

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 農業與食品學科
探究精神獎

052201

可以拉~絲嗎？市售鮮乳殺菌條件及拉伸溫度對
莫札瑞拉起司之影響

學校名稱： 國立旗山高級農工職業學校

作者： 職二 羅珮芸 職二 卓錨 職二 陸昱辰	指導老師： 蔡佩潔 唐元信
--	-----------------------------

關鍵詞： 莫札瑞拉起司(mozzarella cheese)、殺菌條件、拉伸溫度

摘要

本研究以四種不同殺菌條件之市售鮮乳試製莫札瑞拉起司，並與生乳進行比較，結果顯示僅 RM 65 組和 HTST 72 組成品具拉伸延展性，且 RM 65 組具顯著最高的製成率和含水率、顯著較低的 TPA 物性參數與截切值，市售鮮乳中以 HTST 72 組在質地、色澤與感官品評結果上與 RM 65 組最相近；後續再以不同拉伸溫度為變因對瑞穗極制鮮乳所製之起司進行品質探討，發現其製成率隨拉伸溫度上升而下降、硬度值和截切值則隨拉伸溫度上升而增加，其中以 65°C 進行拉伸的組別擁有較佳的製成率、外觀顏色、柔軟度和拉伸延展性，可做為一般民眾在家自製莫札瑞拉起司時可輕易取得之乳源，期能為受紐西蘭乳零關稅衝擊的國產鮮乳開發創新產業出路，朝向多元發展，為本土酪農產業鏈注入新動能。

壹、前言

一、研究動機

台灣目前所自產的生乳大多由乳品公司集乳後進行後續過濾淨化、均質殺菌等標準流程，以鮮乳、乳飲品或保久乳等方式供應給消費者，但隨著近年來民眾飲食習慣逐漸趨向多元，加上新冠肺炎疫情爆發，許多乳品廠、物流業因疫情空轉造成新鮮乳品的浪費，某些乳品廠進而轉為研發保存期限較長的乳酪(butter)與起司(cheese)產品，用以增加收益，同時，調查數據顯示 2021-2022 年肺炎疫情期間的台灣起司的市場需求並沒有因為外食率降低而大幅衰退，反而是出現成長的趨勢，2022 年台灣的起司銷售市場規模直逼新台幣 38 億，是台灣近五年來起司市場成長最多的一年(資料來源：角度數據 2024 年消費者消費交易資料庫)。

觀察台灣消費者對於起司喜好分析發現，消費最大宗的是再製起司(processed cheese)，常見的有早餐店三明治、速食店漢堡所用的起司片，而未成熟的新鮮起司則以「莫札瑞拉起司(mozzarella cheese)」最多，因其優秀的延展性應用在披薩業的「牽絲」效果極佳，相當受到國人喜愛。然而，國內卻鮮少看到由「國產」乳做成的起司，因為以目前的價格來分析，用國產乳源生產再製起司的成本高、末端售價難以競爭，但製作

新鮮起司如莫札瑞拉則有產地優勢，且新鮮起司含水率高，保存時間短不利於長途運輸，更適合在地生產、在地銷售。

我們在二年級的畜產品加工課程中，老師以鄰近牧場所贈之生乳讓我們進行莫札瑞拉起司製作的實習課程，發現此種起司製程簡易且不需特殊生產工具，過程中亦不需要接菌發酵熟成，是一般民眾在家中就可以簡易製作的乳製加工品，再加上本身家中就是經營酪農事業，更是對此產品饒富興趣，於是就想透過多方的文獻檢索與試驗設計來多加瞭解這種新鮮莫札瑞拉起司產品，探知在其製程中的各項因子對成品質地的影響為何。

在文獻蒐集的過程中，我們發現多數資料都明確指出莫札瑞拉起司必需以新鮮生乳 (raw milk)再經低溫短時間殺菌後製作(Caserio *et al.*, 1977)，生乳定義為「從健康乳牛、乳羊擠出，經冷卻且未經其他處理之生乳汁」，於是我們馬上就產生疑惑，難道市售的鮮乳不能製作莫札瑞拉起司嗎？原因到底是什麼呢？是因為市售鮮乳比生乳多了均質化和殺菌的流程嗎？於是，在小組討論後我們決定在預備試驗中瞭解一下殺菌溫度和均質與否對於莫札瑞拉起司質地有什麼影響，後續再於市售鮮乳中選取**低溫長時間殺菌 (LTLT)**、**高溫短時間殺菌 (HTST)**、**超高溫瞬間殺菌 (UHT)**的代表性品牌，與自家所產的生乳自行殺菌後進行莫札瑞拉起司製作，並比對各處理組之間的差異，再以不同溫度的乳清進行拉伸試驗，藉以瞭解原料乳的殺菌條件及拉伸溫度對莫札瑞拉起司質地的影響。

此外，若能成功利用市售國產鮮乳製成莫札瑞拉起司，便可提供礙於法規無法直接購買到生乳的一般民眾自行在家製作起司的參考條件，另外也能為台灣酪農業提供創新產業出路，在紐西蘭乳零關稅的衝擊下找到新的發展方向。本研究與高職畜產品加工學—「原料乳的處理與殺菌」及「乳品加工技術：乾酪(起司)」主題相契合。

二、研究目的

試驗一：

經文獻檢索後發現國內外期刊在莫札瑞拉起司製作研究上均以生乳(raw milk)作為原料，然後再探討不同來源的生乳、添加脂肪球大小與種類比例、後續保存條件與貯存試驗...等等，目前沒有搜尋到直接使用市售鮮乳製作莫札瑞拉起司的相關文獻，所以本試驗決

定使用市售鮮乳作為試驗原料，選取四種不同殺菌溫度的代表性產品，與自家生乳進行莫札瑞拉起司製作，藉以探討殺菌溫度與均質與否對於莫札瑞拉起司的影響，比較市售鮮乳與生乳製成之起司有何差異。

表 1 本試驗中所採用的鮮乳品牌與來源

樣品名稱	殺菌方式	殺菌條件	購買來源	產地
秀姑巒鮮乳	低溫長時間殺菌法	65°C/30 分鐘	聖德科斯生機食品	台灣
瑞穗極制鮮乳	高溫短時間殺菌法	72°C /15 秒	全聯福利中心	台灣
義美鮮乳	寬鬆高溫短時間殺菌	88°C/20 秒	全聯福利中心	台灣
紐西蘭鮮乳	超高溫瞬間殺菌法	瓶身未標示	好市多股份有限公司	紐西蘭

試驗二：

在 Gonçalves & Cardarelli(2021)的文獻綜述中整理出製作莫札瑞拉起司的拉伸(stretching)溫度建議在 50-85°C之間，故我們由<試驗一>的結果中選取具拉伸性的組別進行下一階段的試驗，以不同溫度的乳清進行拉伸試驗，藉以瞭解拉伸溫度對莫札瑞拉起司質地的影響，並找出以市售鮮乳為原料時的最佳起司拉伸溫度。

三、文獻回顧

(一) 市售鮮乳的製程(王素貞、蘇平齡，2023)



圖 1 市售鮮乳的製程(王素貞、蘇平齡，2023)

生乳經過榨乳機集中至儲乳槽，經初級檢驗後以低溫集乳車運送至乳品加工廠進行受乳。接著生乳經過濾去除乳中的細胞屑片、白血球等異物，再使用遠心淨化 55°C 進行淨化。淨化過後的牛乳經板式熱交換器冷卻至 4°C 後，依使用目的調整乳脂或固形物含量，使其成分標準化。接著，原料乳先預熱(60-65°C)後通過 140-210 kg/cm² 高壓之細微口(2000-3000psi)進行均質，再依需求進行加熱殺菌，溫度與時間設定以將乳中結核菌殺滅為原則，殺菌結束後送入熱交換器急速冷卻並以連續式自動充填機進行充填、裝箱冷藏(圖 1)。

(二) 牛乳的加熱殺菌(王素貞、蘇平齡，2023)

目前市售鮮乳有不同的加熱殺菌方式，常見的殺菌設備有板式殺菌機與滅菌釜。板式熱交換器主要由加熱器、熱交換器/冷卻器及冷交換器組成，常見的殺菌方法分述如下：

1. 低溫殺菌法：低溫殺菌對牛乳風味與品質之影響最少，又稱為巴氏殺菌法或低溫長時間殺菌法(low temperature long time pasteurization, LTLT pasteurization)，牛乳以 62-65°C 加熱 30 分鐘的殺菌法，一般採用保溫殺菌機批次處理，適合小規模生產。
2. 高溫短時間殺菌法：以 72-75°C 加熱 15 秒-1 分鐘的殺菌法(high temperature short time pasteurization, HTST pasteurization)，一般採用板式熱交換器。牛乳在密閉的熱交換器中連續處理，細菌污染的機會較 LTLT 保持殺菌法少，適合大規模生產。
3. 超高溫滅菌法：牛乳以 135-150°C 加熱 2-5 秒，稱為超高溫滅菌法(ultra high temperature sterilization, UHT sterilization)，此法可殺滅耐熱性孢子而達無菌狀態，常溫保存即可。

表 2 市售鮮乳常用的殺菌方式比較表

殺菌方式	殺菌溫度	時間	保存條件	保存天數
低溫長時間殺菌(LTLT)	62-65°C	30 分鐘	4-7°C	7
高溫短時間殺菌(HTST)	72-75°C	15 秒	4-7°C	12
寬鬆高溫短時間殺菌(HHST)	80-90°C	15 秒	4-7°C	12
超高溫瞬間殺菌(UHT)	120-130°C	2-3 秒	4-7°C	15-70
超高溫瞬間滅菌(UHT)	130-150°C	2-5 秒	無菌充填/常溫	180

(王素貞、蘇平齡，2023)

(三) 莫札瑞拉起司的簡介與製程(葉瑞涵、郭卿雲，2021)

莫札瑞拉起司(Mozzarella)源自於義大利南部城市坎帕尼亞和那不勒斯，其製作重點在於凝乳塊的加熱拉伸技術，藉此達到外表光亮、質地彈性之效果。這種起司較著重於口感的呈現，因此不像硬質起司及黴菌熟成起司那樣需要熟成期來發展風味，有些產品甚至不使用發酵菌種製作產品。其味道清淡溫和、香甜、微酸，可直接食用或應用於沙拉及烘培。尤其是烘培後牽絲的誘人景象，讓消費者印象深刻。此種起司由於消費者接受度較高，因此適合研發給臺灣業者生產銷售，是相對之下較容易販售的起司種類。因此，行政院農業委員會畜產試驗所蒐集相關製程文獻，並著手建立莫札瑞拉起司製程，本試驗中之莫札瑞拉起司即按下圖 2 所示之流程進行製作。

表 3 莫札瑞拉起司之一般組成

	脂肪(%)	總固形物(%)	總蛋白質(%)	鹽(%)	灰分(%)
莫札瑞拉起司	18.0	46.0	22.1	0.7	2.3

(Fox *et al.*, 2015)

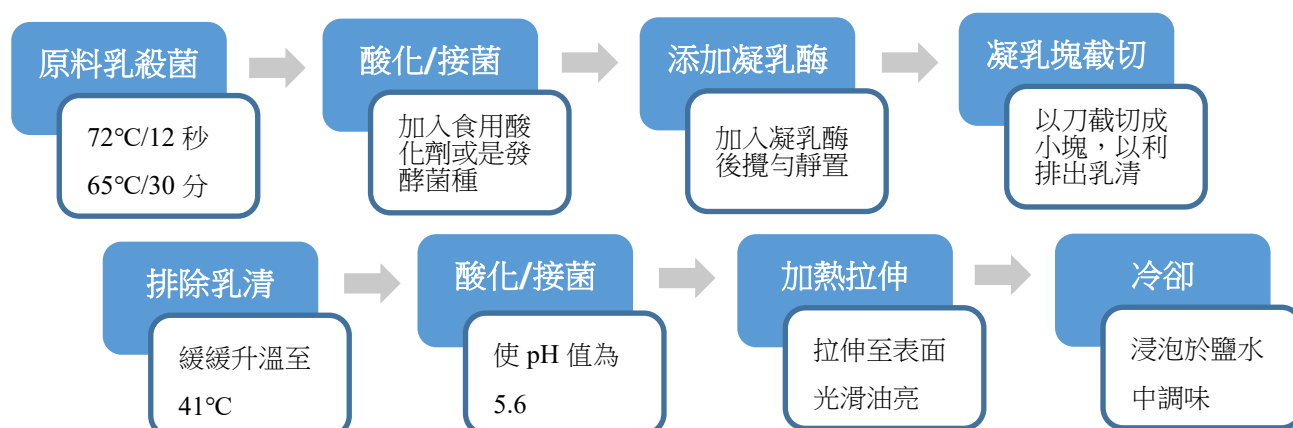


圖 2 莫札瑞拉起司之製作流程(葉瑞涵、郭卿雲，2021)

(三) 莫札瑞拉起司的拉伸與影響因子(Gonçalves & Cardarelli, 2021)

1. 莫札瑞拉起司的拉伸作用：

莫札瑞拉起司的拉伸過程是一種熱機械性處理，受到應用機械能和溫度影響，為獲得最佳凝乳拉伸效果，需要控制兩個基本參數，其一為凝乳充分酸化和去除礦物質，其二為拉伸過程中凝乳與乳清間的熱傳導狀態。一般而言，原料乳經添加食用酸或透過發酵而產生的凝乳 pH 至 5.4-5.2 時，其內副酪蛋白酸二鈣(dicalcium paracaseinate)會轉化為副酪蛋白酸一鈣(monocalcium paracaseinate)，使凝乳在熱乳清中塑化並重新組成單向纖維結構；此外，隨著酪蛋白結合鈣(casein-associated calcium，屬不溶性鈣)含量降低，蛋白質基質水合作用增加，也相對提升了凝乳的塑化能力(圖 3)。下圖 4 為莫札瑞拉起司拉伸階段(pH 5.2 條件下)的凝乳和拉伸後的起司微觀結構。隨著凝乳升溫，蛋白質基質內疏水作用的強度增加，導致蛋白質基質收縮，迫使少量水分流出並釋放脂肪球周圍間隙空間，因此莫札瑞拉起司的拉伸作用也影響了其基質中的水分分佈，這是其與他種起司的不同之處。

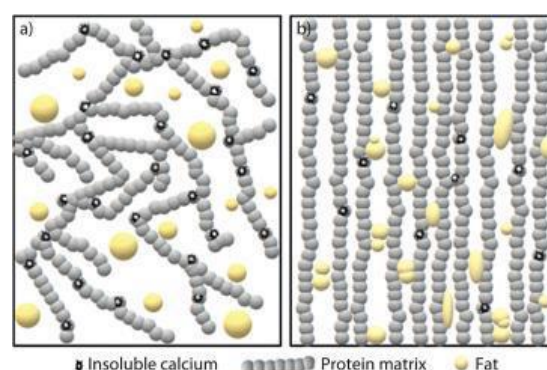


圖 3 起司結構變化示意圖：a) 加熱拉伸處理前的凝乳，b) 加熱拉伸處理後的起司 (Gonçalves & Cardarelli, 2021)

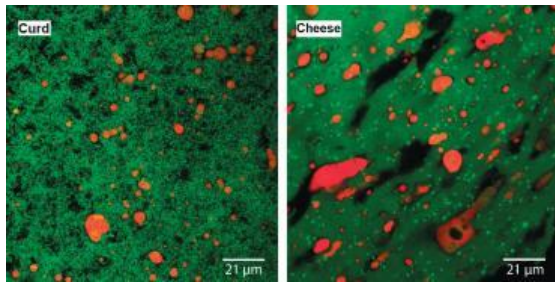


圖 4 莫札瑞拉起司拉伸前後之顯微結構
(Gonçalves & Cardarelli, 2019)

2. 影響莫札瑞拉起司拉伸的因素(Gonçalves & Cardarelli, 2021)

