奶加入克菲爾菌的凝乳看起來像普羅優菌的凝乳，但是凝乳量又較多，加入熱水中有光澤但沒有延展性。
- 牛奶加入代田菌 900 毫升+100 毫升生乳加入熱水中可延展，約 20 公分長，但是太黏像泡水的麻糬。
- 豆漿加入純代田菌加熱時就有凝乳，乳清顏色偏黃，凝乳型態像豆渣，聞起來有甜味。
- 豆漿加嗜熱鏈球菌凝乳黏稠，不成塊。
- 牛奶最多為 49g(加入克菲爾菌)，最少為 35.1g(嗜熱+克菲爾)相差 13.9g；豆漿最

多為 160.4g(嗜熱鏈球菌)，最少為 46g(嗜熱+克菲爾)相差 114.4g。

H.牛奶加入嗜熱鏈球菌後在加熱時即會產生凝乳，而凝乳的感覺像是蒟蒻。

I.牛奶加入嗜熱鍊球菌後的凝乳熱塑可拉長牽絲。

J.加入代田菌發酵的牛奶和豆漿都會有養樂多的濃濃甜味。

K.豆漿加入嗜熱鏈球菌+克菲爾菌反應特殊，其現象為在加熱時就會有凝乳產生，無法與凝固劑起作用。

L.牛奶加入克菲爾菌及普羅優菌情況相似，在發酵後加熱時會維持原本的液狀，凝乳偏白，克菲爾菌乳清呈白色混濁狀。

M.豆漿加入代田菌發酵、加入嗜熱鏈球菌+克菲爾菌、加入嗜熱鏈球菌在加熱時有共同得特殊現象~發酵過程中會有蛋白質沉澱的現象發生，加熱時就產生凝乳，無法與凝固劑起反應。

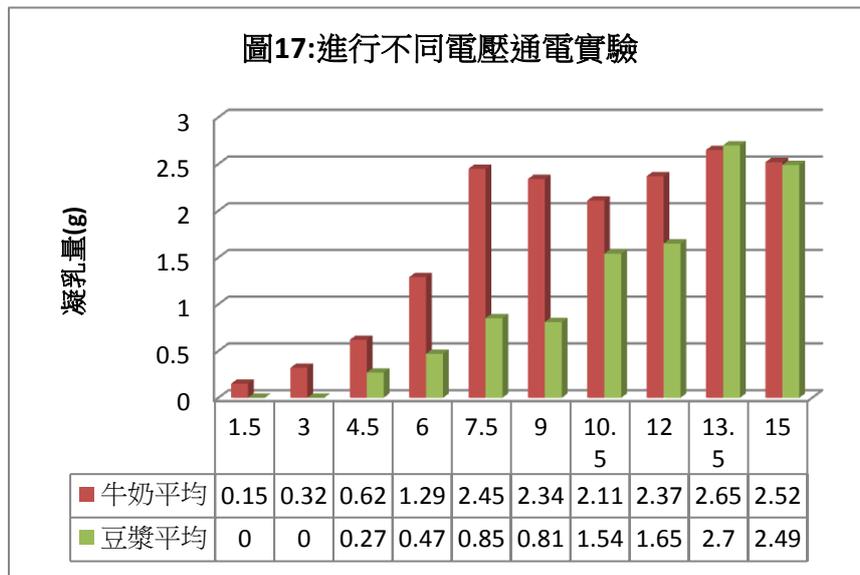
			
<p>調製不同菌種的發酵乳</p>	<p>觀察嗜熱鏈球菌發酵所得凝乳，表面富有光澤，重壓後頗具彈性·可以稍微拉長·</p>		
			
<p>為加熱前可以延展約三倍</p>	<p>嘗試加熱塑形，不會在水中鬆散</p>	<p>稍微加熱後發現延展性更好</p>	<p>加熱時間增加後的延展性多 20 倍以上</p>
			
<p>以代田菌發酵的生乳邊緣會產生小氣泡</p>	<p>以代田菌發酵的豆漿實驗前已呈現半凝固狀態</p>	<p>比較不同菌種發酵的生乳所產生的凝乳外觀</p>	<p>比較不同菌種發酵的豆漿所產生的凝乳外觀</p>

6. 電析:以不同電壓通電對於凝乳現象有什麼影響?

