

屏東縣第 62 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科別：生活與應用學科(二)

組別：國中組

作品名稱： 笑一個～cheese～

探討不同因素對起司凝乳作用影響

關鍵詞：凝乳作用、起司、蛋白質分離

編號：B3005

摘要

我們在文獻探討中發現影響起司的因素有加入酸液的比例、不同的乳源、熟成的時間…等，因此先透過調製不同比例的檸檬酸水溶液製作起司，得知最好的檸檬酸水溶液濃度為 40%；接著我們使用不同的酸液凝結起司，發現效果最好的酸液是 40%檸檬酸水溶液；我們還透過改變乳品製作起司得知生牛乳最適合製作起司；亦把起司加熱到不同溫度發現最佳拉絲溫度為 120°C；最後還透過融化測試與雙縮脲試驗來判斷是受起司的真假。

壹、前言

一、研究動機

當國小四年級下學期我們在上「餐旅職探」課程時，老師教我們做莫札瑞拉起司披薩，老師說這是蛋白質變性使牛奶產生凝乳作用的結果，於是我們進一步詢問老師甚麼是蛋白質變性時，老師也回答得不清楚。而當我們升上國中時，決定進一步探討不同因素對起司凝乳作用影響，以及與市售起司之差異性，還須藉由我們的研究結果，分辨市售起司之真假。而根據泛科學顯示：生牛乳加熱會影響到起司的品質與口感，為了保存牛乳天然的蛋白酶和脂肪酶，讓起司熟成後會有特殊的風味，則會改變酸液、使用不同的乳製品，讓蛋白質變性與酪蛋白結合，對於莫札瑞拉起司為了增加其延展度，會將凝乳塊放在攝氏 70 度的水中攪動，增加蛋白質的彈性，最後再放入冰水中，但要更詳細了解蛋白質變性以及其延展性，還需繼續深入研究。

二、研究目的(含研究架構)

- (一)製作莫札瑞拉起司與訂定標準步驟。
- (二)探研究生牛乳與不同比例的檸檬酸水溶液對凝乳作用的影響。
- (三)探究不同的酸液對生牛乳凝乳作用的影響。
- (四)探究不同的乳製品、飲品對凝乳作用的影響。
- (五)探究自製起司加熱到不同溫度時的延性變化。
- (六)檢測判斷市面販售的起司是真是假。

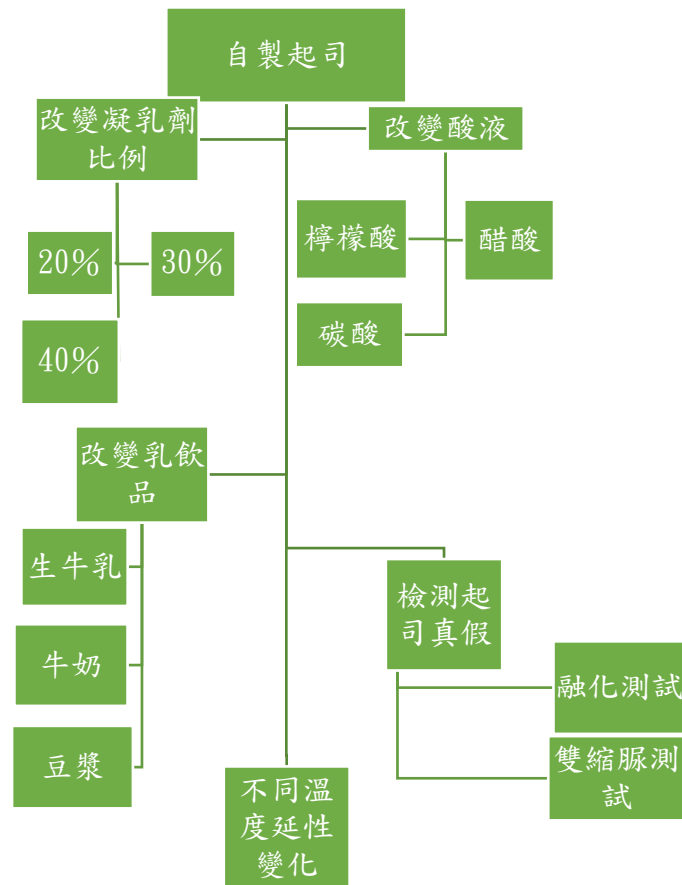


圖 1. 研究架構圖

三、文獻探討

- (一)**起司定義**: 起司，又名起司、乾酪，是起司的通稱，有各式各樣的味道(帶有微酸具有清新鮮奶般的乳香味)、口感(濕潤柔軟)。起司以奶類為原料，含有豐富的蛋白質和脂質，乳源包括家牛、水牛等。製作過程中通常加入凝乳酶，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。根據種類不同，起司在常溫時可為堅硬的固體或柔軟的半固體，高溫時都會融化，呈粘稠的半液體狀態。起司可以分為上百種，乳源是否使用巴斯德消毒法、乳脂含量、細菌的處理方法和發酵決定了他們的形狀，少數起司中牛奶是通過加入醋、檸檬汁或者其他的酸來凝固的，而大部份的起司是通過細菌輕微酸化，將乳糖變為乳酸，然後加入凝乳酶使之完全凝固。凝乳酶可採用細菌培養或被其他物質代替。
- (二)**巴氏消毒牛奶**: 使用巴斯德消毒法於牛奶時，以 72-75°C 的溫度將牛奶加熱 15~30 秒，然後立刻冷卻到 4-5°C。此法由於未煮沸，比較能保留牛奶的風味，但另一方面不煮沸就不能消除牛奶裡全部微生物，這溫度只是剛好把致病的細菌消除。由於仍然有部份細菌生存，巴斯德消毒法消毒的牛奶即使未開封，在室溫下一兩天後仍會變質，因此應冷藏。未開封