- (1) 原料乳的成分：乳中的脂肪、蛋白質、酪蛋白、乳糖和礦物質含量受生產季節及牛隻個體差異影響，進而改變凝乳酶的凝膠特性及所產起司的質地。
- (2) 原料乳的殺菌條件：傳統上莫札瑞拉起司使用生乳進行製作，但隨時代變遷及大型起司製造工廠成立，加上政府機構的衛生安全法規限制等因素，現今使用巴氏殺菌原料乳已成為莫札瑞拉起司製作的重要條件。
- (3) pH 值和酸度：製作莫札瑞拉起司時，當凝乳塊的 pH 值由 6.0 漸降至 5.2 時，會促使膠束磷酸鈣的溶解(solubilization of micellar calcium phosphate, $\text{Ca}_9 (\text{PO}_4)_6 \rightarrow 9\text{Ca}^{2+} + 6\text{PO}_4^{3-}$)，增加凝乳塊中可溶性鈣的比例，並促進副酪蛋白水合作用(hydration of paracasein)，此可確保副酪蛋白水合作用順利進行，使凝乳塊成功加熱拉伸。反之，若凝乳塊高於或低於 pH 值 5.1~5.4，則副酪蛋白水合作用表現不佳，使凝乳塊在加熱拉伸時產生不光滑、粗糙、鈍、短或塊狀的非塑性物質(Yazici *et al.*, 2010)。
- (4) 鈣質：鈣在莫札瑞拉起司加工過程中發揮著重要作用，有助於凝固並促進酪蛋白膠束之間的交聯作用。起司製作流程中在凝乳切割及排除乳清後，酪蛋白結合鈣(不溶性鈣)可在副酪蛋白基質中形成交聯而留存於凝乳中，而大部分可溶性鈣則隨乳清排出。若酪蛋白結合鈣含量降低，酪蛋白-酪蛋白相互作用強度減弱，則呈現剛性較低的副酪蛋白網絡，其溶-凝膠轉換作用(gel-sol transition)所需熱能也較低。
- (5) 拉伸方式：傳統莫札瑞拉起司以手工拉伸，現今大型起司製造工廠則改採間歇或連續式製程設備進行拉伸工序，並視需求採用不同材料、形狀和加熱方式以設計單/雙螺桿系統，並配備可調節的製程控制參數(如溫度、進料速率和螺桿轉動速度等)。因此，根據所使用的熱機械處理設備不同，莫札瑞拉起司成品也會有很大質地差異。

貳、研究設備與器材

本試驗所用之原料、設備器材與分析儀器如下：







				
新鮮生乳 (來源為自家牧場)	秀姑巒鮮乳 (聖德科斯生機食品)	瑞穗極制鮮乳 (全聯福利中心)	義美鮮乳 (全聯福利中心)	豐力富紐西蘭鮮乳 (好市多股份有限公司)
				
試藥級檸檬酸	凝乳酶(rennet)	硫酸(98.7%)	燒杯、濾勺	恆溫水浴槽
				
計時器、溫度 計、紀錄本	電子秤 微量天平	均質乳化機(Heidolph Diax900 ultra turrax)	真空包裝機	均質機 (OSTER Blender)
				
多功能桌上型酸 鹼度計	色差計(CR-410, Konica Minolta, Japan)	烘箱	灰化爐	粗蛋白分解爐
				
貝氏瓶	凱式氮測定儀	粗脂肪萃取器	物性測定儀	自製拉力測量 裝置材料

圖 5 本研究所使用的材料、設備器材與分析儀器(圖片來源：作者自攝)

參、研究過程與方法

一、本試驗中莫札瑞拉起司製作流程

		
①每個處理組分別取 800g 原料乳隔水加熱至 30°C	②加 15 毫升 10%檸檬酸溶液並攪拌，以 pH 試紙測定	③加入凝乳酶(每公升乳樣添加 0.01g)，邊添加邊攪拌
		
④靜置凝乳 40 分鐘後→第一次截切→再靜置 20 分鐘	⑤水浴槽升溫至 39°C→第二次截切→保持溫度 5 分鐘	⑥倒出乳清→保溫凝乳塊進行 2 次翻面(15 分鐘/次)
		
⑦乳清隔水升溫至 74-76°C，放入凝乳塊進行拉伸	⑧趁熱進行整形、秤重、拍照及取樣	⑨降溫後，真空包裝保存以待後續分析

圖 6 莫札瑞拉起司製作流程(圖片來源：作者自攝)

二、<預備試驗>的流程與初步結果

為了瞭解莫札瑞拉起司(mozzarella cheese)成品是否具拉伸延展性的因素到底是原料乳的殺菌溫度還是有無均質，在<預備試驗>中我們採用自產的新鮮生乳以不同殺菌溫度和時間分為為 7 個處理組進行實驗，分別為 65°C/30 分鐘、75°C/15 分鐘、75°C/30 分鐘、85°C/15 分鐘、85°C/30 分鐘、95°C/15 分鐘和 95°C/30 分鐘殺菌組，再以莫札瑞拉起司製作流程進行試做，其流程與結果如下圖 7 及表 4 所示。針對其結果進行條列式說明：

1. 七組不同殺菌溫度及時間的處理組中僅 65°C/30 分鐘、75°C/15 分鐘、75°C/30 分鐘這三組具拉伸能力，其中以較低溫的 65°C 組具有最好的拉伸效果，顯示生乳的殺菌

溫度越低及時間越短，其所製成之起司的拉伸延展性越好。

2. 生乳加熱殺菌至 85°C(含)以上時，則無論原料乳殺菌時間長短其成品均無拉伸延展性，其中以 85°C/15 分鐘的起司製成率最低、體積最小、質地最為硬實。
3. 生乳加熱殺菌至 85°C 以上的四組中，起司的製成率反而隨溫度與時間有上升趨勢，且質地變軟，但容易碎裂，沒有彈性。加熱殺菌至 95°C 以上的兩組其乳清顏色偏黃。

綜上所述，製作莫札瑞拉起司時使用的原料乳殺菌溫度最佳為 65°C/30 分鐘組，殺菌溫度及時間增高其製成率會下降，至 85°C 時有最差的产品質地與產率，但繼續拉高溫度與時間則製成率反而有所提升，但成品依舊無法拉伸，且質地更加破碎。

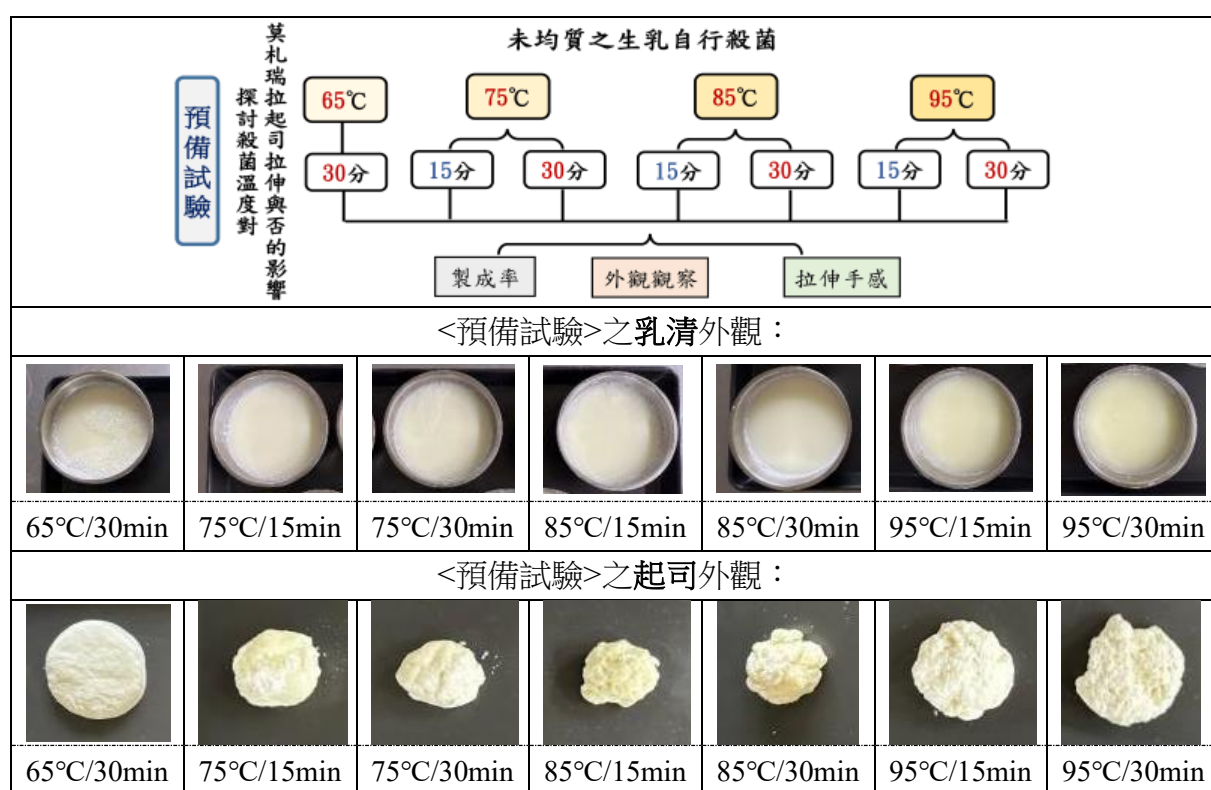


圖 7 <預備試驗>：生乳以不同溫度/時間殺菌後試製莫札瑞拉起司之成品外觀(作者自製)

表 4 <預備試驗>：生乳以不同溫度/時間殺菌後試製莫札瑞拉起司之製成情況

組別	65°C/30min	75°C/15min	75°C/30min	85°C/15min	85°C/30min	95°C/15min	95°C/30min
乳清重(g)	553.21	694.83	690.52	700.56	685.25	642.88	640.31
起司重(g)	116.53	96.72	90.60	82.35	87.54	114.66	137.75
製成率(%)	14.57	12.09	11.33	10.29	10.94	14.33	17.22
可否拉伸	O	O	O	X	X	X	X
拉伸 狀況	可輕易拉 伸，質感 柔軟，延 展性極佳	柔軟，拉 伸過程中 覺得明顯 越來越小	質地觸感 稍硬，較 前兩組易 成形	質地破碎， 揉塑呈團 後質地堅 硬	狀態稀碎， 能揉合成 團，質地堅 硬	稀碎狀，勉 強能揉成 團，質地柔 軟但易碎	極稀碎狀， 成團後更為 柔軟但易分 散無彈性

三、擬訂本試驗之研究方向

除了在預備試驗中測試不同溫度和時間的殺菌條件對起司成品之影響外，我們推測另一個影響市售鮮乳製成的起司無法拉伸的變因是原料乳的「均質與否」，所以使用了本校加工教室的均質乳化機(Heidolph Diax900 ultra turrax)以 8000rpm 對預熱至 60°C 生乳進行 0/3/6/9/12/15 分鐘共六組的均質處理，放置於冷藏(4°C)冰箱靜置 48 小時後觀察其外觀及乳脂肪上浮狀況，結果如下圖 8 所示，由此可以看到六個處理組冷藏後還是都有乳脂肪上浮的情況，雖然隨均質時間增長，乳脂肪厚度有下降的趨勢，但均質時間大於 9 分鐘的三個處理組顏色明顯變黃且散發油脂酸敗的臭味，已不適合做為製作起司的原料乳。

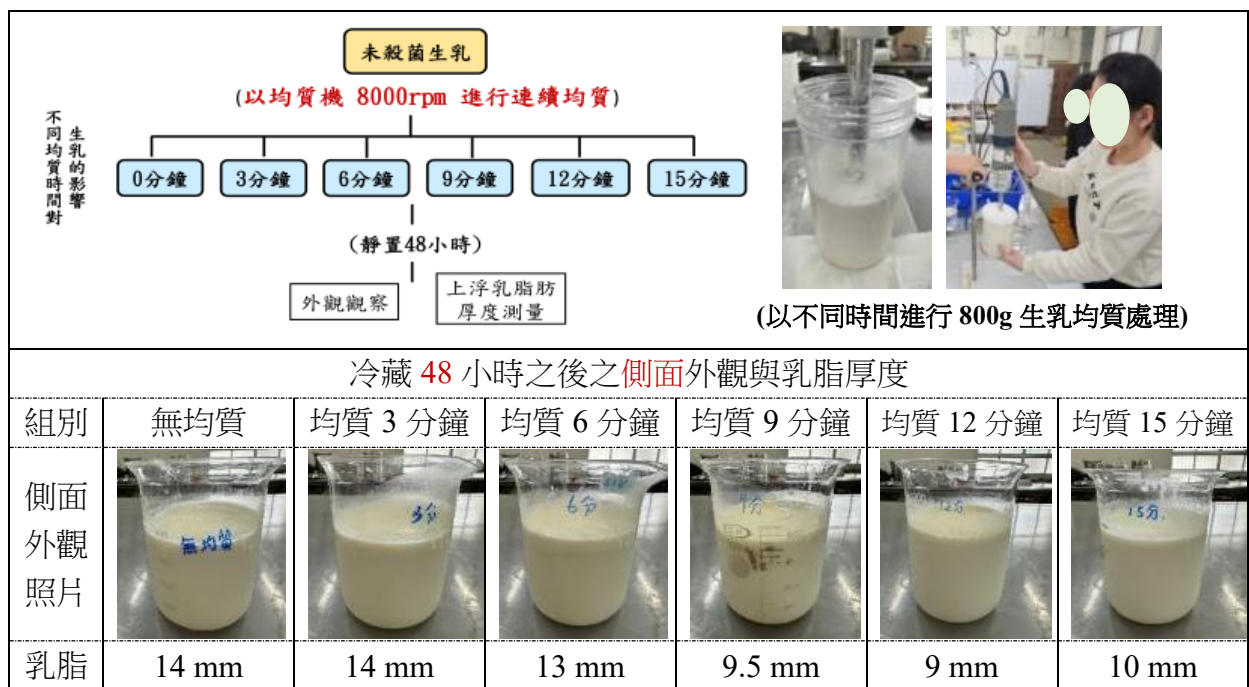


圖 8 生乳自行均質試驗流程與均質後外觀(作者自製)

探究其原因，是因為市售鮮乳的均質方式主要以高壓式及離心式均質兩種，高壓式均質是使乳汁在高壓下通過可調節的閥及底座間的環狀間隙，讓其內的乳脂肪等大顆粒懸浮物質的顆粒減小；離心式均質則是利用向心加速度的原理，將溶液中密度不同的物質分離打散，使其均勻化。而本試驗中所使用的均質機為利用流入之液體分子間，加壓加速、剪斷衝擊的相互作用，瞬間發生使流體粒子均勻的由側邊空隙噴出，經過多重的剪切、研磨、分散使其破壞變細並融合，但可能無法將直徑平均為

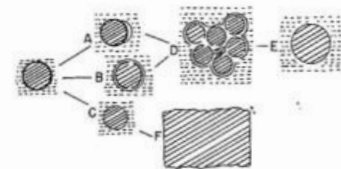


圖 6-5 牛乳中脂肪球安定性之消失機構 (King, 1955)

- A: 脂肪球表面附著少量之液態脂肪形成局部之非親水性
- B: 脂肪球皮膜外層完全油化，而完全呈非親水性
- C: 脂肪球表面完全為非親水性物質包裝
- D: 脂肪球為液態脂肪聚集而成結塊（由滴狀液所包裝）
- E: 脂肪結塊融合成再生之脂肪球
- F: 脂肪球與包裝之液態脂肪完全合併

圖 9 牛乳中脂肪球安定性之消失機構
(張勝善, 1995)

0.3 μ m 左右的乳脂肪球成功變小，且因高速打入空氣與升溫摩擦作用導致原料乳中的脂肪球安定性可能發生崩解(上圖 9)，乳脂肪失去乳化力，游離脂肪由破裂的皮膜釋出，造成表面的非親水性增加，脂肪結塊並伴隨顏色與氣味改變的發生(張勝善，1995)。

因此，在本校均質設備無法滿足試驗需求、亦無管道可借用業界加壓式均質機進行實驗的情況下，經小組討論後，我們決定以市售鮮乳為原料，於<試驗一>中選取不同殺菌條件的已均質市售鮮乳與自家未均質生乳進行比較，藉以瞭解不同原料乳對莫札瑞拉起司成品質地變化的影響。<試驗二>則是擇取試驗一試製之最佳組別進行在不同溫度乳清中拉伸後的成品質地探究，期可釐清莫札瑞拉起司製程中溫度變因所造成的影響，找出最佳製作條件，讓大眾瞭解到莫札瑞拉起司能夠使用市售原料乳在家中簡易製作。