(1)實驗步驟:

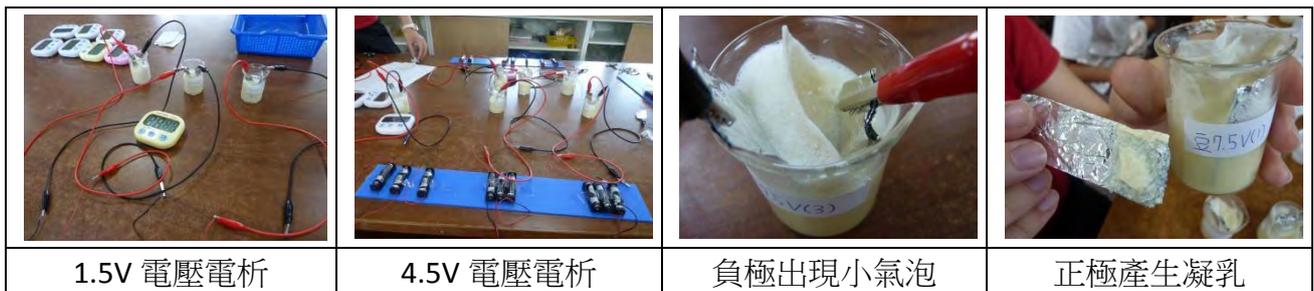
加熱	• 分別將牛奶加熱至45°C及豆漿加熱至100°C。
電析	• :抽取40ml牛奶/豆漿至50ml燒杯中，分別導入不同電壓的直流電(1.5V、3V.....15V)通電30min。
過濾.秤重	• 分別觀察正負極的凝乳現象後用濾袋過濾、擠壓後刮出凝乳塊，再秤量出凝乳重量，記錄凝乳量。

(2)實驗記錄與統計：



(3)發現與討論：

- 牛奶凝乳量大部分比豆漿凝乳量多。
- 牛奶和豆漿凝乳量最多都在 13.5V。
- 牛奶凝乳量前三名:13.5V>15V>7.5V；豆漿凝乳量前三名:13.5V>15V>12V。
- 豆漿凝乳量在 1.5V 和 3V 為 0g。
- 牛奶電流量從 1.5V 至 7.5V，凝乳量持續上升。
- 牛奶凝乳量最大值為 2.65 公克；豆漿凝乳量最大值為 2.7 公克。
- 由此可見不同膠體溶液通電後產生的凝乳量不一樣。

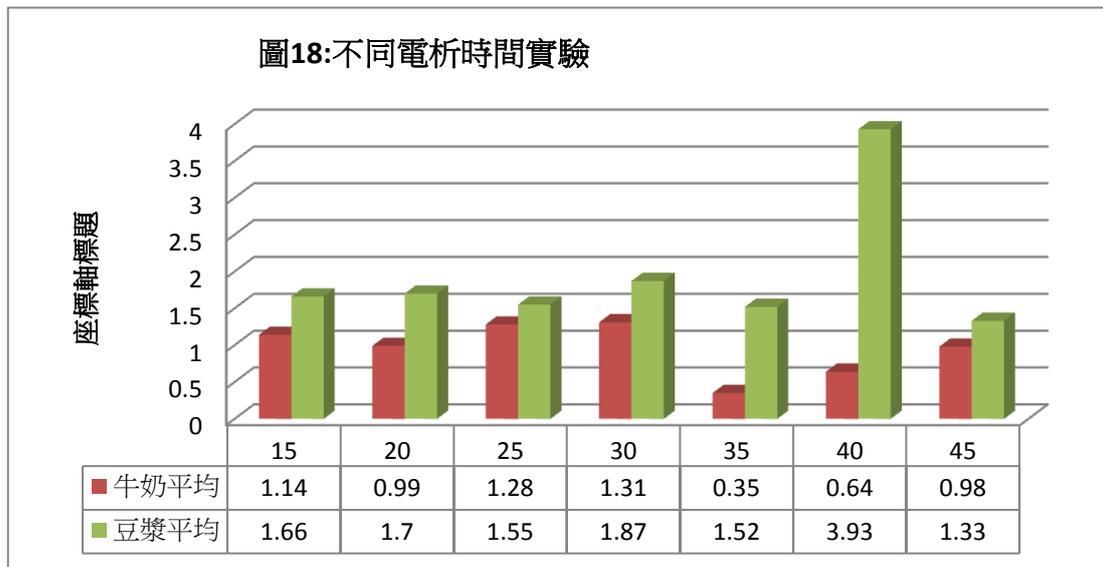


7. 電析:將牛奶或豆漿進行不同時間通電，其凝乳現象有什麼影響?