置的牛奶於 6-7°C 可以保存 6-10 日。

- (三) **自製起司成分**: 自製起司的成分是用牛奶、食品級檸檬酸以及凝乳酶進行凝乳作用所形成的市售起司則是起司添加鮮奶油，乳汁、脂肪、水、鹽，人工或天然的色素或香料及其他添加物，我們要測量各個起司的含乳量來分辨並比較自製起司和市售起司的差別。
- (四) **雙縮脲試驗**: 雙縮脲試劑是一個用於鑑定蛋白質的分析化學試劑。它是一個鹼性的含銅試液，呈藍色，由 1% 氫氧化鈉、數滴 1% 硫酸銅和酒石酸鉀鈉配製。雙縮脲試劑是用來檢測雙縮脲，由於蛋白質分子中含有許多與雙縮脲結構相似的肽鍵，因此也能與銅離子在鹼性溶液中發生雙縮脲反應，當底物中含有肽鍵時(多肽)，試液中的銅與多肽配位則會使配合物呈紫色，而雙縮脲試劑中真正起作用的是硫酸銅，氫氧化鈉只是為了提供鹼性環境，因此它可被其他鹼所代替(如氫氧化鈉)。在試劑中加入碘化鉀，可延長試劑的使用壽命，而酒石酸鉀鈉的作用是保護反應生成的絡離子不被析出變為沉澱，從而使試劑失效。雙縮脲是兩個分子脲經 180°C 左右加熱，放出一個分子氨後得到的產物，在強鹼性溶液中，雙縮脲與硫酸銅形成紫色絡合物，雙縮脲反應產生的紫色絡合物顏色的深淺與蛋白質濃度成正比，與蛋白質分子量及胺基酸成分無關，故可用來測定蛋白質含量。
- (五) **蛋白質變性**: 蛋白質變性是指天然蛋白質受物理或化學因素的影響，導致分子內部原有的特定構像發生改變，從而使其性質和功能發生部分或全部喪失，這種作用稱為蛋白質的變性作用。蛋白質是由多種胺基酸通過肽鍵構成的高分子化合物，在蛋白質分子中各個胺基酸通過肽鍵及二硫鍵結合成具有一定順序的肽鏈稱為一級結構；蛋白質的同一多肽鏈中的氨基和酰基之間或肽鏈間可以形成氫鍵，使這一多肽鏈的主鏈具有一定的有規則構象，包括 α -螺旋、 β -摺疊、 β -轉角和 Ω -環等，這些稱為蛋白質的二級結構；肽鏈在二級結構的基礎上進一步盤曲摺疊，形成一個完整的空間構象，稱為三級結構；多條肽鏈通過非共價鍵聚集而成的空間結構稱為四級結構，其中一條肽鏈叫一個亞基。一般認為蛋白質的二級結構和三級結構有了改變或遭到破壞，都是變性的結果。
- (六) **均質化**: 均質化是指使互不溶的成分成為穩定而均勻的液態懸浮物。未經均質處理的生牛乳，在放置一段時間後，會因為油水不溶的關係而浮出一層脂肪，有助於後續凝結製造起司；而均質則會使脂肪球變小並與酪蛋白結合，進而在起司製作過程中影響牛乳凝結、使起司成型不佳。而牛乳藉由均質機細碎脂肪球，使其呈安定化的狀態，防止裝瓶後脂肪上浮及脂肪分離引起的變化，而牛乳均質化通常於殺菌過程中預熱 (60~80°C) 之後進行。
- (七) **延展性**: 當溫度升高時，剛開始凝乳且尚未拉伸的莫札瑞拉起司，凝乳塊中的脂肪會逐漸聚合在一起而形成球狀。而為了增加莫札瑞拉起司的延展度，會將莫札瑞拉起司的凝乳塊先放在攝氏 70 度的水中攪動，增加蛋白質的彈性，最後再放入冰水中，也可將莫札瑞拉起司加熱，使它產生有很強的延展性。
- (八) **再製起司**: 再製起司是指將天然起司再製作而成，國家標準 (CNS) 對於再製起司的規格有一定的規範。超市裡販售的起司通常是再製乾酪，由於經過再加工，規格變得更加均一、方便使用，起司的質地與口感也更加明顯。再製起司的製作過程中，可能會添加其他原料或者食品添加物，常見會添加鈉形式的正磷酸鹽、多磷酸鹽等，這些鹽類能提升起司內蛋白質的乳化能力，使產品質地均一。
- (九) **不同起司成分圖**，如表 1:

表1. 不同種類的起司成分表

	水分	蛋白質	脂肪	碳水化合物	鈣	磷	維他命A	膽固醇
帕瑪森	29.16	35.75	25.83	3.22	1184	694	781	68
巧達	37.02	22.87	33.31	3.09	710	455	1242	99
莫札瑞拉	50.01	22.17	22.35	2.19	505	354	676	79
高達	41.46	24.94	27.44	2.22	700	546	563	114
藍徽	42.41	21.40	28.74	2.34	528	387	721	75
卡蒙貝爾	51.80	19.80	24.26	0.46	388	347	820	72
奶油起司	52.62	6.15	34.44	5.52	97	107	1111	101
再製起司	58	22.70	1	11.70	712	923	2166	16
抹醬起司	47.65	16.41	21.23	8.73	562	875	653	55
仿製起司	53.10	16.70	14	11.60	562	712	430	36

資料來源：美國食品藥物管理局國家營養資料庫

單位：毫克/每100公克

我們發現仿製起司的蛋白質含量比再製起司、莫札瑞拉起司的蛋白質含量少，所以我們想要用雙縮脲測試檢測起司裡的蛋白質。

- (十) **起司融化**: 有很多因素會影響起司融化溫度及黏性。起司的含水量是其中一個原因，如莫札瑞拉起司及布利乳酪這類高含水量的起司，水分在各種蛋白質間扮演潤滑劑的角色，融化溫度也會偏低。但因為再製與仿製起司的脂肪過少，導致不易融化。脂肪含量也是起司融化特性中的類似角色，高脂肪含量（如柴郡起司及萊斯特起司）會產生所謂「融化的起司」，無法維持原本的形狀。另一個因素是熟成程度，如克索布蘭可及波芙隆起司這類新鮮乳酪，因含有完整的酪蛋白分子，可以維持酪蛋白網絡，形成有彈性、多絲的質地，即使融化也可以維持原本的形狀。而有些新鮮起司內含有豐富蛋白質及低脂肪，如哈羅米、帕尼爾起司，因為蛋白質網絡能維持起司的完整度，即使高溫也不會被融化。當起司逐漸熟成時，蛋白質降解酶會被細菌及黴菌釋放，破壞酪蛋白並幫助製造出更滑順的融化起司，例如熟成切達起司。假如要將任何起司融化，可準備 2 匙檸檬酸、2.5 匙小蘇打、1/2 杯水、1/2 磅起司（需切碎）；將這些混合物慢火加熱，直到起司融化。因檸檬酸及小蘇打會發生反應，形成檸檬酸鈉，連結鈣質並破壞酪蛋白網絡，造成起司融化。當由凝乳酶使牛乳凝結的起司開始加熱融化時，其脂肪顆粒會由固狀變為液態，使起司更加柔軟。接著，隨著溫度持續上升，緊密結合的酪蛋白們開始慢慢分離，使起司融化；反之，使用酸類凝結的起司則難以融化，因為酸會使酪蛋白間的鈣離子溶解並改變電荷，兩種變化都會讓蛋白質連結的更加緊密成團，而高溫則會再度強化蛋白質間的連結，並且擠出起司中的水份，使起司難以融化。

