

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組生活與應用科學科

040802

花蓮縣慈濟大學附屬高級中學

指導老師姓名

康秉博

作者姓名

孫弘達

陳思尹

羅健豪

梁毓欣

AB 飛舞 ~ 增進家庭式優酪乳製程的效率

摘要

通常家中製作優酪乳採用靜置發酵方式，無法像實驗室或工廠中自動化攪拌、搖晃，所以往往出現乳清分離的現象，既不可口又不美觀。本研究欲解決這些困擾以提升品質，並試圖找出省時省能源的最佳發酵模式。首先探討各溫度下乳酸菌發酵情形，選定 45°C 水浴六小時為發酵條件。再設計特殊橡皮軟管以分析上下層優酪乳，證實靜置發酵會造成乳酸菌沉澱，下層酸度較高，甚至導致變性凝集。然後根據生物磁性原理，證實乳酸菌分布會偏向 N 極磁場。於是透過裝置上方 N 極磁力吸引，讓乳酸菌上下均勻分布，上層及下層優酪乳的酸度顯著提高，而本氏液分析也得知總體的糖分也減少，可見乳酸菌分解乳糖產生乳酸的效率提高，且因菌種沉澱造成的乳清分離現象獲得改善。本團隊根據實驗成果研發自製家庭式優酪乳發酵機，大幅提高發酵效率且能兼顧良好品質。

壹、研究動機

市面上優酪乳強調許多健康的訴求，明星們紛紛加入代言，已然成為最熱門的食品。但消基會提出市面上優酪乳糖分普遍過量的報告，讓原本想喝得健康的我們望之怯步。每天學校早餐常有剩下的牛奶，於是就有同學提議將牛乳製作成減糖優酪乳，甚至可以添加水果口味。

其實許多人都有在家中自製優酪乳的經驗，但也都有發酵後乳清分離的困擾。專業實驗室中有細菌培養機，能持續不斷地搖晃菌液，避免細菌沉澱，提高發酵的效率。然而一般家庭無法使用如此裝置。為達相同效果，引起我們研發家庭式自製優酪乳裝置的動機。

憶及工研院蘇宗榮處長有關奈米科技與生活的演講，播放科學家利用磁鐵吸引細菌的影片，說明奈米尺度的新特性之一 ~ 生物磁性。於是突發奇想，希望藉由磁力來改善乳酸菌沉澱的現象，讓「AB（菌）飛舞」。

貳、研究目的

- 一、證明在無外力影響下，優酪乳中乳酸菌會向下沉澱，造成上下層乳酸菌分布不均勻。
- 二、探討南北極磁力對乳酸菌分布的影響。
- 三、藉由上方磁鐵的吸引，改善乳酸菌的空間分布，增加發酵空間及養分利用，期達到最佳的發酵效果。
- 四、藉由檢驗優酪乳的酸鹼度、糖分濃度變化來證明以上假設。
- 五、根據以上研究結果所得之理論，自製家庭式優酪乳發酵機。

參、 實驗原理

一、**乳酸菌**：指藉由「乳酸發酵」分解牛乳中的「乳糖」產生「乳酸」的細菌。乳酸菌種類多，人體內乳酸菌多為嗜酸菌。本研究所採用的菌種為 A 菌 *Lactobacilli acidophilus* 及 B 菌 *Bifidobacterium lactis*，為市面上普遍廣泛使用的菌種。

二、**廣用試紙的功能**：廣用試紙由數種指示劑混合成的混合指示劑浸染而成，酸鹼度乃由紅橙黃綠藍各色連續變化而得，可準確地指出酸鹼度的強弱程度【pH1.0~11.0】。