(1)實驗步驟:

加熱	<ul style="list-style-type: none"> 分別將牛奶加熱至45°C及豆漿加熱至100°C。
電析	<ul style="list-style-type: none"> 取42個50ml燒杯在其中21個注入40ml牛奶,另外21個燒杯倒入40ml的豆漿，導入直流電13.5V通電不同時間(15、20、25....min)
過濾.秤重	<ul style="list-style-type: none"> 分別觀察正負極的凝乳現象後用濾袋過濾、擠壓後刮出凝乳塊，再秤量出凝乳重量，記錄凝乳量。

(2)實驗記錄與統計：



(3)發現與討論

- 牛奶凝乳量最多的電析時間前三名為:30min>25min>15min；豆漿凝乳量最多的電析時間前三名為:40min>30min>20min。
- 豆漿凝乳量皆比牛奶凝乳量來的多。
- 豆漿凝乳量最大值與最小值差 2.6g；牛奶凝乳量最大值與最小值差 0.96g。
- 牛奶凝乳顏色偏灰，乳清偏灰綠色；豆漿凝乳顏色偏黃，乳清偏灰綠色。
- 牛奶電析後有皮蛋的臭味，比豆漿還要濃。
- 牛奶豆漿電析後鋁箔紙有黑色點點，像是被酸腐蝕過的樣子。
- 不同電壓實驗中凝乳顏色差異較大；不同電析實驗中凝乳量差異較大。



8.不同的凝固劑對凝乳現象有什麼影響?

(1)實驗步驟:

加熱

- 將豆漿分別加熱預控溫度(15、20、25....100℃，一式三份)。

加酸.靜置

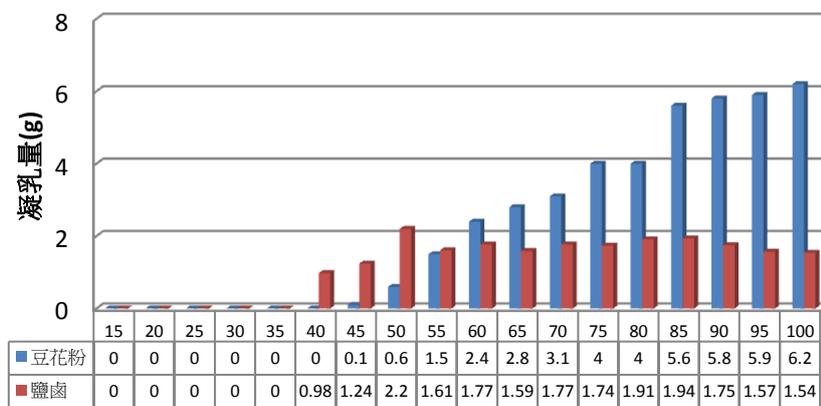
- 分別於每試管注入10ml 豆漿，再依序加入鹽鹵和豆花粉震盪2min。

過濾.秤重

- 靜置45min後用濾袋過濾、擠壓後刮出凝乳塊，再秤量出凝乳重量，記錄凝乳量及凝乳現象。

(2)實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：

圖19:豆漿加鹽鹵和豆花粉實驗不同加熱溫度



(3)發現與討論

- 加石膏的凝乳量為：100℃ > 95℃ > 90℃ > 85℃ > 80℃ = 75℃ > 70℃ > 65℃ > 60℃ > 55℃ > 50℃ > 45℃。
- 加鹽鹵的凝乳量為：50℃ > 85℃ > 60℃ = 70℃ > 90℃ > 75℃ > 55℃ > 95℃ > 65℃ > 100℃。
- 凝乳量最多的為加豆花粉的 100℃，有 6.2g。
- 凝乳量最少的是加豆花粉的 45℃，只有 0.1g。
- 加凝固劑的加熱溫度幾乎要在 40℃ 以上才開始有凝乳，而加石膏的凝乳量都比加鹽鹵的凝乳量多。