四、試驗架構圖

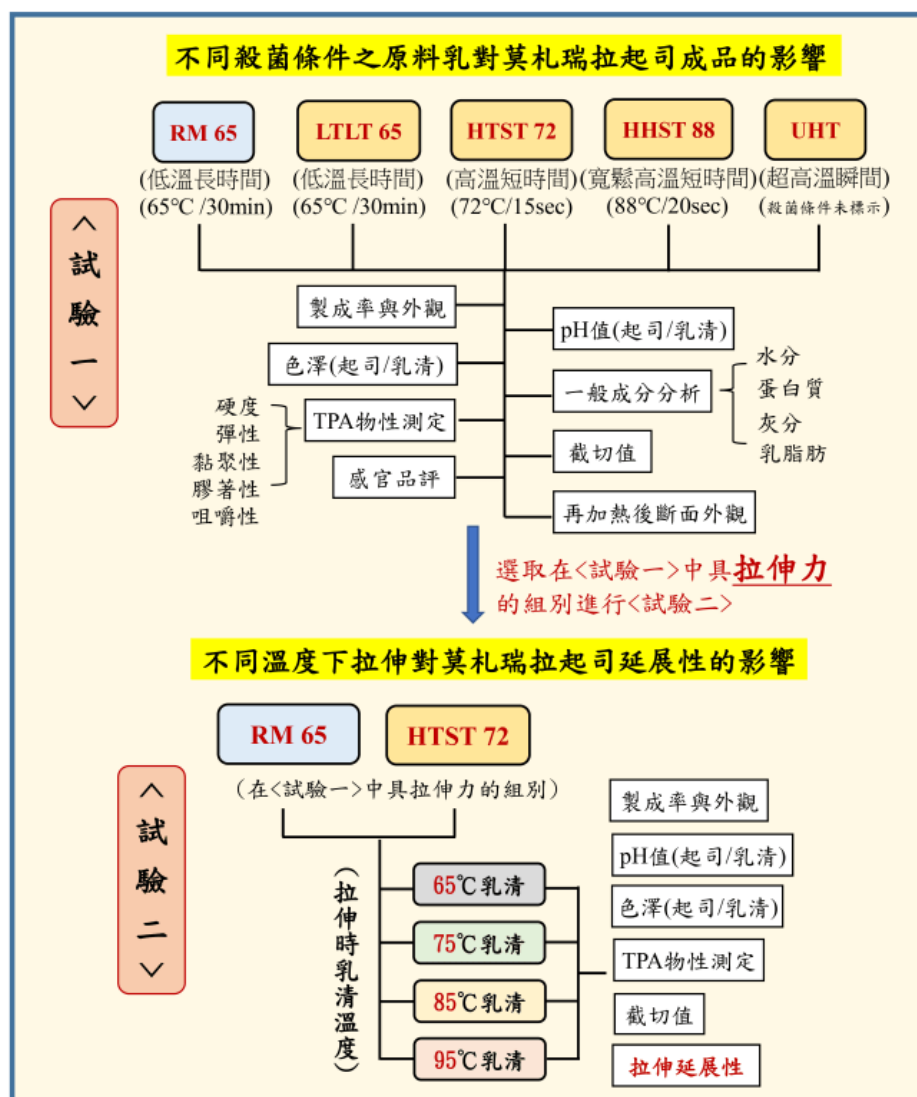


圖 10 本研究之試驗架構圖(作者自製)

五、分析項目

(一) 製成率與外觀

依莫札瑞拉起司製作流程(圖 6)進行成品試做，完成之乳清及起司分別進行秤重。

製成率(%)=(製成之起司重/原料乳重)×100

(二) 乳清與起司之 pH 值

取過濾後之乳清，浸泡於 25°C 恆溫水中維持溫度，以 pH 測定儀(PL-700 Series Bench Top Meter)測定之。起司部分 pH，取 10g 加入逆滲透水 90mL，以均質機(OSTER Blender)均質 2 分鐘後，以 pH 測定儀測定之。



(作者自攝)

(三) 乳清與起司之色澤分析(L^* 、 a^* 、 b^* 值)

參照 CIE(1976)方法進行測定。使用色差計(CR-410, Konica Minolta, Japan)測定樣品之亮度 L^* 值、紅色度 a^* 值與黃色度 b^* 值，使用標準白板進行校正($Y=86.3$ ， $x=0.3161$ ， $y=0.3227$)使數值標準化，每個樣品選取三點進行測量並計算平均值。



(作者自攝)

(四) 一般成分分析

參考 A.O.A.C.(1990)的方法，樣品以食物調理機打碎 30 秒，進行下列 1-3 項之分析。

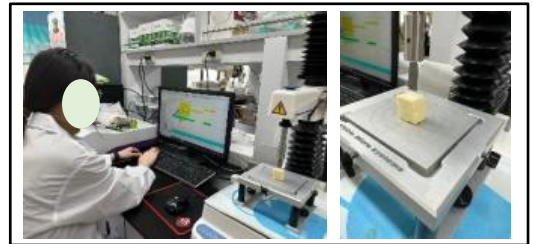
1. 水分：取 10g 樣品於坩堝內，預先乾燥且恆重之坩堝內，記錄坩堝重量與編號後放入 105°C 烘箱內乾燥 24 小時，取出放置乾燥皿中，待其達室溫後，秤重並計算水分含量。水分(%)=[(樣品重+坩堝重-烘乾後樣品與坩堝總重)/樣品重]×100%。
2. 蛋白質：取 1g 樣品於分解管中，並加入 15mL 濃硫酸與催化碇，放到分解裝置加熱至 400°C，加熱分解 4 小時，直至分解管內液體呈現透明清澈狀。待分解過後之樣品冷卻後，置於凱氏氮蒸餾裝置進行蒸餾，蒸餾完畢後，以 0.2N 硫酸標準液滴定至顏色改變為止，顏色變化會從藍綠轉變為粉紅。粗蛋白含量(%)=(硫酸量滴定量(mL)×滴定硫酸之當量濃度×14.01×蛋白質含氮係數 6.25)/(樣品重×10)。
3. 灰分：將經 105°C 烘乾並測得水分之樣品，置於灰化爐中以 600°C 高溫灰化 6 小時後，取出放置乾燥皿中，待其達室溫後，秤重並計算灰分含量。灰分(%)=[(600°C

灰化後樣品與坩堝總重-坩堝重)/樣品重] $\times 100\%$

4. 脂肪：取起司樣品 9g 入 50%貝氏瓶中，加 12mL 蒸餾水混合後加熱 5 分鐘，取出貝氏瓶加入 17.5mL 濃硫酸(比重 1.82)，置振盪器上振盪 1 分鐘使脂肪上浮，以 700 rpm 離心 5 分鐘後取出，注加 60°C蒸餾水至瓶頸處，再離心 2 分鐘，取出，再加 60°C蒸餾水使脂肪柱上升至瓶頸刻度 1 至 50 之間，離心 1 分鐘，取出置 60°C溫水中至少 5 分鐘，以兩腳規測量脂肪柱上下兩端最遠之距離即脂肪率。

(五) 質地剖面分析(Texture profile analysis, TPA)

利用物性測定儀(TA.XT PlusC, Lotun Science, New Taipei, Taiwan)連結電腦，對樣品之硬度(Hardness)、彈性(Springiness)、黏聚性(Cohesiveness)、膠著性(Gumminess)及咀嚼性(Chewiness)進行測定。測定條件：探頭為 C-MADE，下壓深度 30mm，探頭下降速度 5.0 mm/sec。測定前真空包裝之起司(2 cm³)放置水浴槽中回溫至 37°C模擬人體口腔溫度，再以探頭來回進行兩次下壓，一個樣品僅能測定一次，由系統自動計算出各項數值。



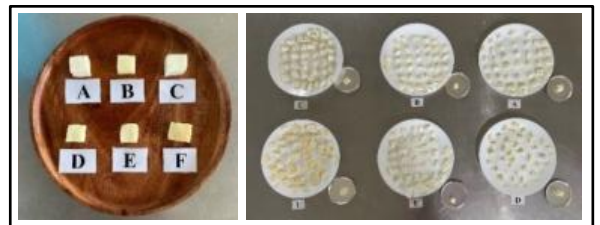
(作者自攝)

(六) 截切值(Shear force, SF)

利用物性測定儀連結電腦後測定樣品的截切值。測定條件：測定探頭為 A-MORS 刀具，觸發力 50g，下壓深度 30 mm，探頭下降速度 5.0 mm/sec。測定前起司(2 cm³)亦需回溫至 37°C模擬人體口腔溫度，每個樣品取三點測試，由系統自動計算與紀錄數值。

(七) 感官品評

各組起司切成 2 cm³ 大小，於室溫下供品評。本試驗中消費者感官品評共 30 位品評員參加，品評項目包括「外觀色澤」、「氣味」、「風味」、「硬度」、「彈性」、「總接受



(作者自攝)

度」等六個項目進行評分。於品評測試完畢之評分表上呈現：極度不喜歡、非常不喜歡、有點不喜歡、稍微不喜歡、沒有喜歡或不討厭、稍微喜歡、有點喜歡、非常喜歡及極度喜歡等九個等級選項，轉換成 1-9 分，進行數據記錄分析及繪圖。

消費者品評試驗問卷表單<範例>

填表人年齡：_____歲 性別：男 / 女 請依評分組別進行表格之勾選 (請打✓)

樣品	評分項目	1分 (極度不喜歡)	2分 (非常不喜歡)	3分 (有點不喜歡)	4分 (稍微不喜歡)	5分 (沒有喜歡或不討厭)	6分 (稍微喜歡)	7分 (有點喜歡)	8分 (非常喜歡)	9分 (極度喜歡)
A	外觀色澤									
	氣味									
	風味									
	硬度									
	彈性									
B	總接受度									
	外觀色澤									
	氣味									
	風味									
	硬度									
	彈性									
	總接受度									

評分說明：

1. 外觀色澤：請以視覺觀察此起司之整體外觀及剖面的色澤等進行喜好度評分
2. 氣味：請以嗅聞方式感受樣品，對此起司進行喜好度評分
3. 風味：請品嚐後，以味覺的方式對此起司進行喜好度評分
4. 硬度：請品嚐咀嚼後，以齒間的咬感進行硬度評分(1-9分)，硬度越高則分數越高
5. 彈性：請品嚐咀嚼後，以齒間的咬感進行彈性評分(1-9分)，彈力越佳則分數越高
6. 總接受度：以視覺、嗅覺、味覺...等對此起司的整體進行喜歡程度評分

圖 11 以不同殺菌條件原料乳製成之莫札瑞拉起司感官品評問卷範例(作者自製)

(八) 拉伸延展性

本研究以購自五金材料行與文具行之木板、金屬螺旋掛勾、長尾夾、釣魚線、滑輪、秤盤、護貝膠膜及砝碼，試製簡易延展拉伸裝置，用於<試驗二>中所製成起司的拉伸延展性試驗，此簡易拉伸延展裝置照片如下圖 12。



圖 12 本試驗中自製的拉伸延展性測試裝置(作者自攝)

起司切成長 3cm*寬 1.5cm*高 0.5cm 之長方體後，放入 150°C 烤箱預熱 3 分鐘，再將其頭尾以長尾夾固定，將 10g 砝碼放置於秤盤上，起司即進行拉伸延長，以錄影逐幀檢視的方式在其斷裂之瞬間紀錄長度形變程度(公分)以間接判定起司拉伸度。



(九) 統計分析

拉伸延展試驗示意圖(由老師指導，作者自行繪製)

本試驗分析所得之各項目數據使用 SPSS 20.0 統計分析軟體進行統計分析，各處理組之平均值以單因子變異數分析(One-way ANOVA)比較差異情形，若達顯著水準($p < 0.05$)，則進一步以 Duncan 法進行事後檢定。

肆、結果與討論

<試驗一>：原料乳殺菌條件對莫札瑞拉起司成品之影響

(一) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司外觀與製成率


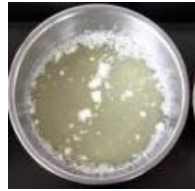

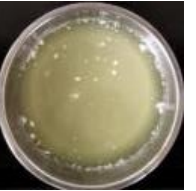











組別	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
乳清 (拉伸 前)					
乳清 (拉伸 後)					
起司 外觀					
拉伸 狀況	可輕易拉伸， 延展狀況極佳	無法拉伸 呈破碎狀	可拉伸 彈性較次	無法拉伸 呈破碎狀	無法拉伸 破碎程度最高

圖 13 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與其乳清外觀(作者自製)

(註：RM 65—以以 65°C 殺菌之生乳(raw milk)製作的起司；LTLT 65—以 65°C 殺菌之吉蒸牧場秀姑巒鮮乳製作的起司；HTST 72—以 72°C 殺菌之瑞穗極制鮮乳製作的起司；HHST 88—以 88°C 殺菌之義美全脂鮮乳製作的起司；UHT—以 UHT 殺菌法之豐力富紐西蘭鮮乳製作的起司。後續圖表中處理組命名同上。)

在試驗一中我們以不同殺菌條件的市售鮮乳製作莫札瑞拉起司，由圖 13 可見，各組乳清外觀狀態差異相當大，其中 RM 65 組的乳清在拉伸前本來就較其他組白濁，而拉伸完畢後則整體呈現乳白色，表面出現很多泡沫；市售鮮乳在拉伸完畢後乳清也皆由澄清狀變混濁，但整體顏色偏黃，尤其是 UHT 組的乳清顏色最黃。起司的外觀部分，我們觀察到僅有 RM 65 和 HTST 72 組成品在溫熱的乳清中具有延展拉伸性，可徒手揉捏整形成光滑的圓形外觀，而其餘三組的起司均呈具黏性的破碎狀凝乳，其中以 UHT 的外觀最為澄黃，與其乳清的顏色相似。Rynne 等人(2004)以殺菌溫度分別為 72°C、77°C、82°C、87°C 的原料乳製作切達(cheddar)起司，報告中指出原料乳殺菌溫度提高至 82°C 及 87°C 時顯著降低起司成品的流動性和拉伸性，本試驗中僅殺菌溫度低於 72°C 的兩組(RM 65、HTST 72)具拉

伸性，與之結果相符合。而 LTLT 65 組(市售秀姑巒鮮乳)雖也標示以 65°C 殺菌 30 分鐘，但商業化生產模式下大量殺菌時要達中心溫度 65°C 需時更長(升溫階段費時更久)，相同殺菌溫度下時間的延長可能造成原料乳內成分發生變化，確切原因還待更進一步的探究。

表 5 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司重量與製成率

處理組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
起司重(g)	118.2±4.9 ^b	101.8±3.7 ^a	97.5±2.6 ^a	102.8±9.3 ^a	104.3±9.3 ^{ab}
乳清重(g)	666.0±5.5 ^a	677.3±4.5 ^{ab}	684.5±6.1 ^b	679.0±4.4 ^{ab}	676.0±7.0 ^{ab}
製成率(%)	14.8±0.6 ^b	12.7±0.5 ^a	12.2±0.3 ^a	12.9±0.8 ^a	13.1±1.1 ^{ab}

^{a-b}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p < 0.05$). n=3.

各組起司成品重、乳清重及製成率詳見表 5，由此可以看出 RM 65 組的起司量最多，其次為 UHT；乳清重量部份趨勢則與之相反。本試驗中各組計算所得之製成率約落在 12.2-14.8% 之間，與多篇文獻中的產率差異不大。由此結果推測，原料乳的殺菌溫度確實影響起司製成率的表現，以低溫保持殺菌的原料乳可以獲得較高的製成率，其餘市售鮮乳製成的起司製成率雖也有高低之分，但組間無顯著差異。

至於均質化(Homogenization)流程是否影響莫札瑞拉起司的部分，Rudan 等人(1998)的報告中指出原料乳的均質化顯著降低乳脂顆粒大小，所製成的起司也與生乳對照組起司差異相當大，均質化作業會對凝乳酵素凝膠的結構產生負面影響，導致凝乳破碎、功能特性變差與製成率降低，此與本試驗中四組市售鮮乳製成之起司製成率與拉伸性均不如生乳組之結果相符合；此外，Jana 和 Upadhyay(1993)探究均質與否對水牛乳(buffalo milks)製成之莫札瑞拉起司有影響時，發現原料乳於 40-60°C 下以 25-50 kg/cm² 壓力均質後所製成的起司其灰分、pH 值、融化性、脂質流失程度、硬度、黏聚性、膠著性、咀嚼性、彈性和質地評分都顯著低於未均質的對照組起司，但作為比薩(pizza)配料時，均質組起司具有優秀的風味且烤製時脂質流失程度也較低，但拉絲特性(stringiness)、咀嚼性和融化性會較差一些。

(二) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與其乳清的 pH 值

各處理組的起司與乳清 pH 值表現如表 6 所示，UHT 組在起司的 pH 值較高於其他組別(雖無顯著)，相反的，其乳清則顯著低於其他處理組。根據 Rowney 等人(1999)的研究指出，莫札瑞拉起司進行拉伸時的最佳酸鹼度條件是 pH 5.2-5.3 之間，而 Maldonado 等人(2013)的研

究則是將最佳酸鹼範圍調整至pH 5.2-5.5。起司製作過程中，大部分的可溶性鈣會隨著乳清排除，而酪蛋白結合鈣則會留在所餘凝乳中，起司製成後的質地變化便與此酪蛋白結合鈣有著高度相關性。研究指出莫札瑞拉起司加工過程中由於添加酸劑和凝乳酶致使pH值降低(鈣質在pH 5時是無法和酪蛋白結合的，但隨著pH的上升，在pH7、25°C下酪蛋白會出現最多的鈣質結合開放位置)，而此較低的pH環境會促成酪蛋白結合鈣分佈的改變，使之形成可溶的狀態(Kindstedt *et al.*, 2004)。隨著不溶性鈣含量的減少，酪蛋白與酪蛋白間交互作用的數量和強度亦減弱，致使其結構呈現剛性較低的衍酪蛋白網絡(para-casein network)，致使成品柔軟度提升(Lucey *et al.*, 2003)。本試驗中UHT組起司pH較高，其質地也較硬，推測其內酪蛋白結合鈣的分佈具相關性。此外，本試驗中各處理組的pH都在6左右，未來若可以透過將pH調整至文獻推薦值，或許能夠改變凝乳性質，但也需注意酸度過高亦可能影響成品風味。

表 6 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與乳清的 pH 值

處理組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
起司 pH	6.16±0.04 ^{ab}	6.00±0.10 ^a	6.05±0.07 ^{ab}	5.99±0.07 ^a	6.26±0.05 ^b
乳清 pH	5.63±0.01 ^c	5.58±0.03 ^{bc}	5.53±0.04 ^{ab}	5.61±0.04 ^c	5.46±0.07 ^a

^{a-c}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p < 0.05$). n=6.