(十一)**凝乳酶**：凝乳酶是存在於哺乳動物胃中的一種酶，它不含卡路里、脂肪、蛋白質或碳水化合物，並且不提供任何重要的維生素或礦物質，它的主要作用是使牛奶凝聚，進而分離出凝乳和乳清，它常用於製造起司，裡頭的蛋白酶能打斷胺基酸間的肽鏈，形成較小的分子團，加速牛奶分離成凝乳與乳清。

而凝乳酶可分為以下幾種：

1. 動物性凝乳酶，它取自幼年反芻動物(小牛)第四個胃的酶，而且隨著年紀越大，凝乳酶存在的比例也越少。
2. 植物性凝乳酶(如洋薊，蓴麻或薊薊)，它由植物萃取而得。
3. 微生物性凝乳酶，它由有能力生產凝乳酵素的黴菌所製造。
4. GMO 來源的凝乳酶：它由基因轉植生物產生。

(十二)**大豆蛋白 VS 乳清蛋白**：大豆蛋白屬於植物性蛋白質，有較低的脂肪，含有高量的精胺酸與谷氨酰胺，精胺酸可以刺激蛋白同化作用，促進肌肉的形成，而谷氨酰胺被認為是代謝性應激過程中是不可或缺的胺基酸；酪蛋白的蛋白質在這分解過程中，能夠被充分利用在身體中，胺基酸也不會被浪費掉。這是一種反異化作用，可防止肌肉的流失，它能夠在腸胃中停留很長時間，不會造成飢餓感。乳清蛋白是由牛奶中分離出來的胺基酸濃縮而成，含有較高的胺基酸含量，而大豆蛋白是蛋白質含量最高的植物，接著利用凱氏定氮法來檢測蛋白質含量，結果乳清蛋白的蛋白質換算係數為 6.38，大豆分離蛋白為 5.71。所以蛋白質含量和胺基酸比值都是乳清蛋白比大豆蛋白多，如表 2。

表2. 乳清蛋白比較表

	WPC：濃縮乳清蛋白 Whey protein concentration	WPI：分離乳清蛋白 Whey protein isolate	WPH：水解乳清蛋白 Whey protein hydrolysate
乳清蛋白	30~80%	90%以上	50%以下
乳糖	4-52%	0.5-1%	0.5-10%
脂肪	1-9%	0.5-1%	0.5-8%
特色	<ol style="list-style-type: none"> 1. 這是最常見的形式。 2. 製作起司乳酪產品等的剩餘物，通常由牛奶萃取。 3. 其他則含有些微碳水化合物、礦物質，仍保有牛奶中天然的營養素。 4. 處理與分解的程度較低，在價格上也較便宜。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將乳清裡的脂肪和乳糖幾乎皆去除掉。 2. 乳糖不耐症的人可以使用。 3. 處理過程繁雜，分離乳清蛋白裡所含的營養成分會低於濃縮乳清蛋白，但不影響蛋白質的補給與吸收效果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將蛋白質分解成最小分子、幾乎不需要再消化即可直接被人體吸收。 2. 能讓身體快速吸收蛋白質，也減少蛋白質過敏的可能性。 3. 價格上相對貴許多。

貳、研究設備及器材

生牛乳	檸檬酸(可食用)	無碘鹽	凝乳酶	蒸餾水
				
醋酸	碳酸	牛奶	豆漿	酒精燈
				
打蛋器	彈簧秤	酒石酸鉀鈉	硫酸銅	氫氧化鈉
				

參、研究過程、方法與結果

一、實驗一：製作莫札瑞拉起司與探究其原理

(一)實驗步驟：

1. 把水和檸檬酸混合均勻，調配出 20% 的檸檬酸水溶液
2. 把 500ml 生牛乳倒入鍋裡，燈芯溫度達 120°C 後加入 80ml 檸檬酸水，不停的攪拌直到加熱到 32°C 溫度。
3. 用食物溫度計測量生牛乳溫度，溫度到 32°C 後，就把鍋移開，停止加熱
4. 把 1g 凝乳酶倒入生牛乳中，輕輕的攪拌 25 秒後，蓋上蓋子，等待 5 分鐘。
5. 在 5 分鐘後查看生牛乳是否凝結，如果牛奶凝結了，用長的刀把凝乳切塊，確保凝乳底部也都切開了。
6. 然後把凝乳移回酒精燈上，用小火加熱到 40°C；加熱的同時，輕輕地攪拌幾次，讓溫度均勻分佈在凝乳中。
7. 凝乳塊加熱到 40°C 後，立即停止加熱，把起司從鍋裡撈出到大的豆漿袋裡；用重物把起司中多餘的乳清擠出來，放到盆子裡。
8. 同時舀部分 40°C 的乳清到小鍋裡，加鹽攪拌均勻，繼續加熱到 80°C。
9. 把加熱到 80°C 的乳清倒在起司盆子裡，等待 25-30 秒鐘。
10. 把起司從乳清中撈出，反覆摺疊幾次，起司在摺疊過程中會變得順滑、細膩。

(二)實驗結果數據(500ml 生牛乳+80ml 的 20% 檸檬酸水溶液)，如表 3。

表 3. 製作莫札瑞拉起司實驗結果

比較	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	平均
起司(g)	116	121	119	118.67
乳清(g)	440	449	443	451.67
總重(g)	556	570	562	562.67



結果分析

1. 由表 3 可知：三次的實驗的起司加乳清總重皆小於 580g，推測有可能是因為凝乳不完全而黏在鍋底，導致無法採集；也有可能是因為在煮牛奶的過程中，乳清中少許的水因為受熱而蒸發。
2. 本實驗方法凝乳比例高、散失比例低，故延用成為後續實驗之起司製作標準步驟。