以針筒取 10ml 豆漿



以針筒壓力沖漿



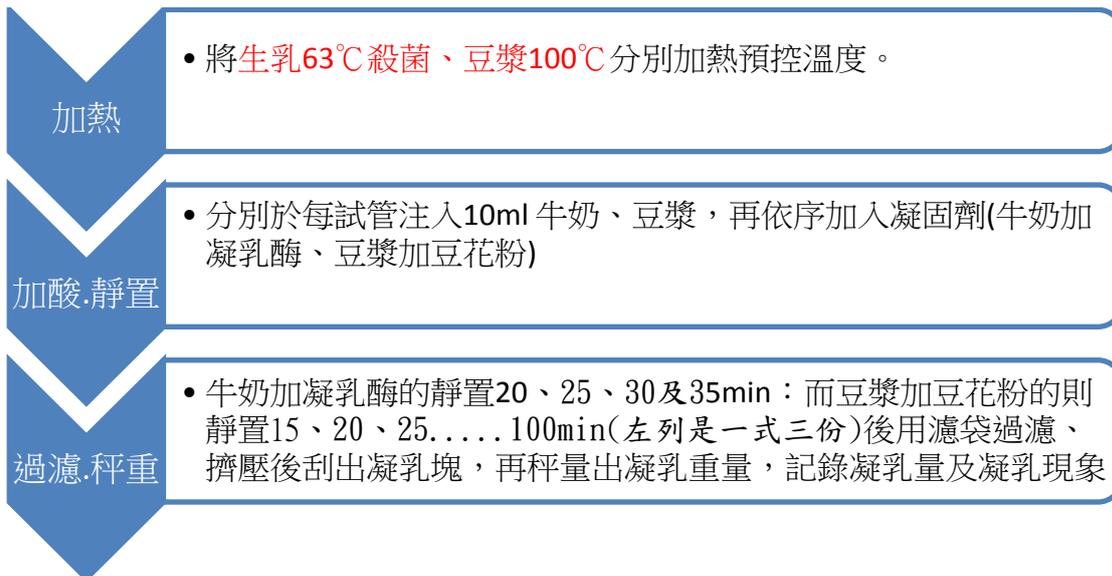
溫度高凝乳狀況佳



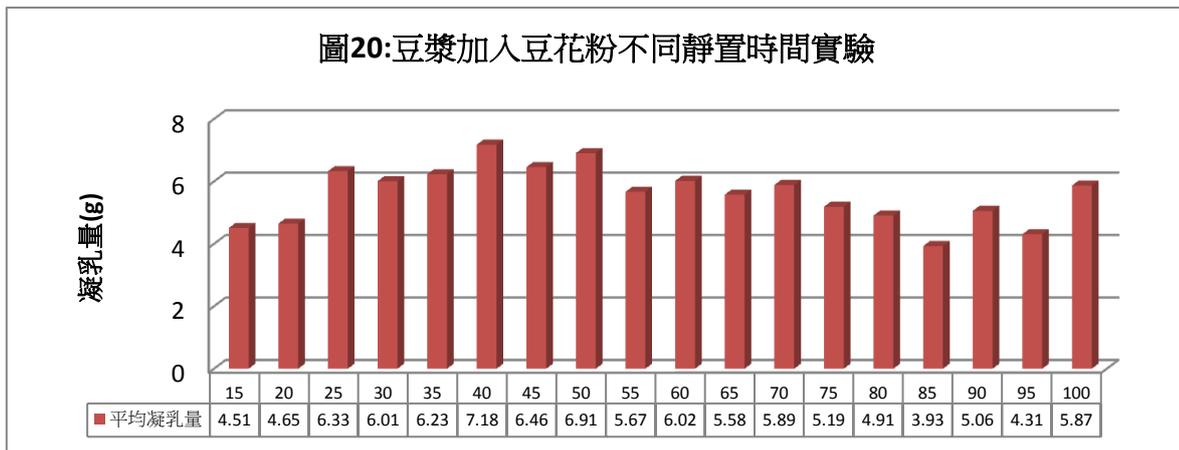
高溫者乳清很少

9.加入凝固劑的不同靜置時間對凝乳有何影響?