(三) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與其乳清色澤分析

如表 7 所示，乳清部分明亮度(L^*)以部分以肉眼觀察即成白濁色的 RM 65 組顯著最高($p < 0.05$)，其餘市售鮮乳組別則差異不大；黃色值(b^*)則以 UHT 組最高，與圖 13 之肉眼觀察結果相符合。起司成品部分，HTST 72 組有最高的明亮度(L^*)和顯著最低的黃色值(b^*)，RM 65 組居次，顯示此兩組起司成品在外觀上於 CIELAB 色彩空間(圖 14)中最接近純白，於消費者期待上應最符合莫札瑞拉起司的最佳表現。UHT 組雖然在亮度表現尚佳，但是其紅色值(a^*)與黃色值(b^*)顯著高於其他組別($p < 0.05$)，外觀上呈現偏暗黃，與肉眼觀察結果相同，亦較不受消費者歡迎(圖 13)。

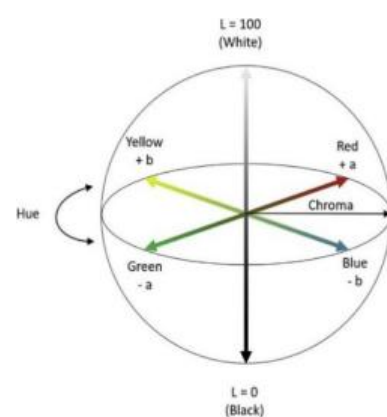


圖 14 CIELAB 色彩空間圖
(Ly *et al.*, 2020)

表 7 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與其乳清的色澤分析

處理組		RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
起 司	<i>L</i> *	88.1±4.0	87.0±0.7	89.1±1.5	87.1±1.6	87.2±3.0
	<i>a</i> *	-0.7±0.1 ^a	-1.1±0.1 ^a	-1.1±0.1 ^a	-0.9±0.3 ^a	0.7±0.3 ^b
	<i>b</i> *	10.2±0.7 ^{ab}	12.3±0.4 ^c	9.3±0.8 ^a	10.9±0.5 ^{bc}	19.2±1.4 ^d
乳 清	<i>L</i> *	61.3±3.3 ^b	38.5±2.7 ^a	39.2±1.9 ^a	37.0±2.0 ^a	37.9±3.2 ^a
	<i>a</i> *	-2.1±0.3 ^a	-0.4±0.1 ^b	-0.5±0.1 ^b	-0.6±0.3 ^b	-0.5±0.2 ^b
	<i>b</i> *	3.4±0.7 ^{ab}	2.3±0.5 ^{ab}	2.7±1.2 ^{ab}	2.1±1.0 ^a	5.0±1.4 ^b

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p < 0.05$). n=9.

(四) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的一般成分分析

如表 8 所示，由此表可見 **RM 65** 組有顯著最高的水分比例和顯著最低的脂肪比例 ($p<0.05$)，推測因生乳組未經均質作用，脂肪與酪蛋白結構網不如市售鮮乳組密合，致使脂肪大量損失；而 UHT 組的水分比例為次高，但有最低的蛋白質含量；灰分部分，各組間比例無顯著差異。

Lucey 等人(2003)的文獻綜述中提到，起司中蛋白質基質的特性影響了其成品質地和流變學特性(如硬 TPA 數據和融化特性等)，當起司中的含水量或水分/蛋白質比例增加時，會顯著降低起司的硬度，而 **RM 65** 組因其含水量顯著最高($p<0.05$)，故在後續質地剖析(表 9)和感官品評(圖 16)的硬度數據上也都顯著最低，此外 UHT 組雖然其水分/蛋白質比例最高(約 2.49)，但其質地卻不如預期柔軟，推測原因為該組原料乳加熱溫度過高過久，其內蛋白質已然變性，在起司製作過程中僅具凝集作用且成品孔洞較大，在後續感官品評時也獲得較低的總接受度。另外，起司中的融化特性並非直接與脂肪含量相關，還另外受到蛋白質/水分的比例等因素綜合影響，在起司乾物質中的脂肪含量(Fat in dry matter, FDM)和熱融化性的雙相關係研究中也發現，FDM 在 18%至 45%之間對起司的熱融性影響不大，但當 FDM 比例增加到 45%以上時，則起司的熱融性會急劇增加，本試驗中五組起司的脂肪含量約在 25-32%之間，故由市售鮮乳製成的 LTLT 65 組、HHST 88 組及 UHT 組未能在熱乳清中拉伸及產生熱融化性的原因也無法由其脂肪含量中獲得探討與定論。

表 8 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的一般成分分析

處理組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
水分(%)	49.33±0.28 ^d	43.13±1.39 ^b	42.15±0.16 ^{ab}	40.38±0.16 ^a	47.31±0.84 ^c
粗蛋白(%)	21.59±1.61 ^{ab}	23.40±2.20 ^b	22.84±1.23 ^{ab}	24.81±1.06 ^b	19.03±0.61 ^a
脂肪(%)	25.75±1.48 ^a	29.26±0.85 ^{ab}	31.31±0.98 ^b	31.46±2.69 ^b	30.19±0.91 ^b
灰分(%)	1.49±0.03	1.50±0.11	1.58±0.13	1.46±0.09	1.39±0.04

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p < 0.05$). n=3.

(五) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的質地剖面分析(TPA)

以不同殺菌條件原料乳製作莫札瑞拉起司成品之質地剖析數據見表 9，分述如下：

1. 硬度(Hardness)是描述與食品變形或穿透產品所需的力有關的機械質地特性，是食品保持形狀的內部結合力，在本試驗中以 **RM 65 組**有顯著最低的硬度，**HTST 72 組**為次低，而 **LTLT 65 組**則具顯著最高的硬度值。
2. 彈性(Springiness)表示物體在外力作用下發生形變，撤去外力後恢復原來狀態的能力，也是於口腔中食物在第一咬結束與第二口開始之間可以恢復的高度，本試驗中五個處理組中以 **RM 65 組**具有顯著最低的彈性值($p < 0.05$)，其餘五組間則無統計學上的差異。
3. 黏聚性(Cohesiveness)又稱為內聚性，反映咀嚼食物時食物抵抗受損並緊密連線，使食物保持完整的性質。與彈性數據之趨勢相似，黏聚性以 **RM 65 組**表現顯著最低，其餘五組雖互有高低但無統計學上的差異。
4. 膠著性(Gumminess)為將半固體物體咀嚼至可吞嚥程度所需的能量，被定義為硬度乘以黏聚性；咀嚼性(Chewiness)被定義為膠著性乘以彈性，可以解釋為咀嚼固體食物所需的能量，因 **RM 65 組**的硬度、彈性及黏聚性均為五組中最低值，故其膠著性和咀嚼性換算也顯著最低($p < 0.05$)，**HTST 72 組**次之，**LTLT 65 組**則顯著最高。

Visser(1991)對起司流變學與斷裂特性的研究中指出，原料乳均質化會使脂肪球直徑縮小，原料乳內的大顆粒脂肪數量也降低許多，若起司複合凝膠中的脂肪為固態時，其內脂肪球大小對硬度應無太大影響，但當起司加溫至 25°C(部分融化狀態)或 38°C以上(完全融化狀態)時，乳脂肪滴的變形性隨著液態脂肪比例和半徑的增加而上升。因此，在高於

25°C 的特定溫度下，含大液滴乳脂的未均質乳可生產質地較柔軟的起司，本試驗中唯一以未均質生乳製成的起司(RM 65 組)在 TPA 分析的表現有最低的硬度值可能歸因於此。

綜上所述，由質地剖面分析(TPA)數據可以初步確認 RM 65 組的起司質地最為柔軟無彈性，整體呈現入口即化的溫和感，而其餘四組中以 HTST 72 組質地與 RM 65 組最為相似，和製作過程中肉眼觀察到的表現相同，乳清中拉伸表現也僅上述兩組具延展性。

表 9 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的質地剖面分析(TPA)參數

處理組	硬度 (Hardness, g)	彈性 (Springiness)	黏聚性 (Cohesiveness)	膠著性 (Gumminess, g)	咀嚼性 (Chewiness, g)
RM 65	259.70±40.11 ^a	0.77±0.03 ^a	0.78±0.04 ^a	204.49±40.28 ^a	157.49±36.48 ^a
LTLT 65	721.35±10.74 ^d	0.96±0.01 ^b	0.85±0.01 ^b	615.62±18.90 ^d	590.45±17.09 ^d
HTST 72	361.49±13.82 ^b	0.92±0.03 ^b	0.82±0.03 ^{ab}	294.66±2.49 ^b	271.03±8.36 ^b
HHST 88	667.73±34.3 ^d	0.95±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b	577.85±33.01 ^d	550.64±36.10 ^d
UHT	467.44±42.98 ^c	0.93±0.01 ^b	0.85±0.01 ^b	396.03±41.73 ^c	368.44±42.5 ^c

^{a-d} Means numbers within the same column without the same superscript are significantly different($p < 0.05$). n=9.

(六) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的截切值(SF)表現

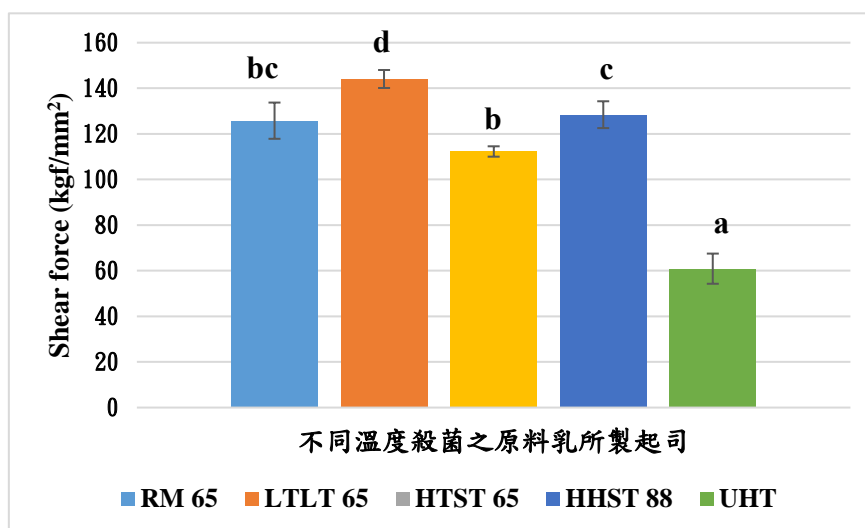


圖 15 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的截切值(作者自製)

^{a-c} Different superscript letters indicate significant differences. ($p < 0.05$).

Each bar presented as the means standard deviation(n=9)

截切值於食品物性測定部分對應的是其切斷該樣品所需之力量，如圖 15 所示，本試驗中 UHT 組截切值顯著最低($p < 0.05$)，但對照表 9 之 TPA 硬度參數卻無相同趨勢，推測原因為

此組質地較為粉碎(起司製作過程中的拉伸時亦有相同感覺)，模擬門齒切斷食品之力道將因樣品的粉碎性高而出現下降的情況，故該組有最低的截切值表現；而 HTST 72 組為和 RM 65 組依序次低，與其質地柔軟度相呼應。

(七) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的感官品評結果



圖 16 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的感官品評結果(作者自製，n=30)

如圖 16 所示，本試驗中參加感官品評者共 30 位，於外觀顏色部分以 RM 65 組和 HTST 72 組為最佳，推測顏色純白、外觀質地細緻較受品評者青睞；氣味和風味部分，發現隨原料乳殺菌溫度提升，其所製起司的氣味和風味分數亦有提升之趨勢(殺菌溫度 88°C 組)，推測是因高溫殺菌使原料乳中之乳糖與蛋白質中鹼性胺基酸(主要為離胺酸)之胺基進行梅納反應(maillard reaction)，形成各種不同的風味物質，較受到品評者青睞(王素貞、蘇平齡，2023)，但 UHT 組因使用超高溫殺菌法，且進口乳未受台灣法規限制需標示確切殺菌溫度及時間，推測其為延長保存期間進行更嚴苛的殺菌模式，導致所製成之起司呈現微酸口感及些許苦味。硬度與彈性部分以 RM 65 組表現最低、HTST 72 組為次低，與質地剖面分析之結果相似(表 9)；整體接受度以外觀潔白柔軟之 RM 65 組最佳、HTST 72 組為次，而 UHT 組因顏色暗黃、口感粉碎且帶酸苦味，故其總接受度最低。

(八) 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的再加熱後斷面外觀

本試驗取五組不同原料乳製成之起司切為 2 cm³ 大小(重量範圍為 5±1 g)，以預熱 150°C 之烤箱烘烤 5 分鐘並記錄其外觀及以夾子拉扯後的狀態，如下圖 17 所示。結果顯示，五組起司中再經烘烤後 RM 65 組直接在烤箱中滲水融化，質地柔軟不定型，但取出烤箱後仍可整形並進行拉伸，最符合市售莫札瑞拉起司之狀態；另 HTST 72 組經烘烤後雖無融化變形，但稍呈膨脹狀態(切割稜角變模糊)，亦可以夾子進行拉伸。其餘三組起司在烘烤後拉伸時均呈破裂狀，尤其以 UHT 組之斷面最為粉碎、側面組織孔洞最大且乾燥。
















組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
烘烤前					
烘烤後					
斷面					

圖 17 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的再加熱後斷面外觀(作者自製)

※ 綜合上面的數據資料，在<試驗二>的部分選取市售鮮乳中唯一具拉伸能力的「HTST72 組(瑞穗極制鮮乳)」進行後續的相關試驗，並以同樣拉伸能力佳的生乳 RM 65 組作為對照，探討在不同溫度條件下進行拉伸對其質地之影響。

<試驗二>：製程中拉伸溫度對莫札瑞拉起司成品之影響

(一) 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的製成率與外觀

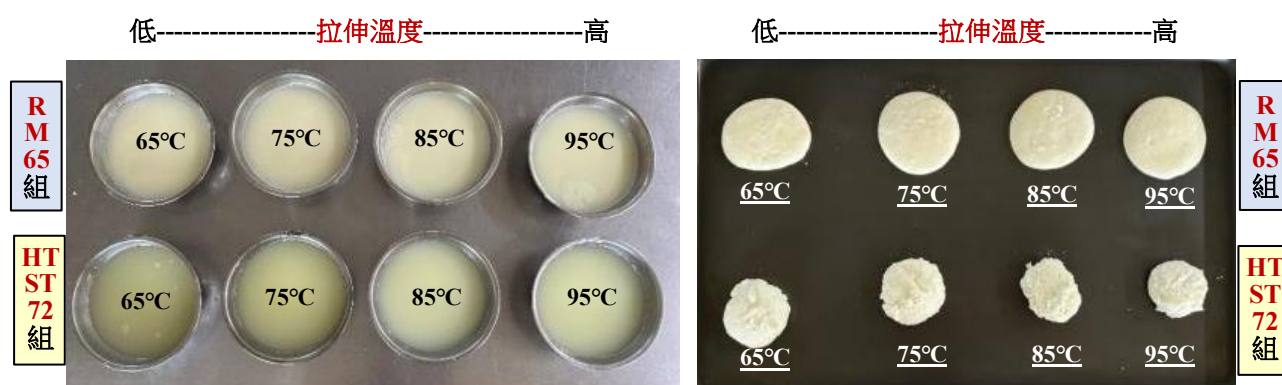


圖 18 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的外觀。(左圖：乳清，右圖：起司。作者自攝)

由上圖 18 照片中肉眼可見，RM 65 組中四種不同拉伸溫度組別其乳清顏色相似，呈白濁狀帶有浮沫；而 HTST 72 組中的 65°C 和 75°C 拉伸組顏色偏透明黃色，85°C 和 95°C 拉伸組則是白中帶黃。起司的外觀部分，RM 65 組中以四種不同拉伸溫度製成的起司成品均可輕易塑型至圓球狀，但放置在盤中拍照時因質地太過柔軟，容易向外擴張、攤圓，變成扁平狀；HTST 72 組在乳清中拉塑時較不易形成光滑表面，但整型完後質地穩定不易變形。

各組乳清/起司量及製成率如表 10 所示，RM 65 組起司的製成率有隨拉伸溫度升高而上升的趨勢，但拉伸溫度至 95°C 時製成率反而最低，但組間並無顯著差異；HTST 72 組起司製成率則隨拉伸溫度上升而明顯下降，其中 HTST 72/95 組數據顯著低於其他各組 ($p < 0.05$)。前有文獻探究了拉伸溫度(55、60 和 70°C)對莫札瑞拉起司化學成分和產量的影響，發現拉伸溫度由 55°C 上升到 70°C 時會使起司產量從 0.88 g/g 降到 0.59 g/g，此外產量也隨拉伸時間的增加而下降(Gonçalves & Cardarelli, 2021)，本試驗的結果與之相符合。

表 10 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的重量及製成率

處理組	乳清重(g)	起司重(g)	製成率(%)	在熱乳清中的拉伸狀況
RM 65/65	671.2±5.8 ^{bc}	103.5±6.1 ^{cd}	12.94±0.76 ^{cd}	稍微硬，較不易拉伸
RM 65/75	655.7±4.0 ^{ab}	111.0±2.0 ^d	13.88±0.25 ^d	拉伸狀態最好，不易斷
RM 65/85	663.7±8.1 ^{abc}	105.3±1.3 ^{cd}	13.17±0.16 ^{cd}	開始變軟，感覺快要融化

RM 65/95	680.3±3.8 ^c	99.7±2.9 ^{bcd}	12.46±0.37 ^{bcd}	質地非常軟，有點融化感
HTST 72/65	664.5±8.0 ^{abc}	102.5±3.0 ^{cd}	12.81±0.38 ^{cd}	有彈性，拉伸時有絮狀物
HTST 72/75	671.3±8.5 ^{bc}	99.0±4.4 ^{bc}	12.38±0.56 ^{bc}	有彈性，拉伸較容易
HTST 72/85	660.2±8.0 ^{ab}	89.7±5.8 ^{ab}	11.21±0.73 ^{ab}	質地變軟，拉伸狀態尚可
HTST 72/95	647.7±4.5 ^a	84.4±4.5 ^a	10.55±0.56 ^a	質地非常軟，已有融化感

^{a-d}Means numbers within the same column without the same superscript are significantly different ($p < 0.05$). $n=3$.