二、實驗二：探究牛奶與不同比例的檸檬酸水溶液對凝乳作用的影響

(一)實驗步驟

1. 把水和檸檬酸混合均勻，調配出 20%、25%、40% 檸檬酸水溶液
2. 把 500ml 生牛乳倒入鍋裡，燈芯溫度達 120°C 後加入 80ml 該實驗之檸檬酸水溶液，不停的攪拌直到加熱到 32°C。
3. 用食物溫度計測量生牛乳溫度，溫度到 32°C 後，就把鍋移開，停止加熱
4. 把 1g 凝乳酶倒入生牛乳中，輕輕的攪拌 25 秒後，蓋上鍋蓋，等待 5 分鐘。
5. 5 分鐘後查看生牛乳是否凝結，如果牛奶凝結了，用長的刀把凝乳切塊，確保凝乳底部也都切開了。
6. 然後把凝乳移回酒精燈上，用小火加熱到 40°C；加熱的同時，輕輕地攪拌幾次，讓溫度均勻分佈在凝乳中。
7. 凝乳塊加熱到 40°C 後，立即停止加熱，把起司從鍋裡撈出到大的豆漿袋裡；用重物把起司中多餘的乳清擠出來，放到盆子裡。
8. 同時舀部分 40°C 的乳清到小鍋裡，加鹽攪拌均勻，繼續加熱到 80°C。
9. 把加熱到 80°C 的乳清倒在起司盆子裡，等待 25-30 秒鐘。
10. 把起司從乳清中撈出，反覆摺疊幾次，起司在摺疊過程中會變得順滑、細膩。

(二)實驗結果數據(500ml 生牛乳+80ml 的 20%、25%、40% 檸檬酸水溶液)，如表 4

表 4. 牛奶與不同比例的檸檬酸水溶液對凝乳作用之影響比較

比較		第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	平均
20%	起司(g)	117	120	124	120.33
	乳清(g)	452	448	443	447.67
	總重(g)	569	568	567	568.00
30%	起司(g)	129	134	133	132.00
	乳清(g)	441	437	434	437.33
	總重(g)	570	571	567	569.33
40%	起司(g)	142	139	145	142.00
	乳清(g)	435	440	431	435.33
	總重(g)	577	579	576	577.33
50%	起司(g)	146	150	144	146.67
	乳清(g)	430	428	432	430.00
	總重(g)	576	578	576	576.67

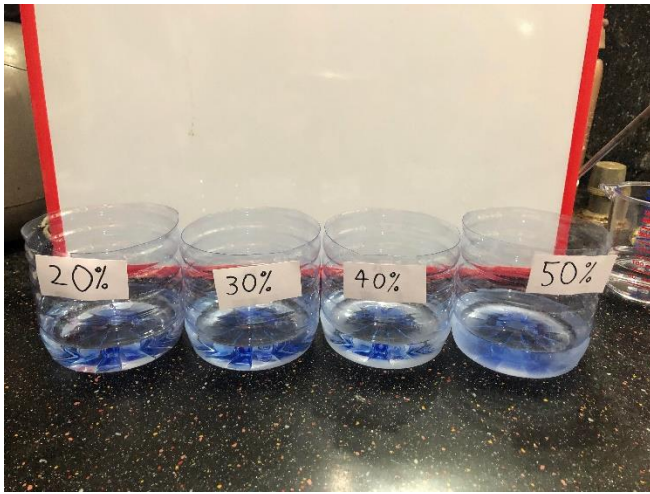
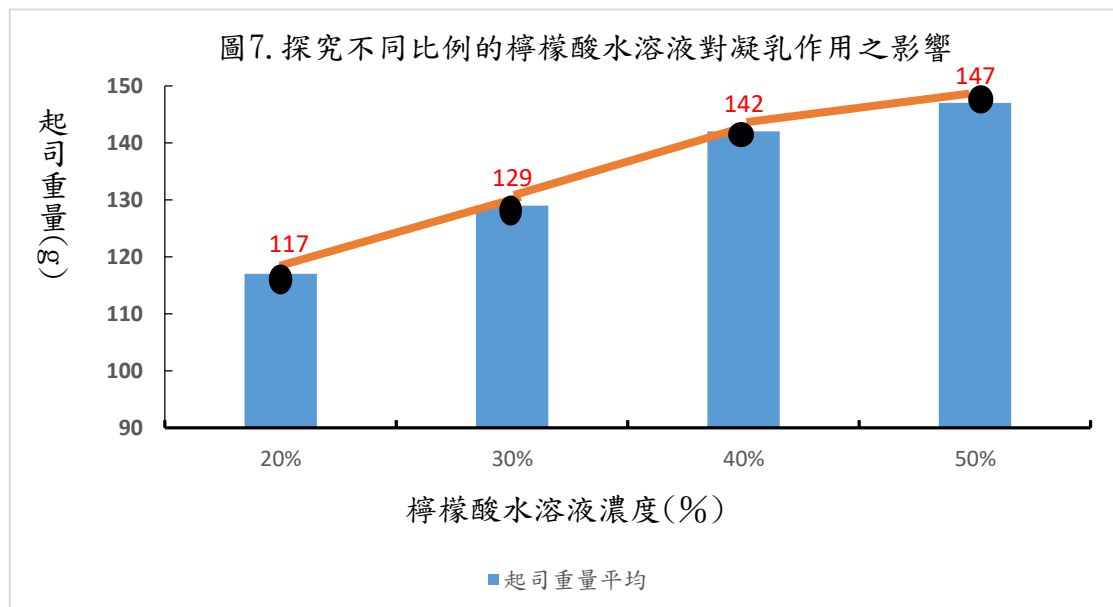


圖 5. 調製檸檬酸水溶液



圖 6. 20%檸檬酸水溶液的起司(上)與50%檸檬酸水溶液的起司(下)

(三)實驗結果，如圖 7。



結果分析

1. 由表 4、圖 7 可發現：**檸檬酸水溶液的濃度越高**，凝乳後做出的**起司量越多**。
2. 我們做了檸檬酸水溶液濃度 50% 的起司之後，發現其結果與 40% 之結果相差不多，且 50% 檸檬酸水溶液製作的起司嘗起來頗有酸味，因此之後的實驗我們決定採用**40%檸檬酸水溶液**視為檸檬酸水溶液的最佳比例。
3. 我們將實驗數據整理成圖表，發現起司重量呈現遞增曲線，而檸檬酸水溶液濃度越高值增加越平緩。

三、實驗三：探究不同的酸性溶液對牛奶凝乳作用之影響

(一)實驗步驟：

1. 將醋酸、碳酸水、40%檸檬酸水溶液取 80ml 備用

2. 把 500ml 生牛乳倒入鍋裡，燈芯溫度達 120°C 後加入 80ml 該實驗之酸液，不停的攪拌直到加熱到 32°C。
 3. 用食物溫度計測量生牛乳溫度，溫度到 32°C 後，就把鍋移開，停止加熱
 4. 把 1g 凝乳酶倒入生牛乳中，輕輕的攪拌 25 秒後，蓋上鍋蓋，等待 5 分鐘。
 5. 在等待 5 分鐘後，查看生牛乳是否凝結，如果生牛乳凝結了，用長的刀把凝乳切塊，確保凝乳底部也都切開了。
 6. 然後把凝乳移回酒精燈上，用小火加熱到 40°C;加熱的同時，輕輕地攪拌幾次，讓溫度均勻分佈在凝乳中。
 7. 凝乳塊加熱到 40°C 後，立即停止加熱，把起司從鍋裡撈出到大的豆漿袋裡;用重物把起司中多餘的乳清擠出來，放到盆子裡。
 8. 同時舀部分 40°C 的乳清到小鍋裡，加鹽攪拌均勻，繼續加熱到 80°C。
 9. 把加熱到 80°C 的乳清倒在起司盆子裡，等待 25-30 秒鐘。
 10. 把起司從乳清中撈出，反覆摺疊幾次，起司在摺疊過程中會變得順滑、細膩
- (二)實驗結果數據(500ml 生牛乳+80ml 的醋酸、碳酸、40%檸檬酸水溶液)，如表 5。