(1)實驗步驟:



(2)實驗記錄(各取3次平均值)與統計:



(3)發現與討論

- A.凝乳量由多至少排列為:40 min > 50 min > 45 min > 25 min > 35 min > 30 min > 60 min > 100 min = 70 min > 55 min > 65 min > 75 min > 90 min > 80 min > 20 min > 15 min > 95 min > 85 min
- B.凝乳量最多的是 40min，凝乳量有 7.2g。凝乳量最少的是 85min，凝乳量有 3.9g。
- C.豆漿加入豆花粉後，所凝得凝乳是一整管，上面有少許乳清，豆漿的凝乳比牛奶的凝乳還溼。
- D.牛奶凝乳量由高排至低為 25min > 35min > 30min > 20min。
- E.牛奶的凝乳量最高有 59.44g，最少有 32.14g，相差 27.3g。

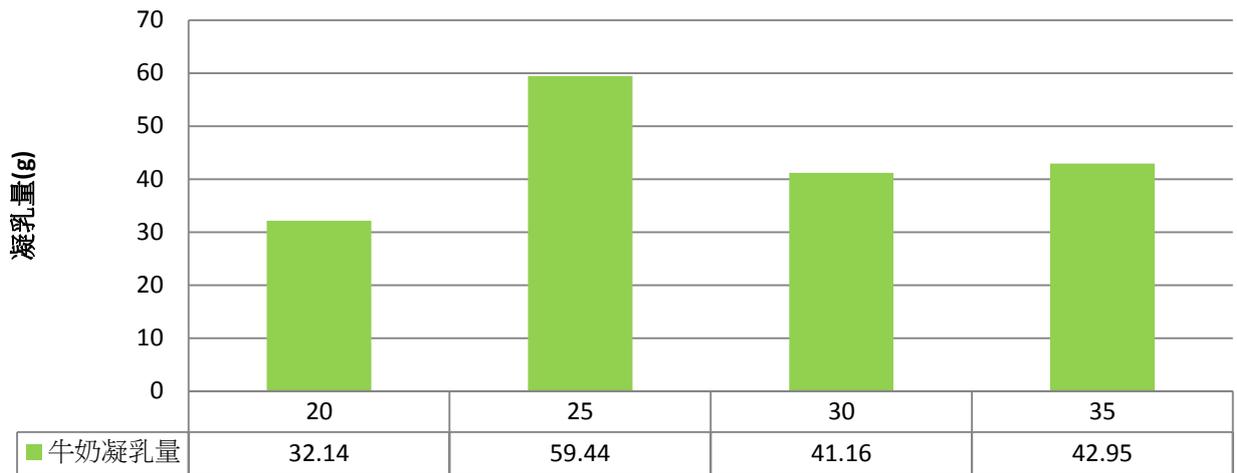


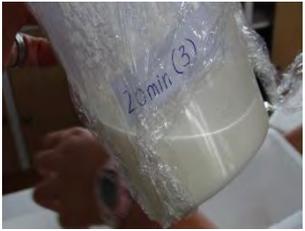
豆漿凝乳狀況較濕



牛奶的凝乳比較乾

圖21:牛奶加入凝乳酶後不同靜置時間



			
秤取凝乳酶	將凝乳酶加入生乳	標明不同時間	靜置於保溫箱
			
切割凝乳塊	過濾乳清	攪碎擠出乳清	倒入滷布袋中
			
封好開口	重壓	重壓後取出	秤重記錄
			
凝乳塊較乾燥	不耐加熱	彈性不佳	缺乏延展性

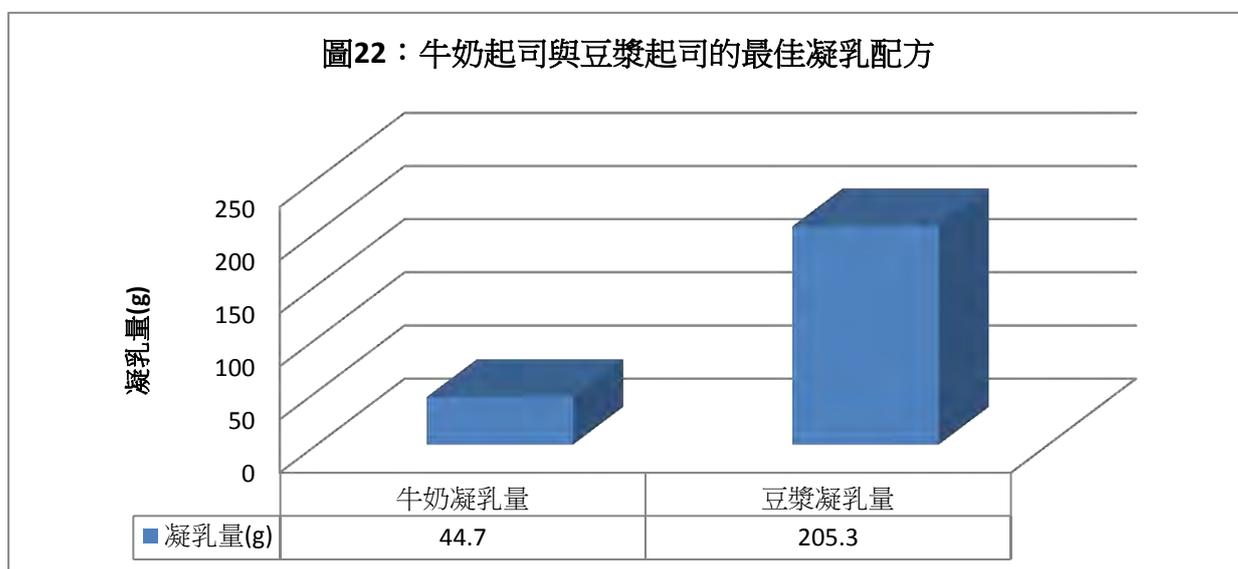
10.自製起司的配方是什麼?