(註：RM 65/65~RM 65/95—以 65°C 殺菌生乳為原料並於 65~95°C 熱乳清中拉伸所製成之莫札瑞拉起司；HTST 72/65~HTST 72/95—以市售 72°C 殺菌瑞穗極制鮮乳為原料並於 65~95°C 熱乳清中拉伸所製成之莫札瑞拉起司。後續圖表中處理組命名同上。)

(二) 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司與其乳清的 pH 值

如下表 11 所示，RM 65 組起司的 pH 值整體略高於 HTST 72 組，其中以 RM 65/75 組為最低，而後隨拉伸溫度上升其 pH 值有漸高的趨勢，但無顯著差異；HTST 72 組中各組 pH 值則無顯著差異，顯示拉伸溫度的不同對於起司成品的 pH 值並無影響性。乳清部分則相反，

HTST 72 四組整體 pH 值略高於 RM 65 四組，但組間均未受到拉伸溫度影響而有所差異。

表 11 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司與其乳清的 pH 值

處理組	RM 65/65	RM 65/75	RM 65/85	RM 65/95	HTST 72/65	HTST 72/75	HTST 72/85	HTST 72/95
起司 pH	6.16±0.01 ^{cd}	6.13±0.04 ^{abc}	6.18±0.03 ^{bcd}	6.23±0.05 ^d	6.07±0.03 ^a	6.07±0.05 ^a	6.06±0.03 ^a	6.09±0.05 ^{ab}
乳清 pH	5.42±0.10	5.44±0.10	5.48±0.14	5.48±0.08	5.59±0.06	5.52±0.06	5.52±0.05	5.51±0.03

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p < 0.05$). $n=6$.

(三) 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司與其乳清的色澤分析

色澤分析結果如表 12 所示，RM 65 組中的乳清明亮度(L^*)和黃色值均顯著高於 HTST 72 組($p < 0.05$)，且隨拉伸溫度升高，明亮度和黃色值也有明顯上升的趨勢；HTST 72 組乳清的顏色在 75°C 拉伸至 85°C 拉伸之間形成一個分界，85°C 以上的拉伸組有較高的明亮度、顯著較低的紅色值和黃色值，整體顏色較為濁白不透明，和上圖 18 肉眼觀察到的情形相符合；起司色澤部分，相較於 RM 65 組，HTST 72 組的明亮度稍高而黃色值稍低(無顯著)，其中又以 HTST 72/65 組有最高的明亮度和最低的黃色值，HTST 72/75 組居次，顯示其在外觀顏色上較為潔白。

表 12 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司與其乳清的色澤分析

處理組		RM 65/65	RM 65/75	RM 65/85	RM 65/95	HTST 72/65	HTST 72/75	HTST 72/85	HTST 72/95
乳清	<i>L</i> *	55.4±4.8 ^{bc}	61.2±3.8 ^{cd}	68.9±1.5 ^{de}	72.3±4.8 ^e	38.8±0.8 ^a	39.9±2.7 ^a	48.0±4.0 ^{ab}	47.5±2.4 ^{ab}
	<i>a</i> *	-1.6±0.0 ^{bc}	-2.4±0.2 ^a	-2.3±0.1 ^a	-1.9±0.4 ^{ab}	-0.9±0.2 ^d	-1.1±0.3 ^{cd}	-2.2±0.2 ^a	-2.2±0.1 ^a
	<i>b</i> *	1.7±0.3 ^d	3.3±0.1 ^e	3.3±0.3 ^c	4.2±0.2 ^f	0.3±0.1 ^{bc}	0.4±0.1 ^c	-0.2±0.1 ^a	-0.1±0.0 ^{ab}
起司	<i>L</i> *	89.7±1.0 ^{ab}	87.0±2.4 ^a	88.5±1.9 ^{ab}	89.6±1.6 ^{ab}	90.7±0.8 ^b	90.0±0.8 ^{ab}	89.1±1.3 ^{ab}	89.5±0.8 ^{ab}
	<i>a</i> *	-0.6±0.1 ^b	-0.8±0.1 ^{ab}	-0.8±0.2 ^{ab}	-0.9±0.3 ^{ab}	-0.8±0.1 ^{ab}	-0.9±0.2 ^{ab}	-1.0±0.2 ^a	-0.9±0.1 ^{ab}
	<i>b</i> *	11.4±1.3 ^{ab}	12.4±1.8 ^b	11.6±1.2 ^{ab}	11.0±0.5 ^{ab}	9.6±0.4 ^a	9.9±0.2 ^a	9.6±0.5 ^a	10.0±0.2 ^a

^{a-f}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p < 0.05$). n=9.

(四) 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的質地剖面分析(TPA)

質地剖析數據詳見表 13，硬度部分以 RM 65/75 組有最低數據，但在統計學上與 HTST 72/65 組和 RM 65/65 組無顯著差異，而在此也可以觀察到 HTST 72 組之硬度值會隨拉伸溫度上升而顯著增加($p < 0.05$)；彈性部分四組 HTST 72 組均高於 RM 65 組，但組間無顯著差異；黏聚性在八個處理組間雖互有高低但無顯著差異；膠著性和咀嚼性部分因其計算組成均與硬度相關，故趨勢也與硬度相似，RM 65 組中以 RM 65/75 組有最低、HTST 72 組間則隨拉伸溫度上升而增加。綜上所述，市售鮮乳瑞穗極制的四種拉伸溫度處理中，以 65°C 拉伸組與生乳具有較為接近的質地，整體較為柔軟富水分。

Xia 等人在 2024 年的研究中利用模擬分子動力學(molecular dynamics)進一步闡述 β -酪蛋白在不同拉伸溫度下的變化，結果指出起司在 25°C 和 40°C 等低溫下拉伸會導致蛋白質微結構出現孔隙和裂縫，而若將拉伸溫度提升至 60°C 時則可提升起司結構的緻密度和功能，但若將溫度提升到 80°C 以上並進行高強度拉伸作用時反而會破壞蛋白質結構，降低起司成品的功能特性，本試驗中 HTST 72/65 組呈現較佳的質地剖析結果，與前人研究相符合。另外，隨著拉伸溫度的升高， β -酪蛋白折疊會解開，環狀區域發生變化， α 螺旋含量迅速下降， β -酪蛋白內自身形成氫鍵的能力增強，而水分子之間、水分子與蛋白質之間的氫鍵強度減弱，所以本研究中拉伸溫度較高之組別其硬度也產生明顯變化。

表 13 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的質地剖面分析(TPA)參數

處理組	硬度 (Hardness, g)	彈性 (Springiness)	黏聚性 (Cohesiveness)	膠著性 (Gumminess, g)	咀嚼性 (Chewiness, g)
RM 65/65	342.4±30.1 ^a	0.83±0.05 ^{ab}	0.80±0.01	273.1±24.3 ^a	228.1±27.9 ^a
RM 65/75	298.5±36.5 ^a	0.76±0.09 ^a	0.78±0.03	231.1±23.5 ^a	175.5±15.6 ^a
RM 65/85	396.5±10.9 ^{ab}	0.86±0.02 ^{abc}	0.80±0.01	316.4±4.6 ^{ab}	273.5±10.2 ^{abc}
RM 65/95	511.6±40.2 ^c	0.85±0.04 ^{abc}	0.77±0.06	393.9±59.7 ^b	338.1±67.9 ^{bc}
HTST 72/65	312.9±28.3 ^a	0.96±0.02 ^c	0.82±0.00	255.5±23.8 ^a	244.3±18.2 ^{ab}
HTST 72/75	468.2±44.3 ^{bc}	0.95±0.02 ^{bc}	0.82±0.01	384.0±38.5 ^b	365.9±39.8 ^c
HTST 72/85	616.8±32.9 ^d	0.95±0.01 ^{bc}	0.86±0.02	528.2±29.6 ^c	502.2±25.3 ^d
HTST 72/95	721.1±55.1 ^e	0.98±0.04 ^c	0.84±0.02	605.8±46.9 ^c	590.5±48.4 ^d

^{a-c}Means numbers within the same column without the same superscript are significantly different($p < 0.05$). n=9

(五) 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的截切值(SF)

如圖 19 所示，RM 65 組的截切值在不同拉伸溫度間無顯著差異，而 HTST 72 組則明顯隨拉伸溫度上升而提升，**HTST 72/65 組具有顯著最低($p < 0.05$)的截切值**，拉伸溫度在 85°C 時，HTST 72 組的截切值與 RM 65 組相近；拉伸溫度提高至 95°C 時，HTST 72 組的截切值已然超越 RM 65 組。

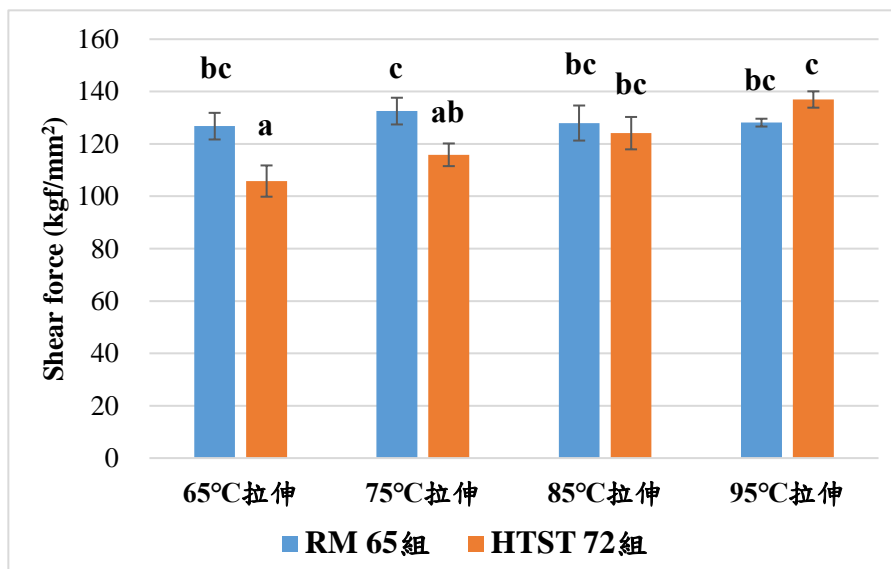


圖 19 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的截切值(作者自製)

^{a-c}Different superscript letters indicate significant differences. ($p < 0.05$).

Each bar presented as the means standard deviation(n=9)

(六) 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的拉伸延展性測試

起司拉伸後長度如圖 20 所示，八組以不同溫度拉伸所製之起司切成 3 公分長的長方塊，兩頭以長尾夾固定後放入 150°C 烤箱中加熱 3 分鐘，取後立刻懸掛於自製拉伸延展裝置上，以 10g 砝碼為重力進行拉伸，再以全程攝影的方式在起司斷裂的瞬間紀錄其長度(cm)做為其拉伸延展性的表現。



(作者自攝)

結果顯示，RM 65 組起司拉伸程度顯著優於 HTST 72 組，其中以 75°C 拉伸最佳，但組間無顯著差異；而 HTST 72 組雖拉伸能力較遜，但組間以 65°C 拉伸為最佳，顯著高於另兩組高溫拉伸組別。前人研究提到，起司在加熱拉伸後其內蛋白質從不定形的三維結構發生分子重排，轉變成線性纖維網狀結構，使乳清和微細脂肪球填充於酪蛋白纖維束間的空隙，從而使起司由剛性結構轉為塑性結構(Gonçalves & Cardarelli, 2021)，故我們推測起司的質地越柔軟濕潤者，其酪蛋白間隙中所含的水分也越多，能夠在網狀結構中延長的程度也越高；此外，當起司加溫至融化狀態時，乳脂肪滴的變形性也隨液態脂肪比例和半徑的增加而上升，故本試驗中乳脂液滴較大的 RM 65 組其拉伸延展性也顯著較佳。

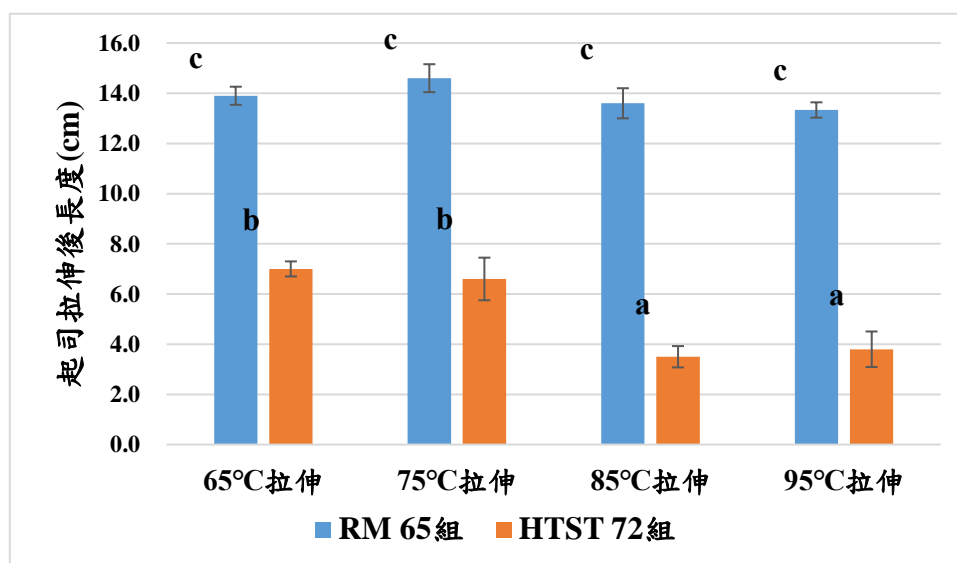


圖 20 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的拉伸延展性(作者自製)

^{a-c}Different superscript letters indicate significant differences. ($p < 0.05$).