表 5. 探究不同的酸性溶液對牛奶凝乳作用之影響比較

比較		第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	平均
檸檬酸	起司(g)	137	151	148	145.33
	乳清(g)	431	420	425	425.33
	總重(g)	568	571	573	570.67
醋酸	起司(g)	97	103	80	93.33
	乳清(g)	469	461	482	470.67
	總重(g)	566	564	572	567.33
碳酸	起司(g)	12	20	18	16.67
	乳清(g)	561	549	552	551.00
	總重(g)	573	569	570	570.67

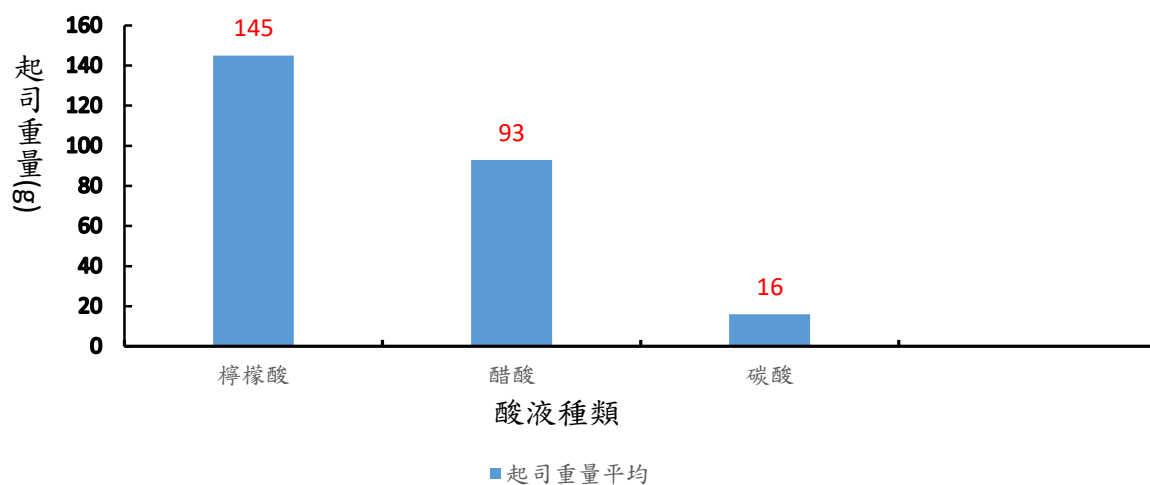


圖 8. 碳酸起司(左)與醋酸起司(中)與檸檬酸起司(右)



圖 9. 醋酸起司過濾

圖10. 探究不同的酸性溶液對牛奶凝乳作用的影響



結果分析

1. 由表 5、圖 10 可知：碳酸、醋酸、檸檬酸水溶液加牛乳皆可順利凝結成起司，其中又以檸檬酸水溶液凝結的起司量(145g)最多，但碳酸水只有少部分(16g)能凝結成起司。
2. 碳酸處理組的總合平均高於檸檬酸，推測是因為幾乎沒有凝乳，所以沒有殘渣凝結在鍋子底部。

四、實驗四：探究不同的乳製品、飲品對牛奶凝乳作用之影響

(一)實驗步驟

1. 把水和檸檬酸混合均勻，調配出 40% 的檸檬酸水溶液
2. 把 500ml 牛奶或豆漿或生牛乳倒入鍋裡，燈芯溫度達 120°C 後加入 80ml 檸檬酸水，不停的攪拌直到加熱到 32°C。
3. 用食物溫度計測量乳品溫度，溫度到 32°C 後，就把鍋移開，停止加熱
4. 把 1g 凝乳酶倒入乳品中，輕輕的攪拌 25 秒後，蓋上蓋子，等待 5 分鐘。
5. 等待 5 分鐘後，查看乳品是否凝結，如果乳品凝結了，用長的刀把凝乳切塊，確保凝乳底部也都切開了。
6. 然後把凝乳移回酒精燈上，用小火加熱到 40°C；加熱的同時，輕輕地攪拌幾次，讓溫度均勻分佈在乳品中。
7. 凝乳塊加熱到 40°C 後，立即停止加熱，把起司從鍋裡撈出到大的豆漿袋裡；用重物把起司中多餘的乳清擠出來，放到盆子裡。
8. 同時舀部分 40°C 的乳清到小鍋裡，加鹽攪拌均勻，繼續加熱到 80°C。
9. 把加熱到 80°C 的乳清倒在起司盆子裡，等待 25-30 秒鐘。
10. 把起司從乳清中撈出，反覆摺疊幾次，起司在摺疊過程中會變得順滑、細膩