(1)實驗步驟:

我們嘗試在一系列的實驗結果中，找出製作牛奶起司與豆漿起司的最佳溫度、發酵時間、凝固劑、靜置時間，依據各實驗的發現訂出牛奶起司與豆漿起司的最佳程序列表如下：

項目	最佳程序
牛奶起司	生乳殺菌→加乳酸菌發酵 100 分鐘→加熱至 45 度→加入凝乳酶(0.03g 調 0.15g 生飲水)攪拌 1 分鐘→靜置 25 分鐘→以刀將凝乳切割並加熱攪拌至 50°C→過濾→重壓 20 分鐘→刮除秤重並記錄。
豆漿起司	豆漿打製→過濾豆渣→加乳酸菌發酵 60 分鐘→加熱至 100°C→加入 75ml 豆花粉水(15g 豆花粉+110ml 生飲水)→靜置 40 分鐘→以刀將凝乳切割→過濾→重壓 20 分鐘→刮除秤重並記錄。

(2)實驗記錄(各取 3 次平均值)與統計：



(3)發現與討論

A.在參加縣賽時我們在最佳配方實驗中得到結果時牛奶凝乳量 36.8g，豆漿凝乳量是 199.7g。縣賽結束後再次實驗，在本次實驗中牛奶凝乳量為 44.7g，豆漿凝乳量為 205.3g。

B.另外一提的是因在系列實驗中發現添加不同乳酸菌發酵所得的凝乳現象(凝乳量、延展性、彈性、黏稠性...)會有很大的差異，若時間允許，我們在探討最佳凝乳配方時，應一併考量凝乳延展性及風味等。加上本次實驗與之前系列實驗的最佳值比較還不是凝乳量最多的，迫於文件截止日已近，暫時將該實驗值列入研究內，近日會再嘗試比較，希望能找出更穩定及最佳的凝乳量配方。