Each bar presented as the means standard deviation($n=3$)

伍、結論

- 一、<試驗一>部分：僅 RM 65 組和 HTST 72 組成品在溫熱的乳清中具有延展拉伸性，其餘三組起司均呈具黏性的破碎狀凝乳。RM 65 組有顯著最高製成率和含水率、顯著較低的 TPA 物性參數(硬度、彈性、黏聚性、膠著性和咀嚼性)和截切值，而其餘四組中以 HTST 72 組質地與 RM 65 組最為相似。而色澤表現部分則以 HTST 72 組有最高的明亮度(L^*)和顯著最低的黃色值(b^*)，RM 65 組居次，顯示此兩組起司在外觀上最接近莫札瑞拉起司的期望表現；感官品評部分，整體接受度以外觀潔白柔軟之 RM 65 組最佳、HTST 72 組為次，而 UHT 組因顏色暗黃、斷面組織孔洞大且乾燥、口感粉碎且帶酸苦味，故其總接受度最低。
- 二、<試驗二>部分：以市售瑞穗極制鮮乳為原料再經不同拉伸溫度製作莫札瑞拉起司(HTST 72 組)時，發現起司製成率則隨拉伸溫度上升而明顯下降，色澤的明亮度稍高而黃色值稍低(相較於 RM 65 組)，質地部分硬度值和截切值均顯著隨拉伸溫度上升而增加($p<0.05$)，所有 HTST 72 組的拉伸延展性均顯著低於 RM 65 組，但組間仍以 RM 65/65 組為最佳。HTST 72 組中以 HTST 72/65 組有較佳的製成率、外觀顏色、質地柔軟度和拉伸延展性。
- 三、綜上所述，市售原料乳中僅統一瑞穗極制鮮乳所製成的莫札瑞拉起司具拉伸延展性，雖在質地及感官品評上不及生乳對照組，但仍可做為一般民眾自製莫札瑞拉起司時可輕易取得之乳源，並於不同拉伸溫度測試中證實以 65°C 進行拉伸可獲得較製成率佳、質地柔軟且具拉伸延展性的產品，期望能為受到紐西蘭乳零關稅衝擊的國產鮮乳找到創新的產業出路，拉動產業升級，朝向多元發展，為本土酪農產業鏈注入新動能。

陸、未來展望

- 一、起司的 pH 值和礦物質含量對其結構與質地有具有深度的影響性(Lucey *et al.*, 2003)，不同製程條件亦決定了起司內鈣和磷的含量，未來可再進一步探討市售鮮乳製成之起司內酪蛋白結合鈣(不溶性鈣含量)與其質地、功能特性的相關性，亦可藉此透過預酸化或添加鈣螯合劑等加工條件來改變起司內鈣含量，進而提升起司成品的物化特性。

二、前人研究指出莫札瑞拉起司後續保存方式與包裝、貯存時間和溫度等因子會明顯影響成品硬度和黏性等功能特性(Gonçalves & Cardarelli, 2020)，未來可以著手進行鹽漬、貯存條件、陳化與老化狀態對市售鮮乳製成的莫札瑞拉起司微觀結構、質地分析及融化狀態的探究，並同步探討貯存期間對危害病原菌的控制方法。

柒、參考文獻資料

1. Aonan, X., Jianxin, Z., Peng Z., & Xiaoming, L. (2024). Effects of thermal and stretching treatments on the physicochemical and functional properties of mozzarella cheese. *Food Bioscience*, 62, Article 105543.
2. Caserio, G.; Senesi, E.; Forlani, M.; & Emaldi, G. (1997). Hygienic conditions of Mozzarella in relation to production technology. *The Milk Industry*, 2, 19-39.
3. Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). Chemistry and biochemistry of cheese. Switzerland: Springer International Publishing; (pp. 499-546).
4. Gonçalves, M. C., & Cardarelli, H. R. (2019). Composition, microstructure and chemical interactions during the production stages of mozzarella cheese. *Int Dairy J.*, 88, 34-41.
5. Gonçalves, M. C., & Cardarelli, H. R. (2020). Effect of the stretching temperature on the texture and thermophysical properties of mozzarella cheese. *J. Food Process Preserv.* 44(6), e14703.
6. Gonçalves, M. C., & Cardarelli, H. R. (2021). Mozzarella Cheese Stretching: A Minireview. *Food Technology and Biotechnology*, 59(1), 82-91.
7. Jana, A., & Mandal, P. (2011). Manufacturing and quality of Mozzarella cheese: A Review. *International Journal of Dairy Science*, 6(4), 199-226.
8. Jana, A. H., & Upadhyay, K. G. (1993). A comparative study of the quality of Mozzarella cheese obtained from unhomogenized and homogenized buffalo milks. *Cultured Dairy Products Journal*, 28(2), 16-22.
9. Kindstedt, P. S. (1993). Effect of manufacturing factors, composition, and proteolysis on the functional characteristics of mozzarella cheese. *Agricultural and Food Sciences*, 33(2), 167-187.
10. Kindstedt, P., Carić, M., & Milanović, S. (2004). Pasta-filata cheeses. In: Fox PF, McSweeney, P. L. H., Cogan, T. M., & Guinee, T. P., (Ed.), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology*. London, UK: Elsevier, (pp. 251-277).
11. Lucey, J. A., Johnson, M. E., & Horne, D. S. (2003). Invited Review: Perspectives on the basis of

the rheology and texture properties of cheese. *Journal of Dairy Science*, 86(9), 2725-2743.

12. Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L. & Bino, S. D. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A reliable technique for objective skin color measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140, 3-12.
13. Maldonado, R., Melendez, B., Arispe, I., Boeneke, C., Torrico, D., & Prinyawiwatkul, W. (2013). Effect of pH on technological parameters and physicochemical and texture characteristics of the pasta filata cheese Telita. *J. Dairy Sci.*, 96(12), 7414-7426.
14. Rowney, M. K., Hickey, M. W., Roupas, P., & Everett, D. W. (2003). The effect of homogenization and milk fat fractions on the functionality of Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 86, 712-718.
15. Rowney, M., Roupas, P., Hickey, M. W., & Everett, D. W. (1999). Factors affecting the functionality of mozzarella cheese. *Aust. J. Dairy Technol.*, 54(2), 94-102.
16. Rudan, M. A., Barbano, D. M., Guo, M. R., & Kindstedt, P. S. (1998). Effect of the modification of fat particle size by homogenization on composition, proteolysis, functionality, and appearance of reduced fat Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 81, 2065-2076.
17. Rynne, N. M., Beresford, T. P., Kelly, A. L., & Guinee, T. P. (2004). Effect of milk pasteurization temperature and in situ whey protein denaturation on the composition, texture and heat-induced functionality of half-fat Cheddar cheese. *Int. Dairy J.*, 4, 989-1001.
18. Visser, J. (1991). Factors affecting the rheological and fracture properties of hard and semi-hard cheese. *International Dairy Federation*, (pp. 49-61).
19. Yazici, F., M. Dervisoglu, A. Akgun and O. Aydemir. (2010). Effect of whey pH at drainage on physicochemical, biochemical, microbiological, and sensory properties of Mozzarella cheese made from buffalo milk during refrigerated storage. *J. Dairy Sci.*, 93, 5010-5019.
20. Yun, J. J., Barbano, D. M., Larose, K. L., & Kindstedt, P. S. (1994). Effect of mixer stretching temperature chemical composition, microstructure, proteolysis, and functional properties of mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 77(1), 34.
21. 王素貞、蘇平齡(2023)。〈畜產加工(含實習)下〉。台北市：五南。
22. 昕角度數據科技股份有限公司(2024)。〈乳酪消費趨勢〉。取自 <https://reurl.cc/YY5Vgl>
23. 陳明造(1995)。〈畜產加工〉。台北市：東大。
24. 彭美常(2007)。〈牛乳預酸化對低脂莫澤瑞拉乾酪理化學特性之影響〉。東海大學畜產與生物科技學系。
25. 葉瑞涵、郭卿雲(2021)。〈莫札瑞拉起司製作〉。畜產專訊，116，1-3。

【評語】 052201

作者能自製簡易拉伸延展性測試裝置，值得鼓勵！惟若能將此測試裝置所測得之數據，與標準之拉伸延展性測試儀數據比較，對試驗結果之準確性較有幫助。研究結果顯示，使用市售國產鮮乳製作莫札瑞拉起司的可行性，為當地乳品業提供了新的市場機會。

雖然文獻回顧部分已有所涵蓋，但可以增加更多國際研究的比較，強調本研究的創新性與必要性。

在試驗中，若能增加樣本數量，將有助於提高結果的統計學意義，並增強研究的可信度。

感官品評部分可以進一步細化，例如增加評估標準和受試者背景的描述，以便更全面地了解消費者的偏好。

這項研究對於提升台灣的乳製品市場具有重要的學術與實用價值，並且在研究設計及結果呈現上都展現出良好的水準。希望未來能夠在上述方面進一步改善，讓研究成果更加完善。

作品海報

可以拉~絲嗎？

市售鮮乳殺菌條件

及拉伸溫度對莫札瑞拉起司之影響

摘要

本研究以四種不同殺菌條件之市售鮮乳試製莫札瑞拉起司，並與生乳進行比較，結果顯示僅RM 65組和HTST 72組成品具拉伸延展性，且RM 65組具顯著最高的製成率和含水率、顯著較低的TPA物性參數與截切值，市售鮮乳中以HTST 72組在質地、色澤與感官品評結果上與RM 65組最相近；後續再以不同拉伸溫度為變因對瑞穗極制鮮乳所製之起司進行品質探討，發現其製成率隨拉伸溫度上升而下降、硬度值和截切值則隨拉伸溫度上升而增加，其中以65°C進行拉伸的組別擁有較佳的製成率、外觀顏色、柔軟度和拉伸延展性，可做為一般民眾在家自製莫札瑞拉起司時可輕易取得之乳源，期能為受紐西蘭乳零關稅衝擊的國產鮮乳開發創新產業出路，朝向多元發展，為本土酪農產業鏈注入新動能。

研究動機與目的

- 莫札瑞拉起司(mozzarella cheese)因其優秀的延展性應用在披薩業的「牽絲」效果極佳，相當受到台灣消費者喜愛，然而市面上卻鮮少見到由「國產鮮乳」做成的起司，民眾也因無法購得生乳故難以在家自行生產。於是我們對此產生疑惑，想瞭解市售鮮乳是否能成功製出具拉伸延展性的莫札瑞拉起司，並討論原料乳的殺菌條件和拉伸溫度對其質地的影響。
- 本試驗以不同殺菌條件之市售鮮乳為原料，進行以下探討：
試驗一、探討原料乳的殺菌溫度和均質與否對於莫札瑞拉起司質地之影響。
試驗二、探究市售鮮乳在何種拉伸溫度下可製成條件最佳之起司成品。

試驗原料、設備與器材

- 試驗原料：
表1 本試驗所選用之原料乳及其殺菌條件
- 材料與器材：試藥級檸檬酸、凝乳酶(rennet)、硫酸(98.7%)、燒杯、濾勺、恆溫水浴槽、電子秤、均質乳化機、真空包裝機。
- 試驗分析儀器：均質機、多功能桌上型酸鹼度計、色差計、烘箱、灰化爐、粗蛋白分解爐、貝氏瓶、凱式氮測定儀、物性測定儀、自製拉伸延展性測量裝置。

瓶身包裝					
樣品名稱	生乳(自家產)	秀姑巒鮮乳	瑞穗極制鮮乳	義美鮮乳	紐西蘭鮮乳
殺菌條件	65°C 30分鐘	65°C 30分鐘	72°C 15秒	88°C 20秒	瓶身未標示
產地	台灣	台灣	台灣	台灣	紐西蘭

試驗流程圖與分析項目

①每個處理組分別取 800g 原料乳隔水加熱至 30°C	②加 15 毫升 10%檸檬酸溶液並攪拌，以 pH 試紙測定	③加入凝乳酶(每公升乳樣添加 0.01g)，邊添加邊攪拌
④靜置凝乳 40 分鐘後→第一次截切→再靜置 20 分鐘	⑤水浴槽升溫至 39°C→第二次截切→保持溫度 5 分鐘	⑥倒出乳清→保溫凝乳塊進行 2 次翻面(15 分鐘/次)
⑦乳清隔水升溫至 74-76°C，放入凝乳塊進行拉伸	⑧趁熱進行整形、秤重、拍照及取樣	⑨降溫後，真空包裝保存以待後續分析

圖1 莫札瑞拉起司製作流程圖

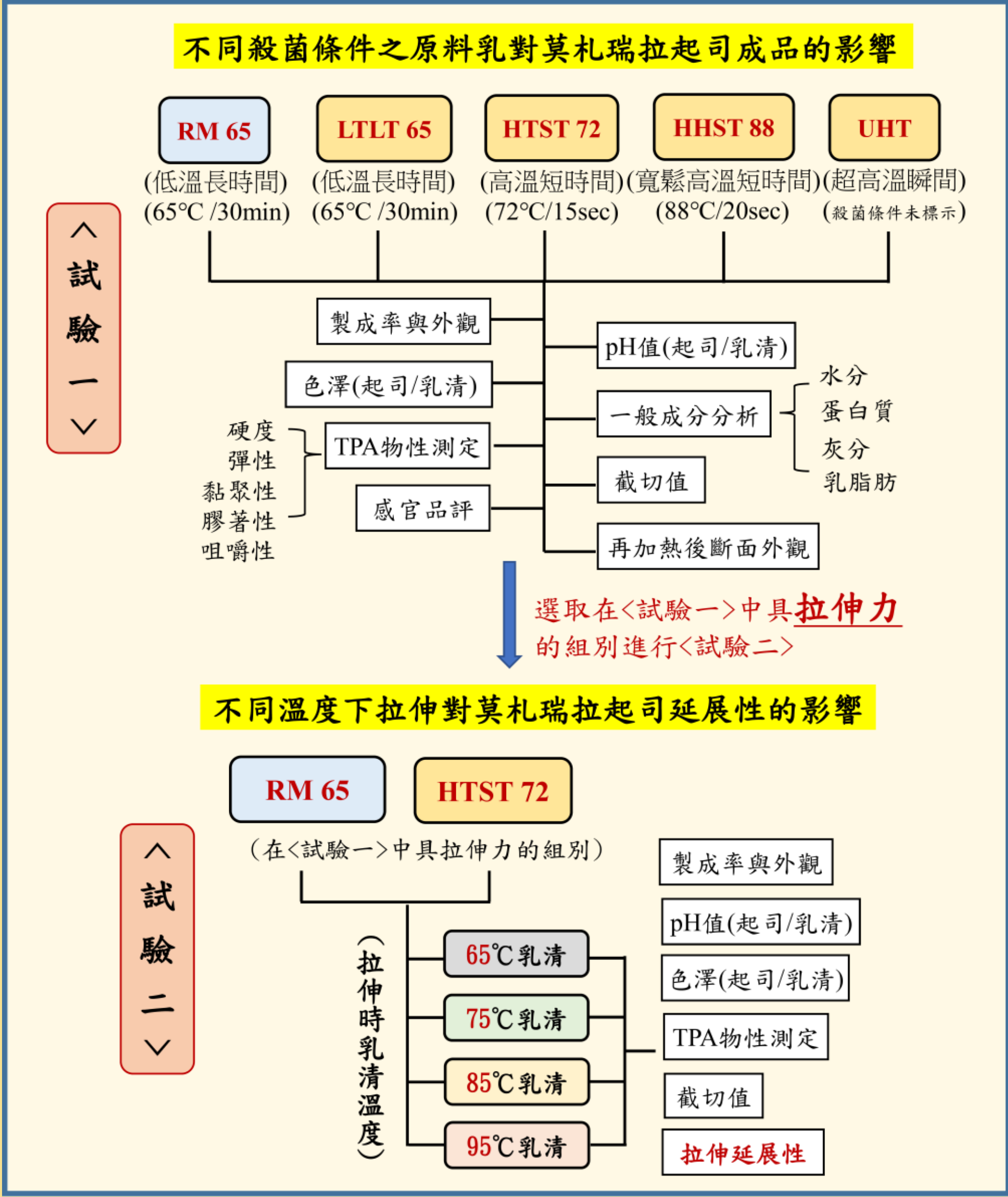


圖2 本研究之試驗架構圖

<預備試驗>的流程與初步結果

表2 生乳以不同溫度/時間殺菌後試製莫札瑞拉起司之製成情況

組別	65°C/30min	75°C/15min	75°C/30min	85°C/15min	85°C/30min	95°C/15min	95°C/30min
乳清外觀							
起司外觀							
乳清重(g)	553.21	694.83	690.52	700.56	685.25	642.88	640.31
起司重(g)	116.53	96.72	90.60	82.35	87.54	114.66	137.75
製成率(%)	14.57	12.09	11.33	10.29	10.94	14.33	17.22
可否拉伸	O	O	O	X	X	X	X
拉伸狀況	可輕易拉伸，質感柔軟，延展性極佳	柔軟，拉伸過程中覺得明顯越來越小	質地觸感稍硬，較前兩組易成形	質地破碎，揉塑呈團後質地堅硬	狀態稀碎，能揉合成團，質地堅硬	稀碎狀，勉強能揉成團，質地柔軟但易破碎	極稀碎狀，成團後更為柔軟但易分散無彈性

預備試驗

- 製作莫札瑞拉起司時使用的原料乳殺菌溫度最佳為65°C/30分鐘組，殺菌溫度及時間增高其製成率會下降。
- 至85°C時有最差的产品質地與產率，但繼續拉高溫度與時間則製成率反而有所提升，但成品依舊無法拉伸，且質地更加破碎。

結果與討論

<試驗一>：原料乳殺菌條件對莫札瑞拉起司成品之影響

(一) 莫札瑞拉起司外觀與製成率




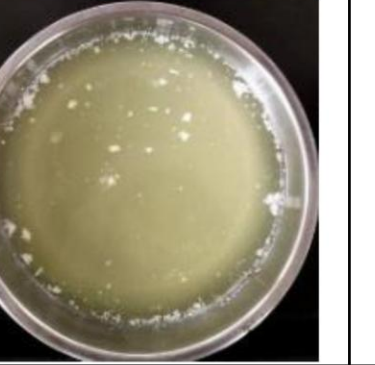











組別	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
乳清 (拉伸前)					
乳清 (拉伸後)					
起司外觀					
拉伸狀況	可輕易拉伸， 延展狀況極佳	無法拉伸 呈破碎狀	可拉伸 彈性較次	無法拉伸 呈破碎狀	無法拉伸 破碎程度最高

圖3 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與其乳清外觀

(二) 莫札瑞拉起司與其乳清的pH值

- UHT組起司的pH值略高於其他組別(無顯著)；乳清部份，UHT組反而顯著最低。

表4 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與乳清的pH 值

處理組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
起司 pH	6.16±0.04 ^{ab}	6.00±0.10 ^a	6.05±0.07 ^{ab}	5.99±0.07 ^a	<u>6.26±0.05^b</u>
乳清 pH	5.63±0.01 ^c	5.58±0.03 ^{bc}	5.53±0.04 ^{ab}	5.61±0.04 ^c	<u>5.46±0.07^a</u>

^{a-c}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=6.