(二)實驗結果數據(500ml 豆漿、牛奶、生牛乳+80ml 的 40% 檸檬酸水溶液)，如表 6。

表 6. 探究不同的乳製品、飲品對牛奶凝乳作用之影響比較

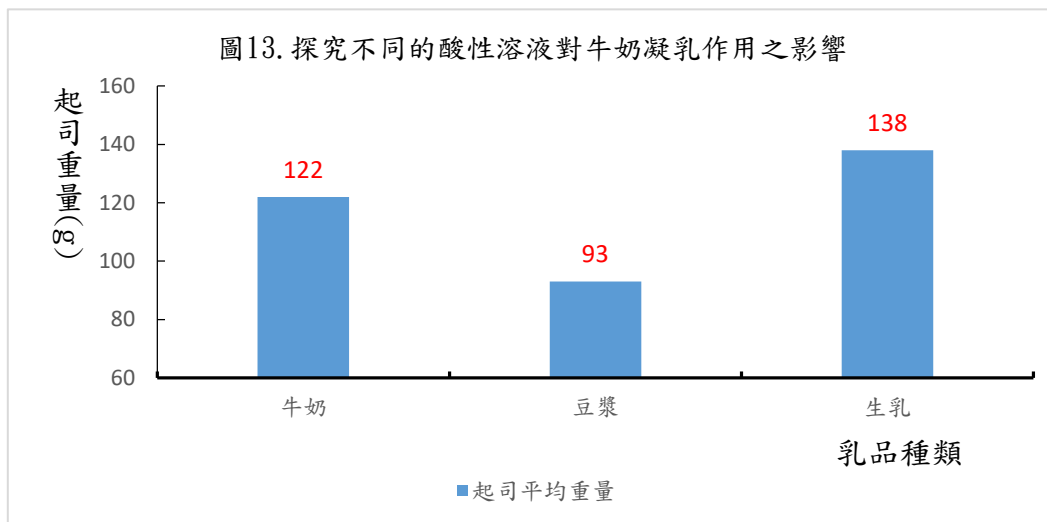
比較		第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	平均
牛奶	起司(g)	121	115	132	122.67
	乳清(g)	445	453	433	443.67
	總重(g)	566	568	565	566.33
豆漿	起司(g)	92	103	84	93.00
	乳清(g)	468	459	480	469.00
	總重(g)	560	562	564	562.00
生牛乳	起司(g)	156	134	126	138.67
	乳清(g)	409	430	437	425.33
	總重(g)	565	564	563	564.00



圖 11. 豆漿混濁的乳清



圖 12. 豆漿起司(左)、牛奶起司(中)與生牛乳起司(右)



結果分析

1. 由表 6、圖 12 可知：豆漿、牛奶、生牛乳皆可順利凝結成起司，其起司產生量排序為生牛乳 > 牛奶 > 豆漿。
2. 經過均質化或巴氏消毒處理的牛奶凝乳時間較生牛乳長。
3. 總重量平均三者都差不多，皆損失 15g 左右的乳清或起司。

五、實驗五：探究自製起司加熱到不同溫度時之延性變化比較

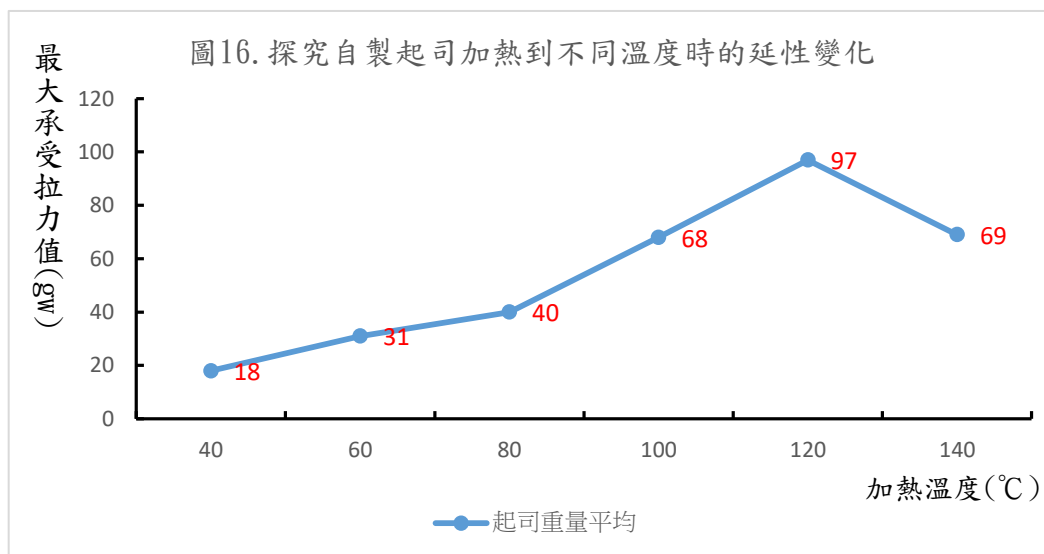
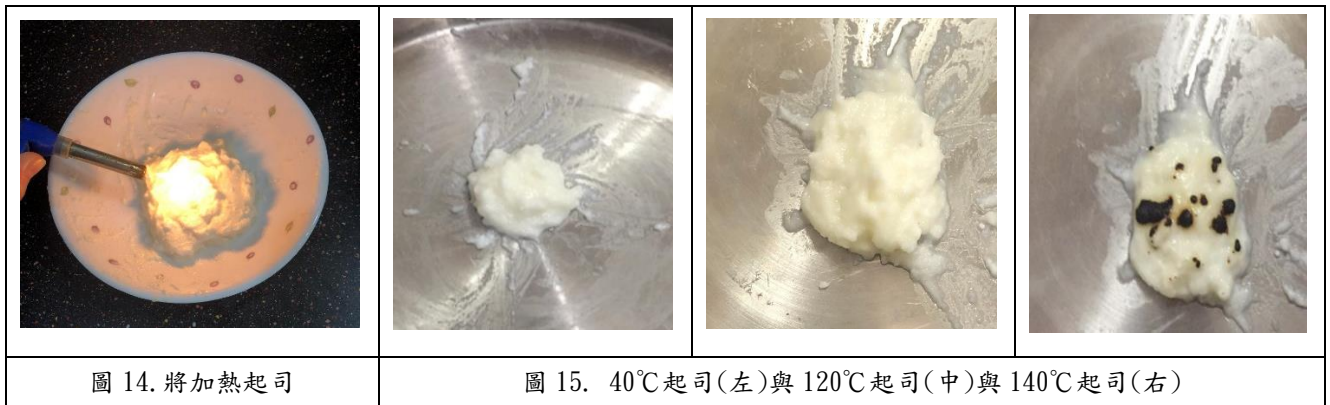
(一)實驗步驟

1. 取 20g 的自製起司(用 500ml 的生牛乳，80ml 的 40%檸檬酸水溶液製作而成)，捏成寬 8mm 的條狀。
2. 將自製起司加熱至攝氏 40、60、80、100、120、140 度。
3. 將起司左端 1cm 處穿過 A 彈簧秤的鉤子，右端 1cm 處穿過 B 彈簧秤的鉤子。
4. A 彈簧秤不施力，B 彈簧秤慢慢施力。
5. 當起司斷裂時，紀錄 B 彈簧秤所施的力(gw)。

(二)實驗結果數據

表 7. 探究自製起司加熱到不同溫度時之延性變化比較

比較	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C	140°C
第一次實驗	18	29	40	71	92	66
第二次實驗	15	33	42	67	101	69
第三次實驗	21	30	39	70	99	72
平均	18.00	30.67	40.33	68.33	97.33	69.00