柒、討論與結論

一、討論

本研究共列出 8 個研究問題並進行相關實驗，茲將各實驗小結或發現統整成下列對照表：

	牛奶	豆漿
1.不同處理方式的牛奶及豆漿是否會影響凝乳量的多寡？	已均質化的牛奶在加酸時凝乳量雖多但不穩定，在加凝乳酶時也不會凝乳。而生乳以 63°C 殺菌後在加酸時凝乳量平均，加凝乳酶時也能成功的凝乳，所以不同處理方式的牛奶會影響凝乳量。	自行殺菌的豆漿凝乳量較多，但在加熱過程時變因較多。九陽豆漿機所製豆漿的凝乳量雖較自行殺菌的豆漿少，但因為處理過程一致，且變因較少、凝乳量較穩定。因此不同處理方式的豆漿還是會影響凝乳量。
2.加入不同的酸對凝乳量有什麼差別？	加入檸檬酸液、檸檬酸顆粒的凝乳效果大部分都比加入蘋果酸液、顆粒的凝乳現象明顯，但是比較不穩定。而且不是加越多酸就有越多的凝乳量。	加入檸檬酸液、檸檬酸顆粒的凝乳效果大部分都比加入蘋果酸液、顆粒的凝乳現象明顯，但是比較不穩定。而且不是加越多酸就有越多的凝乳量。
3.不同的殺菌溫度及加熱溫度對凝乳量影響是什麼？	不同溫度造成蛋白質不同的變化。生乳加熱至 45°C 再加入檸檬酸的凝乳量最多。	不同溫度造成蛋白質不同的變化。豆漿加熱至 100°C 再加入檸檬酸的凝乳量最多。
4.不同靜置時間製造起司的凝乳量有什麼差別？	靜置時間 30 分鐘，凝乳量最多。本次實驗結果沒有找到一個穩定的趨勢，推論可能是靜置過程中未能恆溫，導致實驗誤差，宜改進保溫或維持恆溫裝置。	靜置時間 40 分鐘，凝乳量最多。本次實驗結果沒有找到一個穩定的趨勢，推論可能是靜置過程中未能恆溫，導致實驗誤差，宜改進保溫或維持恆溫裝置。
5.乳酸菌的添加、及不同菌種或醱酵時間是否會影響凝乳量的多寡？	有加乳酸菌的凝乳較多，而醱酵 100min 的凝乳最多(50g)。在加入不同菌種實驗中發現牛奶以克菲爾菌發酵後再凝乳酶的凝乳量最多，雖有光澤但沒有延展性。但是加作嗜熱鏈球菌發酵所製出的凝乳十分有延展性，大約可拉 5 公尺。 在這組加入乳酸菌的實驗中，我們發現菌種及發酵時間的排列組合會產生許多有趣的變化。可以再深入延伸實驗。	有加乳酸菌的凝乳較多，而醱酵 60min 的凝乳最多(250g)。凝乳量是牛奶凝乳量的 3~5 倍。在加入不同菌種實驗中，豆漿加入嗜熱鏈球菌發酵的凝乳量最多，但是豆漿加入代田菌、嗜熱鏈球菌+克菲爾菌、嗜熱鏈球菌發酵後，在加熱時有共同得特殊現象~發酵過程中會有蛋白質沉澱的現象發生，加熱時就產生凝乳，無法與凝固劑起反應。

6. 電析:以不同電壓通電或以同電壓通電不同時間,對於凝乳現象有什麼影響?	在不同電壓通電實驗中凝乳量最多是發生在 13.5V 項目中。接續以 13.5V 進行不同通電時間,通電 30min 的凝乳量最多。牛奶電析後有皮蛋的臭味,比豆漿還要濃。	在不同電壓通電實驗中凝乳量最多是發生在 13.5V 實驗組中。接續以 13.5V 進行不同通電時間,通電 40min 凝乳量最多。
7.不同的凝固劑對凝乳現象有什麼影響?	牛奶對豆花粉及鹽鹵完全沒反應而只對凝乳酶及酸有反應。加入凝乳酶的凝乳量也比酸要多,所以在擇定最佳配方中我們選擇凝乳酶作為凝固劑。	豆漿對凝乳酶完全沒反應而對酸、豆花粉及鹽鹵有反應,加入豆花粉的凝乳量也比鹽鹵來得多,所以在擇定最佳配方中我們選擇豆花粉作為凝固劑。
8.自製起司的配方是什麼?	生乳殺菌→加乳酸菌發酵 100 分鐘→加熱至 45 度→加入凝乳酶 (0.03g 調 0.15g 生飲水)攪拌 1 分鐘→靜置 25 分鐘→以刀將凝乳切割並加熱攪拌至 50°C→過濾→重壓 20 分鐘→刮除秤重並記錄。	豆漿打製→過濾豆渣→加乳酸菌發酵 60 分鐘→加熱至 100°C→加入 75ml 豆花粉水(15g 豆花粉+110ml 生飲水)→靜置 40 分鐘→以刀將凝乳切割→過濾→重壓 20 分鐘→刮除秤重並記錄。