(四) 莫札瑞拉起司的一般成分分析

- RM 65組有顯著最高的水分比例和顯著最低的脂肪比例；UHT組的水分比例為次高，但有最低的蛋白質含量。

表6 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的一般成分分析

處理組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
水分(%)	49.33±0.28 ^d	43.13±1.39 ^b	42.15±0.16 ^{ab}	40.38±0.16 ^a	47.31±0.84 ^c
粗蛋白(%)	21.59±1.61 ^{ab}	23.40±2.20 ^b	22.84±1.23 ^{ab}	24.81±1.06 ^b	19.03±0.61 ^a
脂肪(%)	25.75±1.48 ^a	29.26±0.85 ^{ab}	31.31±0.98 ^b	31.46±2.69 ^b	30.19±0.91 ^b
灰分(%)	1.49±0.03	1.50±0.11	1.58±0.13	1.46±0.09	1.39±0.04

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=3.

(六) 莫札瑞拉起司的截切值(SF)

- UHT組截切值顯著最低，推測原因為此組質地較為粉碎；HTST 72和RM 65組依序次低，與其質地柔軟度相呼應。

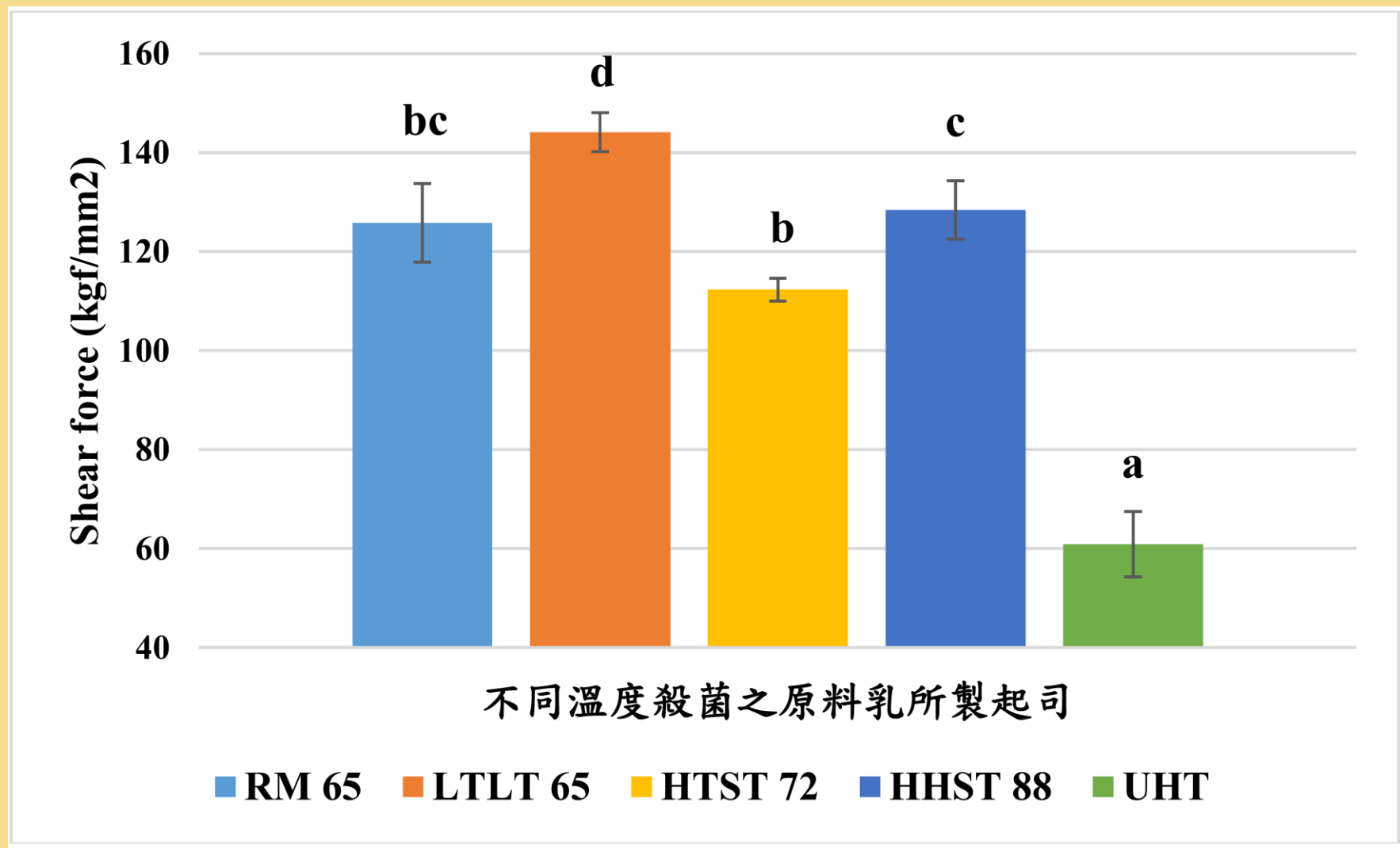


圖4 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的截切值

^{a-d}Different superscript letters indicate significantly differences. ($p<0.05$). Each bar presented as the means standard diviation(n=9)

(八) 莫札瑞拉起司的再加熱後斷面外觀
















組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
烘烤前					
烘烤後					
斷面					

圖6 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的再加熱後斷面外觀

表3 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司重量與製成率

處理組	RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
起司重(g)	118.2±4.9 ^b	101.8±3.7 ^a	97.5±2.6 ^a	102.8±9.3 ^a	104.3±9.3 ^{ab}
乳清重(g)	666.0±5.5 ^a	677.3±4.5 ^{ab}	684.5±6.1 ^b	679.0±4.4 ^{ab}	676.0±7.0 ^{ab}
製成率(%)	14.8±0.6 ^b	12.7±0.5 ^a	12.2±0.3 ^a	12.9±0.8 ^a	13.1±1.1 ^{ab}

^{a-b}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=3.

- 僅RM 65和HTST 72組成品在乳清中具拉伸延展性，可揉捏整形成光滑外觀，另三組均呈黏性破碎狀凝乳。
- 原料乳的殺菌溫度確實影響起司製成率表現，試驗結果以低溫保持殺菌的原料乳可以獲得較高製成率。

(三) 莫札瑞拉起司與其乳清的色澤分析

- HTST 72組起司有最高的明亮度和顯著最低的黃色值，RM 65組居次，顯示此兩組成品在外觀上最接近純白，應最符合莫札瑞拉起司的外觀表現。
- UHT組紅色值與黃色值顯著高於其他組，外觀上呈現偏暗黃，較不受消費者歡迎。

表5 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司與其乳清的色澤分析

處理組		RM 65	LTLT 65	HTST 72	HHST 88	UHT
起 司	<i>L</i> [*]	88.1±4.0	87.0±0.7	89.1±1.5	87.1±1.6	87.2±3.0
	<i>a</i> [*]	-0.7±0.1 ^a	-1.1±0.1 ^a	-1.1±0.1 ^a	-0.9±0.3 ^a	0.7±0.3 ^b
	<i>b</i> [*]	10.2±0.7 ^{ab}	12.3±0.4 ^c	9.3±0.8 ^a	10.9±0.5 ^{bc}	19.2±1.4 ^d
乳 清	<i>L</i> [*]	61.3±3.3 ^b	38.5±2.7 ^a	39.2±1.9 ^a	37.0±2.0 ^a	37.9±3.2 ^a
	<i>a</i> [*]	-2.1±0.3 ^a	-0.4±0.1 ^b	-0.5±0.1 ^b	-0.6±0.3 ^b	-0.5±0.2 ^b
	<i>b</i> [*]	3.4±0.7 ^{ab}	2.3±0.5 ^{ab}	2.7±1.2 ^{ab}	2.1±1.0 ^a	5.0±1.4 ^b

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=9.

(五) 莫札瑞拉起司的質地剖面分析(TPA)

- RM 65組的起司質地最為柔軟無彈性，市售鮮乳中以HTST 72組質地與RM 65組最為相似，乳清中拉伸表現也僅上述兩組具延展性。

表7 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的質地剖面分析

處理組	硬度 (Hardness, g)	彈性 (Springiness)	黏聚性 (Cohesiveness)	膠著性 (Gumminess, g)	咀嚼性 (Chewiness, g)
RM 65	259.70±40.11 ^a	0.77±0.03 ^a	0.78±0.04 ^a	204.49±40.28 ^a	157.49±36.48 ^a
LTLT 65	721.35±10.74 ^d	0.96±0.01 ^b	0.85±0.01 ^b	615.62±18.90 ^d	590.45±17.09 ^d
HTST 72	361.49±13.82 ^b	0.92±0.03 ^b	0.82±0.03 ^{ab}	294.66±2.49 ^b	271.03±8.36 ^b
HHST 88	667.73±34.3 ^d	0.95±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b	577.85±33.01 ^d	550.64±36.10 ^d
UHT	467.44±42.98 ^c	0.93±0.01 ^b	0.85±0.01 ^b	396.03±41.73 ^c	368.44±42.5 ^c

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=9.

(七) 莫札瑞拉起司的的感官品評結果

- 外觀顏色及整體接受度以RM 65組和HTST 72組為最佳；隨原料乳殺菌溫度提升，其所製起司的氣味和風味分數亦有提升；UHT組因顏色暗黃、口感粉碎且帶酸苦味，故其總接受度分數最低。

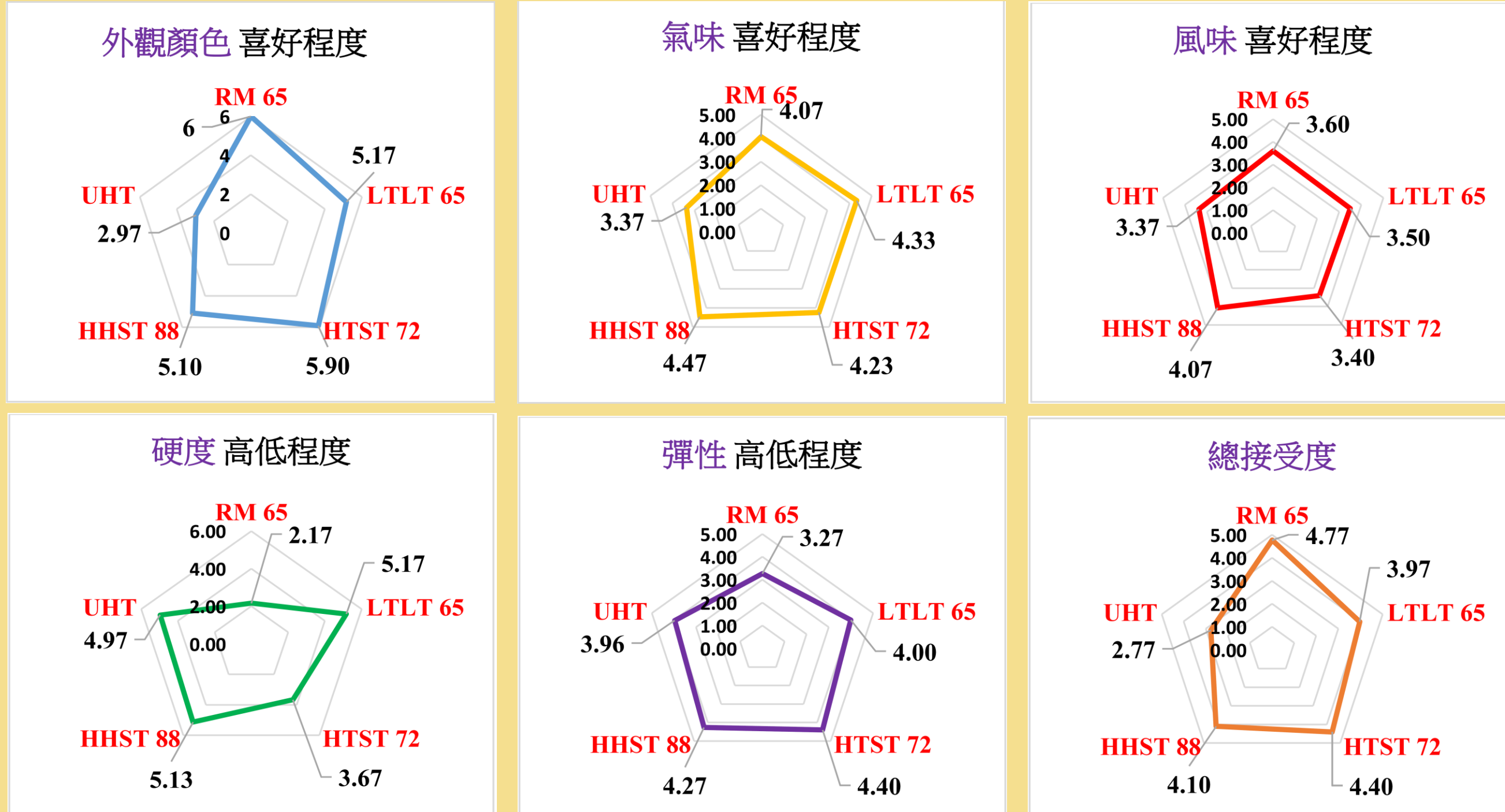


圖5 不同殺菌條件原料乳所製之莫札瑞拉起司的感官品評結果 (n=30)

◎ 綜合上述資料，選取市售鮮乳中唯一具拉伸能力的「瑞穗極制鮮乳(HTST 72組)」進行後續試驗，並以生乳(RM 65組)為對照，探討不同拉伸溫度對起司質地之影響。

<試驗二>：製程中拉伸溫度對莫札瑞拉起司成品之影響

(一) 莫札瑞拉起司的外觀與製成率

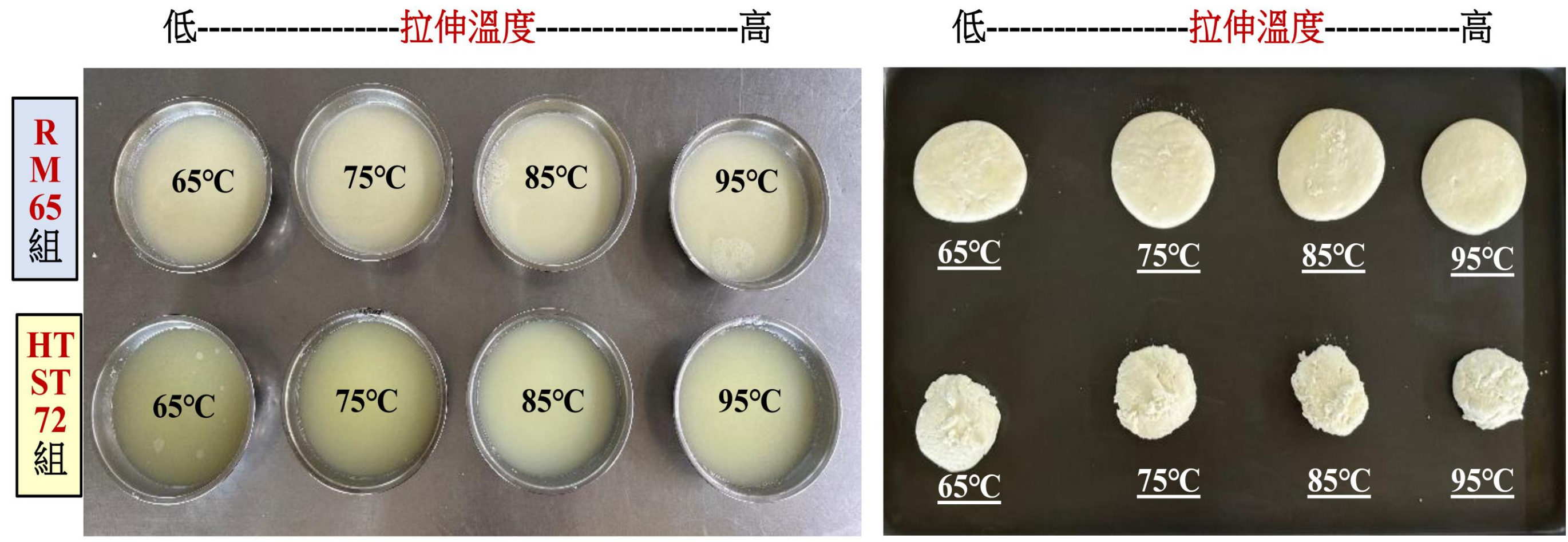


圖7 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的外觀。(左：乳清，右：起司)

- ★ HTST 72組中以65-75°C拉伸者其乳清顏色為透明黃色，85-95°C拉伸者其乳清則是白濁中帶黃。
- ★ RM 65組起司成品均可輕易塑型，但質地太過柔軟易向外擴張、攤圓，變成扁平狀；HTST 72組在拉塑時較不易形成光滑表面，但整型完成後質地穩定，不會變形。

(二) 莫札瑞拉起司與其乳清的pH值

表9 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司與其乳清的pH值

處理組	RM 65/65	RM 65/75	RM 65/85	RM 65/95	HTST 72/65	HTST 72/75	HTST 72/85	HTST 72/95
起司 pH	6.16±0.01 ^{cd}	6.13±0.04 ^{abc}	6.18±0.03 ^{bcd}	6.23±0.05 ^d	6.07±0.03 ^a	6.07±0.05 ^a	6.06±0.03 ^a	6.09±0.05 ^{ab}
乳清 pH	5.42±0.10	5.44±0.10	5.48±0.14	5.48±0.08	5.59±0.06	5.52±0.06	5.52±0.05	5.51±0.03

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=6.