結果分析

1. 由圖 16 及表 7 可知：自製起司的延性變化不一定與加熱溫度成**正比**關係。
2. 當溫度在 **40~120°C** 間時，延性為快速上升的遞增曲線→**呈正相關**；當溫度在 **120°C 以上** 時，延性為快速下降的遞減曲線→**呈負相關**，且在溫度 120°C 時有最大承受拉力值(gw)之極點現象。

六、實驗六：檢測判斷市面販售的起司是真是假(真偽)

(一)實驗步驟

1. 第一步驟:觀察起司加熱是否會融化

(1)使用酒精燈加熱起司。

(2)若起司**融化了**，起司有**可能是真的**；若起司**燒焦了**，則起司**高機率是假的**。

2. 第二步驟:使用雙縮脲試劑測量起司是否含有蛋白質。

(1)取 1.5 克硫酸銅和 6 克酒石酸鉀鈉備用。

(2)用 500 毫升水溶解，在攪拌下加入 300 毫升 10% 氫氧化鈉溶液。

(3)把第二步驟做出來的溶液用水稀釋到 1 公升。

(4)把待測的起司放到做好的雙縮脲試劑中，等待一分鐘並觀察其變化。

(5)若溶液成紫色，則表示起司含有蛋白質，則起司高機率是真的；反之，則起司為假的。

(二)實驗結果數據

表 8. 檢測判斷市面販售的起司之真偽比較

比較	自製起司	A 品牌起司	B 品牌起司	C 品牌起司
打火機融化測試	成功融化	成功融化	成功融化	無法融化
雙縮脲蛋白質測試	蛋白質偏多	蛋白質偏多	蛋白質偏少	蛋白質偏少/幾乎無蛋白質



圖 17. 天然起司成分

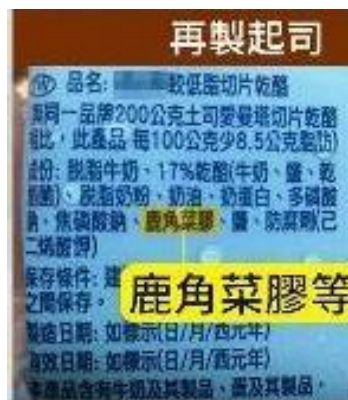


圖 18. 再製起司成分

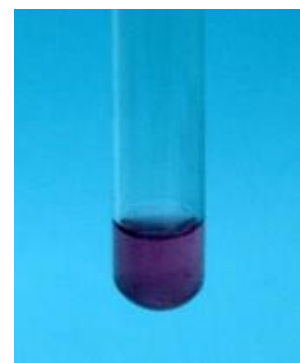


圖 19. 雙縮脲測試

結果分析

1. 由表 8. 可知：在加熱自製起司與 A、B 品牌起司的實驗中，起司均會成融化；而在加熱 C 品牌起司的實驗中，起司不但沒有融化還燒焦了。
2. 在使用雙縮脲蛋白質檢驗法檢驗自製起司與 A 品牌起司時，檢驗結果呈深紫色，表示含有豐富的蛋白質，因此我們判定這兩種起司高機率為真的起司；在使用雙縮脲蛋白質檢驗法檢驗 B、C 牌起司時，檢驗結果分別呈淡紫色與雙縮脲原本的淡藍色，幾乎不含有蛋白質，則判定這兩種起司應該是假的起司。

肆、討論

一、針對實驗一的發現，我們的討論如下：

- (一)我們發現自製起司如果加熱溫度過高，起司表面會不平滑、有皺褶。我們推測是因為加熱過度後蛋白質發生一些不同於凝乳的變性，且加熱溫度分布不均勻，才會發生這種變化。
- (二)有一次我們忘記加凝乳酶時要離開火源，發現起司的凝乳無法成形，我們推測是因為凝乳酶是一種酵素，最適合溫度約在 32°C，所以若加熱溫度過高時，酵素之蛋白質成分會被高溫而被破壞，故無法發揮「凝乳」的作用，導致起司無法成形。

二、針對實驗二的發現，我們的討論如下：

- (一)針對結果一，檸檬酸水溶液的濃度越高，凝乳後做出的起司量越多，我們推測是因為檸檬酸水溶液的濃度越高，蛋白質變性所需素材的數量就越多，使牛奶中的蛋白質凝結的越完全，故作出來的起司重量越重、凝結越快。
- (二)針對結果二，做了檸檬酸水溶液濃度 50% 的起司後，發現其結果與 40% 之結果相差不多，我們推測是因為牛奶中之蛋白質在加 40% 檸檬酸水溶液之後即可完全凝結成起司，故加入濃度 50% 的檸檬酸水溶液之後並不會凝結出更多的起司，並推測更高濃度的檸檬酸水溶液亦不會凝結出更多的起司。
- (三)製作起司的過程中亦發現煮起司後常會出現異常的吸熱反應，我們推測可能是因為蛋白質變性時需要熱量，因此吸走周遭環境的熱能，使周圍環境的溫度下降。

三、針對實驗三的發現，我們的討論如下：

- (一)針對結果一，碳酸、醋酸、檸檬酸水溶液加牛乳皆可順利凝結成起司，但碳酸水只有少部分能凝結成起司，其中又以檸檬酸水溶液凝結的起司量最多，我們推測是因為碳酸的 pH 約為 5.6，凝乳作用需要的氫離子不夠多，故凝乳量較小；我們使用的醋酸是市面上的白醋，雖然純醋酸的 pH 約值為 2.9，但為了調味與保存，可能會添加一些氯化鈉、己二烯酸鉀……等諸如此類的食品添加物，我們測得的 pH 值只有 4.7，所以我們推論凝乳的數量與 pH 值有密切的關係，且 pH 值越低時，其凝乳的數量、凝乳作用的效率會越高，若是能利用低 pH 值之氫氟酸(HF)做起司的效果會最好，只是氫氟酸不可食用。
- (二)我們也發現碳酸起司剩餘的乳清不像是檸檬酸起司、醋酸起司一樣橙黃色清澈狀，我們推測這是因為碳酸的 pH 值太接近 7，乳清中含有殘存的蛋白質混和在乳清裡，所以呈白色混濁狀。

四、針對實驗四的發現，我們的討論如下：

- (一)針對結果一，豆漿、牛奶、生牛乳皆可順利凝結成起司，其排序為豆漿 < 牛奶 < 生牛乳，我們根據文獻「經過凱氏定氮法的檢測，乳清蛋白的蛋白質換算係數為 6.38，大豆分離蛋白為 5.71。」，推測是因為豆漿的大豆蛋白比起乳清蛋白、酪蛋白不易凝乳，導致豆漿起司比牛乳起司少；另外因為牛奶接過巴斯德氏消毒或均質化處理，故有一部分蛋白質流失，導致牛奶起司的重量比生牛乳製成的起司輕。
- (二)我們也發現豆漿的乳清不像牛奶、生牛乳一樣是清澈的黃色，而是混濁的白色，我們推測是因為大豆蛋白和乳清蛋白不一樣，一個是動物性蛋白，一個是植物性蛋白，故