二、結論

- (一)市售牛乳經均質化處理,不利於添加乳酸菌及凝乳酶等進行凝乳作用。自製生豆漿經高溫加熱才能有較佳的凝乳反應。
- (二)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。而在加入不同重量的酸及不同 pH 值酸液的凝乳實驗中我們發現並不是加入越多的酸就能有越好的凝乳效果,牛奶加入 0.3g 檸檬酸顆粒時有最大凝乳值,可見適當的酸鹼值(達到等電點)對於凝乳的生成量重要的。
- (三)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 而豆漿則為 100°C。
- (四)靜置有助於蛋白(酪蛋白、大豆蛋白)和脂肪結合,以利排出多餘的水分。在凝乳反應時牛奶較佳的靜置時間為 30min,而豆漿則為 40min。
- (五)發酵過程能產酸會降低牛奶或豆漿的 pH 值,所以在加凝固劑前加入乳酸菌發酵是有助益的,但牛奶或豆漿的發酵時間不同,牛奶為 100min 而豆漿發酵 60min 即可。且在該實驗中發現豆漿凝乳是牛奶凝乳的 3~5 倍。加入不同的菌種會有不同的最佳發酵時間,對牛奶而言,克菲爾菌有助於凝乳量的生成,但嗜熱鏈球菌有助於延展性。而豆漿加入嗜熱鏈球菌發酵的凝乳量最多,在加入代田菌、嗜熱鏈球菌+克菲爾菌、嗜熱鏈球菌發酵後,在加熱時有共同得特殊現象~發酵過程中會有蛋白質沉澱的現象發生,加熱時就產生凝乳,無法與凝固劑起反應。這個部分受限於截稿時間已屆,我們還會再繼續實驗,希望在赴新竹參加全國科學展覽比賽前能有重大發現。

- (六) 在不同電壓通電實驗中凝乳量最多是發生在 13.5V 項目中。接續以 13.5V 進行不同通電時間，牛奶通電 30min 的凝乳量最多。豆漿則是通電 40min 凝乳量最多。牛奶電析後有皮蛋的臭味，比豆漿還要濃，本項實驗得知電析對風味有不良影響，暫不列入最佳配方中。
- (七)在凝固劑部分我們確認牛奶只能和凝乳酶產生效應，而豆漿只能對熟石膏或鹽鹵產生反應。
- (八)目前歸納出的最佳凝乳程序未達理想狀態，所以尚需實驗修正或確認才能定出較佳的牛奶起司或豆漿起司的凝乳配方。
- (九)在本研究中牛奶成本高，其凝乳量卻比成本低的豆漿少，由此推論若能研究出最佳的豆漿凝乳配方應具其經濟價值；而且豆漿起司的研發也可以造福吃全素者，讓他們享受起司的美味。**

捌、檢討與建議

牛奶與豆漿這二種食材是常見的膠體溶液，其凝乳的相關產品也充斥於日常生活中，我們希望透過多項實驗設計、驗證，發現、歸納或推論以瞭解牛奶與豆漿的凝乳現象的相關因素，並嘗試找出自製牛奶起司與豆漿起司的方法，希望能研製出豆漿起司的配方，讓吃全素者也能享受起司的美味，過程中我們都盡量力求精準，但或許遇有許多不周延或值得再深入探討的部分未完成，若還有時間與機會，將再一探究竟。

在研究凝乳現象的過程中，發現蛋白質的變化真是奧妙，在探究牛奶與豆漿的凝乳現象裡均除了凝乳量的統計，凝乳的延展性、及含水性也還有相當值得探討的空間，加上在取得凝乳後所濾出的乳清若能加以探討，也可以讓研究面向再加深加廣。

研究與實驗過程因為時間、空間與資源的限制，導致有所誤差，因此以後再做類似這樣的實驗時，也許在儀器的選擇上、記錄標準認定，極需加強其精準性與一致性。另外在經濟成本考量上，也因實驗需要用到牛奶、豆漿、凝乳酶、豆花粉、濾袋...等原料耗材，在實驗數量上有所限制，因此未來研究此相關題目時，可使用一些替代性、成本較低之材料，或尋求社會資源以增加實驗數量求其平均數以達客觀性，符合科學實事求是的精神。

玖、參考資料

- 一、尾嶋好美著，廚房裡有趣的科學“食”驗，台北市，世茂出版，2009年09月28日。
- 二、威廉·夏利夫及青柳昭子著，豆腐之書，雲林縣，柿子文化出版，2011年二版二刷。
- 三、彭清勇等著，食物學原理與實驗，新北市，新文京開發出版，2011年8月15日。
- 四、茱麗葉哈博/主編，世界起司圖鑑大全：精確瞭解 25 國 750 種起司鉅細靡遺的 1618 張圖解，全世界起司的終極指南，大境文化，2012年08月20日首刷。

【評語】 080203

1. 凝乳現象原理理解與應用宜加強。
2. 延續性實驗設計，其變因控制宜審慎選擇。
3. 實驗結果圖表對照應用，宜適切說明。