(三) 莫札瑞拉起司與其乳清的色澤分析

表10 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司與其乳清的色澤分析

處理組	RM 65/65	RM 65/75	RM 65/85	RM 65/95	HTST 72/65	HTST 72/75	HTST 72/85	HTST 72/95
乳清	L^* 55.4±4.8 ^{bc} a^* -1.6±0.0 ^{bc} b^* 1.7±0.3 ^d	61.2±3.8 ^{cd} -2.4±0.2 ^a 3.3±0.1 ^e	68.9±1.5 ^{de} -2.3±0.1 ^a 3.3±0.3 ^c	72.3±4.8 ^e -1.9±0.4 ^{ab} 4.2±0.2 ^f	38.8±0.8 ^a -0.9±0.2 ^d 0.3±0.1 ^{bc}	39.9±2.7 ^a -1.1±0.3 ^{cd} 0.4±0.1 ^c	48.0±4.0 ^{ab} -2.2±0.2 ^a -0.2±0.1 ^a	47.5±2.4 ^{ab} -2.2±0.1 ^a -0.1±0.0 ^{ab}
起司	L^* 89.7±1.0 ^{ab} a^* -0.6±0.1 ^b b^* 11.4±1.3 ^{ab}	87.0±2.4 ^a -0.8±0.1 ^{ab} 12.4±1.8 ^b	88.5±1.9 ^{ab} -0.8±0.2 ^{ab} 11.6±1.2 ^{ab}	89.6±1.6 ^{ab} -0.9±0.3 ^{ab} 11.0±0.5 ^{ab}	90.7±0.8 ^b -0.8±0.1 ^{ab} 9.6±0.4 ^a	90.0±0.8 ^{ab} -0.9±0.2 ^{ab} 9.9±0.2 ^a	89.1±1.3 ^{ab} -1.0±0.2 ^a 9.6±0.5 ^a	89.5±0.8 ^{ab} -0.9±0.1 ^{ab} 10.0±0.2 ^a

^{a-d}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=9.

- ★ 乳清：RM 65組之 L^* 及 b^* 均顯著高於HTST 72組，且隨拉伸溫度升高而上升；HTST 72組乳清顏色在以75°C至85°C拉伸間形成分界。
- ★ 起司：以HTST 72/65組有最高的明亮度和最低的黃色值，在外觀顏色上最為潔白。

(五) 莫札瑞拉起司的截切值(SF)

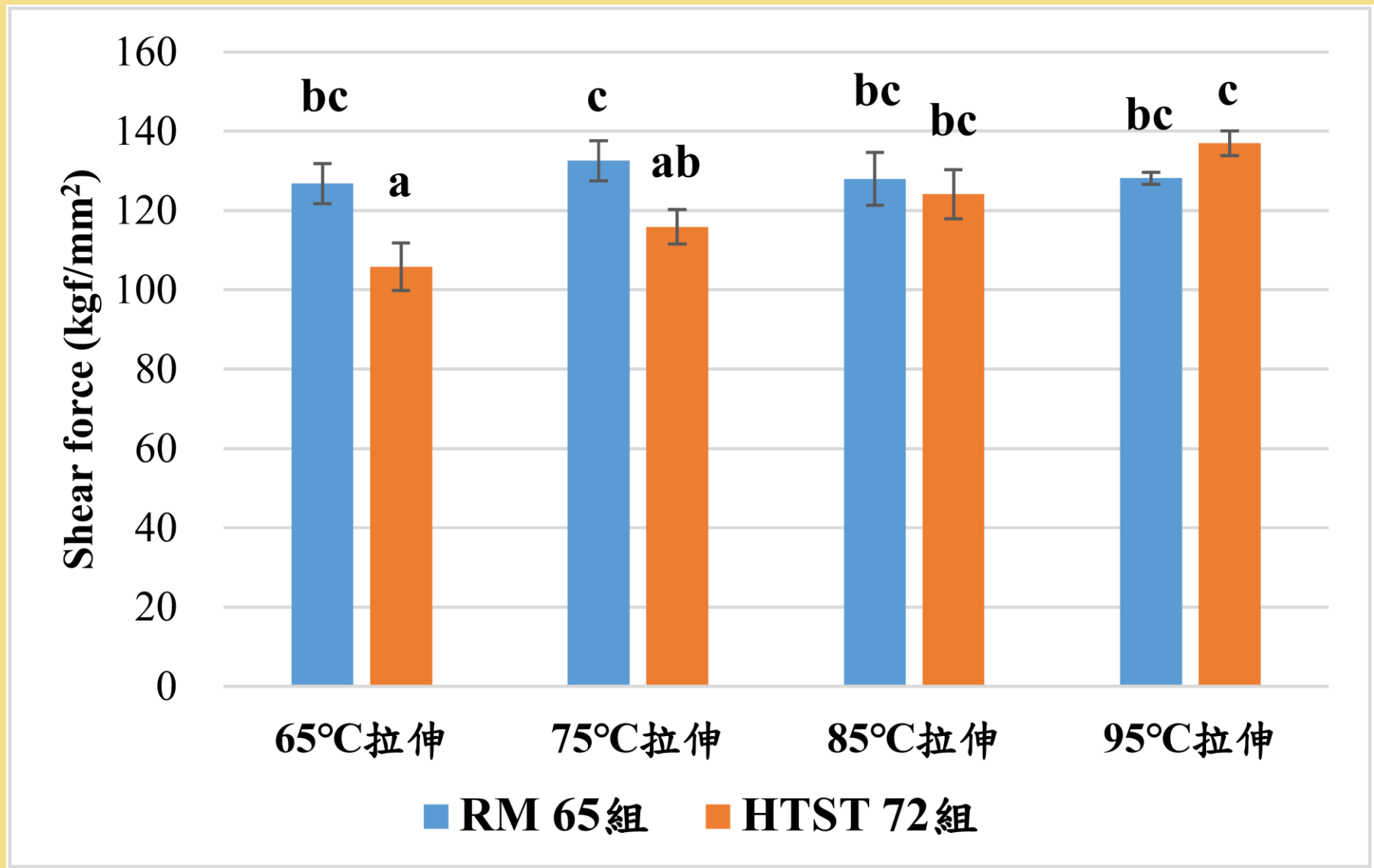


圖7 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的截切值

^{a-c}Different superscript letters indicate significantly differences. ($p<0.05$). Each bar presented as the means standard deviation(n=9)

- ★ RM 65組的截切值在不同拉伸溫度間無顯著差異，而HTST 72組則明顯隨拉伸溫度上升而提升，HTST 72/65組具有顯著最低的截切值。

表8 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的重量及製成率

處理組	乳清重(g)	起司重(g)	製成率(%)	在熟乳清中的拉伸狀況
RM 65/65	671.2±5.8 ^{bc}	103.5±6.1 ^{cd}	12.94±0.76 ^{cd}	稍微硬，較不易拉伸
RM 65/75	655.7±4.0 ^{ab}	111.0±2.0 ^d	13.88±0.25 ^d	拉伸狀態最好，不易斷
RM 65/85	663.7±8.1 ^{abc}	105.3±1.3 ^{cd}	13.17±0.16 ^{cd}	開始變軟，感覺快要融化
RM 65/95	680.3±3.8 ^c	99.7±2.9 ^{bcd}	12.46±0.37 ^{bcd}	質地非常軟，有點融化感
HTST 72/65	664.5±8.0 ^{abc}	102.5±3.0 ^{cd}	12.81±0.38 ^{cd}	有彈性，拉伸時有絮狀物
HTST 72/75	671.3±8.5 ^{bc}	99.0±4.4 ^{bc}	12.38±0.56 ^{bc}	有彈性，拉伸較容易
HTST 72/85	660.2±8.0 ^{ab}	89.7±5.8 ^{ab}	11.21±0.73 ^{ab}	質地變軟，拉伸狀態尚可
HTST 72/95	647.7±4.5 ^a	84.4±4.5 ^a	10.55±0.56 ^a	質地非常軟，已有融化感

^{a-d}Means numbers within the same column without the same superscript are significantly different($p<0.05$). n=3.

- ★ RM 65組起司的製成率隨拉伸溫度升高而上升，但RM 65/95組製成率反而最低。
- ★ HTST 72組起司製成率則隨拉伸溫度上升而明顯下降，其中HTST 72/95組數據顯著低於其他各組($p<0.05$)。

(四) 莫札瑞拉起司的質地剖面分析

- ★ RM 65組起司的pH值整體略高於HTST 72組，HTST 72組中各組pH值則無顯著差異，顯示拉伸溫度的不同對於起司成品的pH值無太大影響力。

(六) 莫札瑞拉起司的拉伸延展性測試

表11 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的質地剖面分析參數

處理組	硬度 (Hardness, g)	彈性 (Springiness)	黏聚性 (Cohesiveness)	膠著性 (Gumminess, g)	咀嚼性 (Chewiness, g)
RM 65/65	342.4±30.1 ^a	0.83±0.05 ^{ab}	0.80±0.01	273.1±24.3 ^a	228.1±27.9 ^a
RM 65/75	298.5±36.5 ^a	0.76±0.09 ^a	0.78±0.03	231.1±23.5 ^a	175.5±15.6 ^a
RM 65/85	396.5±10.9 ^{ab}	0.86±0.02 ^{abc}	0.80±0.01	316.4±4.6 ^{ab}	273.5±10.2 ^{abc}
RM 65/95	511.6±40.2 ^c	0.85±0.04 ^{abc}	0.77±0.06	393.9±59.7 ^b	338.1±67.9 ^{bc}
HTST 72/65	312.9±28.3 ^a	0.96±0.02 ^c	0.82±0.00	255.5±23.8 ^a	244.3±18.2 ^{ab}
HTST 72/75	468.2±44.3 ^{bc}	0.95±0.02 ^{bc}	0.82±0.01	384.0±38.5 ^b	365.9±39.8 ^c
HTST 72/85	616.8±32.9 ^d	0.95±0.01 ^{bc}	0.86±0.02	528.2±29.6 ^c	502.2±25.3 ^d
HTST 72/95	721.1±55.1 ^e	0.98±0.04 ^c	0.84±0.02	605.8±46.9 ^c	590.5±48.4 ^d

^{a-e}Means in the same row with different superscript letters differ significantly ($p<0.05$). n=9.

- ★ HTST 72組的硬度、膠著性和咀嚼性隨拉伸溫度上升而顯著增加，其中以HTST 72/65組與RM 65組整體有較接近的質地，柔軟富水分。

(六) 莫札瑞拉起司的拉伸延展性測試

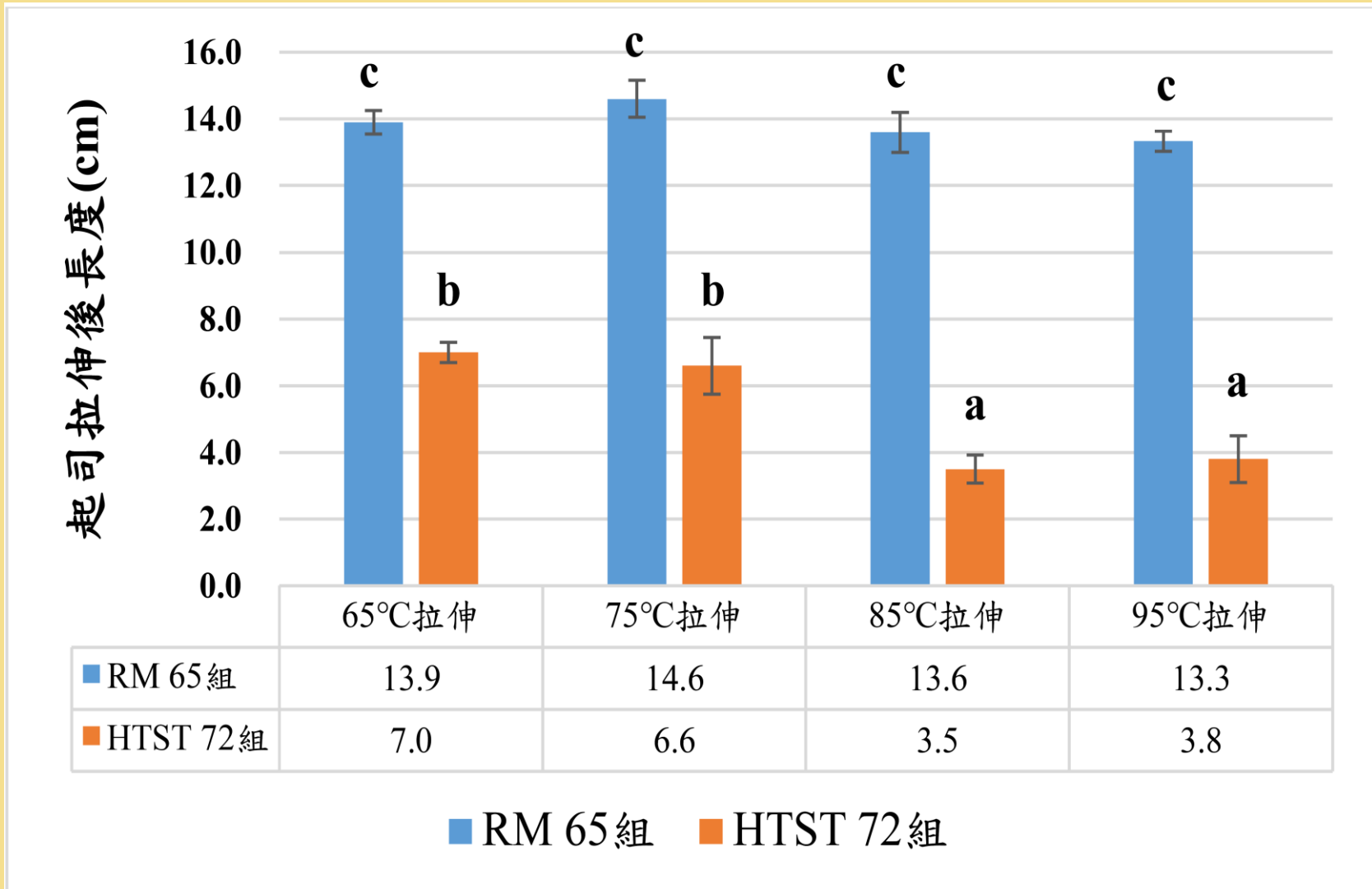


圖8 不同拉伸溫度所製之莫札瑞拉起司的拉伸延展性

^{a-c}Different superscript letters indicate significantly differences. ($p<0.05$). Each bar presented as the means standard deviation(n=3)

- ★ RM 65組起司拉伸程度顯著優於HTST 72組，其中以用75°C拉伸的組別最佳；HTST 72組間則以用65°C進行拉伸的組別為最佳。

結 論

- ★ 不同殺菌條件之原料乳製成的起司中，僅RM 65組和HTST 72組成品具拉伸延展性，其中RM 65組有顯著最高的製成率和含水率、顯著較低的TPA物性參數和截切值，而市售鮮乳中以HTST 72組在質地、色澤及感官品評表現上與RM 65組最為相似。以不同拉伸溫度製作莫札瑞拉起司時，HTST 72組起司中以HTST 72/65擁有較佳的製成率、外觀顏色、質地柔軟度和拉伸延展性。
- ★ 綜上所述，市售統一瑞穗極制鮮乳所製起司雖在質地及感官品評上不及生乳對照組，但仍可做為一般民眾自製莫札瑞拉起司時可輕易取得之乳源，並於不同拉伸溫度測試中證實以65°C乳清進行拉伸可獲得製成率較佳、質地柔軟且具拉伸延展性的產品，期望能為受到紐西蘭乳零關稅衝擊的國產鮮乳找到創新出路，拉動產業升級。