造成上述差異結果。

五、針對實驗五的發現，我們的討論如下：

- (一)我們發現加熱後的起司會從原本的純白色變為淡黃色，我們推測是因為有一些起司已經**碳化**，變得有些焦黑，不過溫度較低時溫度分布的較平均，所以會成**焦糖色的淡黃色**狀態。
- (二)我們也發現雖然剛做好的起司含水，但**溫度過高**時，起司表面還是會有黑色的焦塊，吃起來也會有些許的燒焦味，我們推測這是因為溫度過高時，溫度分布的較不平均，導致**受熱面**的局部接收到非常大的熱能，而該部位就會**碳化及燒焦**現象。

六、針對實驗六的發現，我們的討論如下：

- (一)為什麼仿製起司(假起司)加熱不會融化?雖然仿製起司雖然**含水量很高**，但因為其可**融**化物質(脂肪)過低，導致起司不容易融化。且仿製起司與再製起司的**磷含量**皆過高，會影響到**鈣質吸收**，故欲購買市售起司來補鈣的市民大眾，建議應多加留意，否則買到假起司不但沒有鈣質吸收，反而造成反效果。
- (二)雙縮脲測試會受到很多環境溫度的影響，例如溫度、濕度……等，我們會盡可能在相同溫溼度的天氣進行測試，但還是有不可控因素，導致結果有誤差。

伍、結論與未來展望

一、結論:針對我們的實驗結果，我們提出以下總結—

- (一)起司**加熱的時間**不宜過久，不然會使**凝乳酶失去活性**，導致起司無法成形或起司成形時間過慢；加熱溫度也不宜過高，不然會導致溫度在凝乳過程中分布不均勻，使起司表面產生不平滑、皺褶的現象。
- (二)我們發現**檸檬酸水溶液的濃度越高，凝結起司的量也會越多**，因為50%濃度以上的檸檬酸水溶液所做出的起司太酸，而以40%濃度視為最佳濃度。我們也發現40%檸檬酸水溶液的起司與50%檸檬酸水溶液做出的起司相差不大，並且若再繼續提高檸檬酸水溶液的濃度，則起司的重量會因為**蛋白質的量是固定的**，而不會有所提升，且會趨近於150g。若將實驗二的各個數據整理成折線圖，則會呈現遞增曲線， x 越大 y 就越大，若 x_n 對應的 y 座標為 y_n ，則發現 $y_{n+1} - y_n \geq y_n - y_{n-1}, n \geq 0$ ，且此遞增曲線的漸進線位於 $y=150$ 。
- (三)我們發現不同酸液所做出的起司型態也不同。我們做了檸檬酸起司、碳酸起司與醋酸起司，發現檸檬酸起司與醋酸起司皆可順利凝乳，其中又以檸檬酸起司的量最多，但碳酸水加牛奶指凝結出一點乳渣。因為這三者的pH值排序與起司重量排序相同，因此我們推測pH值越低的酸液，做出的起司量也越多。
- (四)我們也發現不同乳品做出的起司型態也不一樣。我們做了生牛乳起司、牛奶起司與豆漿起司，發現三者都能順利凝乳，其中又以生牛乳加40%檸檬酸水溶液所凝結的起司量最多。我們推測牛奶起司比生牛乳起司少是因為其經過消毒處理，部分蛋白質被破壞；我們也推測豆漿起司比牛奶與生牛乳起司少是因為豆漿的大豆蛋白比起乳清蛋白、酪蛋白不易凝乳。我們也發現豆漿乳清是白色混濁狀而非黃色清澈狀。
- (五)我們發現莫札瑞拉起司加熱溫度越高，延性不一定越好，把數據整理成圖表後，我們發現在 $x \leq 120$ 時，圖形呈遞增取線； $x > 120$ 時，圖形呈遞減曲線，並且在 $x=120$ 處 y 有最大值97。我們也觀察到起司加熱溫度沒有很高時，起司成焦黃色；雖然剛做好的起司含水，但若加熱溫度過高時起司還是會燒焦。
- (六)我們發現可以利用再製起司與仿製起司不易融化的特性，進行融化測試檢測該起司之真假；亦可利用再製起司與仿製起司的蛋白質比真起司少的特性，利用雙縮脲測試檢測該起司之真假。

二、未來展望

- (一)我們這次的研究因為時間關係，有一些沒做到的部分，希望未來能繼續完成以下研究：
 1. 本研究未提及起司之熟成，希望未來有人可以完成這部分。
 2. 一般的起司會加入黴菌來發酵，例如：藍紋乳酪、布利乳酪……等，但因為時間關係
- (二)在實驗二中我們發現製作起司時會出現吸熱反應，希望未來有人可以幫我們找出吸熱反應發生的確切原因。
- (三)在實驗六中，我們因為技術與儀器問題而只能進行融化測試與雙縮脲測試，希望未來能可以著重於「鈣與磷」的大差距來讓這個實驗更加完善。
- (四)本研究只著重於莫札瑞拉起司的研究，希望之後有人研究其他種類的起司來完善這份研究。

陸、參考資料

1. <https://nommagazine.com/愛吃起司的你不可不知：天然傳統起司與再製加工/>。Isabella Chen，2018。愛吃起司的你不可不知，天然傳統起司和再製加工乳酪的差別。
2. https://www.pincheesecake.com/blogs/pin_blog/14400。Jason，2018。關於凝乳酶—品好乳酪。
3. <https://news.cts.com.tw/cts/general/201912/201912091983710.html>。華視新聞，2019。吃起司好健康？再製. 仿製添加物多。
4. <https://zh.wikipedia.org/wiki/巴斯德消毒法>。維基百科，2021。巴斯德消毒法-維基百科，自由的百科全書。
5. <https://www.juduo.cc/club/7549329.html>。劇多，2021。蛋白質與雙縮脲試劑反應生成什麼顏色？ -劇多。
6. <https://pansci.asia/archives/148909>。文詠萱，2018。從零開始的起司鍊成之旅-泛科學。
7. <https://blog.xuite.net/star297/starmoon/589627125>。蕭琮容，2021。起司是如何製成的&自製新鮮瑞可達芝士 - 隨意窩。
8. <https://health.udn.com/health/story/6037/5610166>。BRYAN LE，2021。為什麼不同種類的起司融化的溫度及方式也不同？ | 聰明飲食。