三、**本氏液的功能**：本氏液十分靈敏，和還原糖共熱會產生氧化亞銅（ Cu_2O ）的紅色沉澱。還原糖含量由無至少至多，顏色變化：藍→綠→黃→橙→紅。



肆、 研究設備及器材

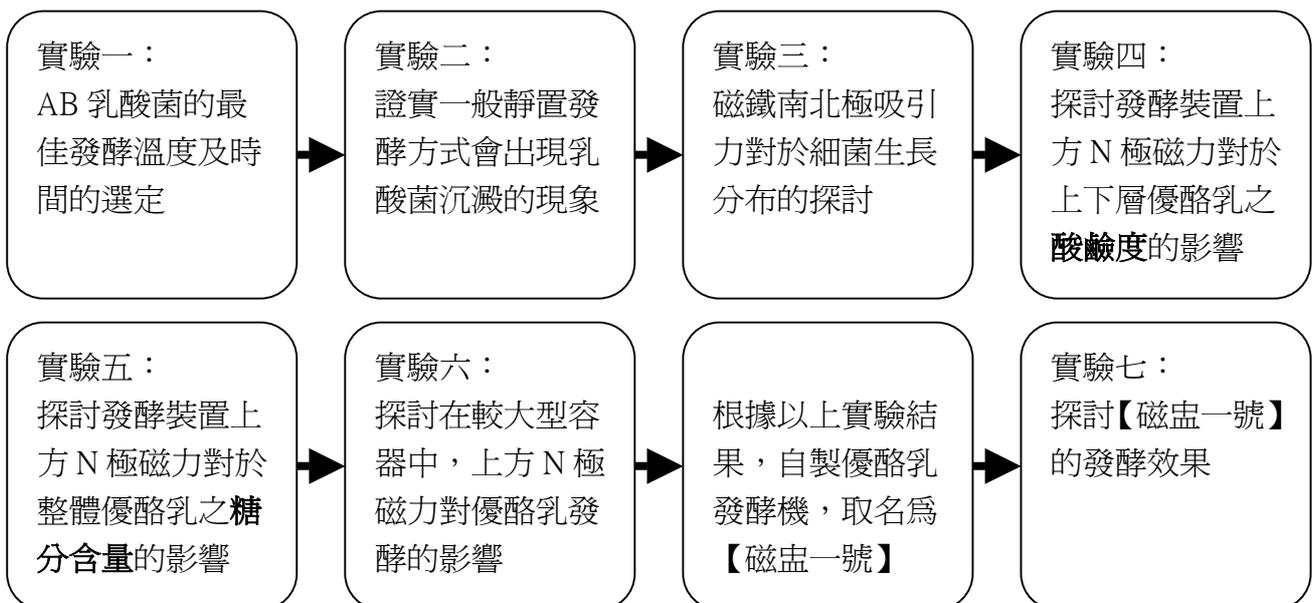
一、實驗設備：溫度計、加熱器、電子天秤、量桶、滴管、玻璃瓶、試管、燒杯、指南針。

二、實驗器材：橡皮軟管、橡皮筋、竹筷、磁鐵條、強力磁鐵、保鮮膜、喜餅鐵盒。

三、食品材料：市售統一 AB 優酪乳、克寧（全脂）奶粉、砂糖、RO 逆滲透純水。

四、實驗試劑（紙）：廣用試紙、本氏液。

伍、 實驗



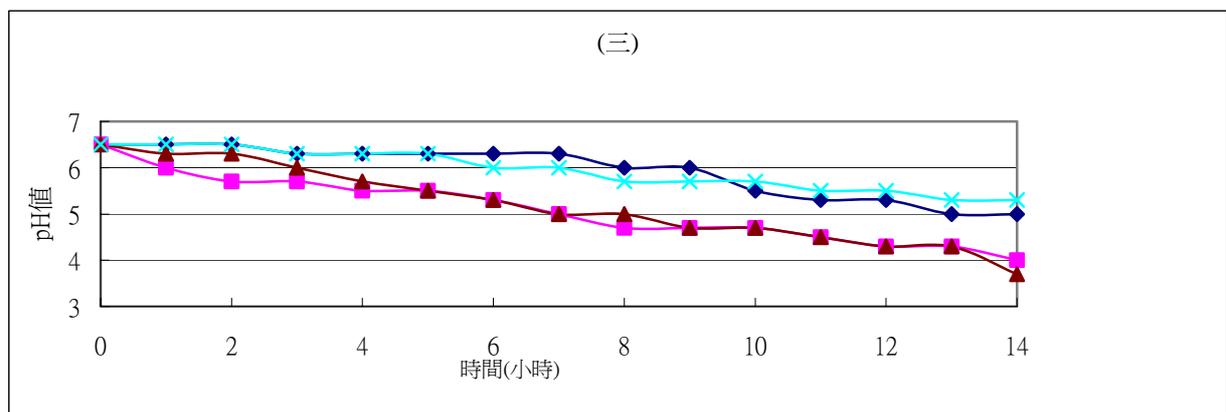
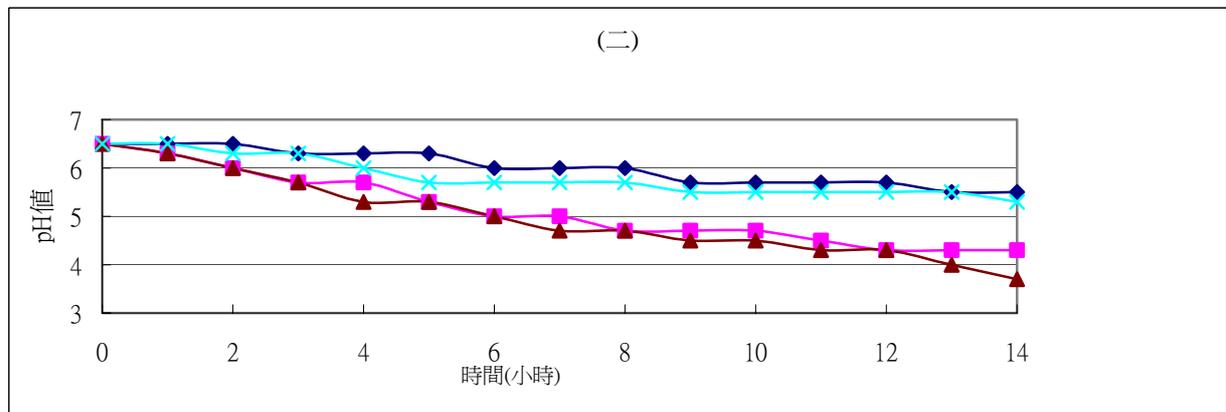
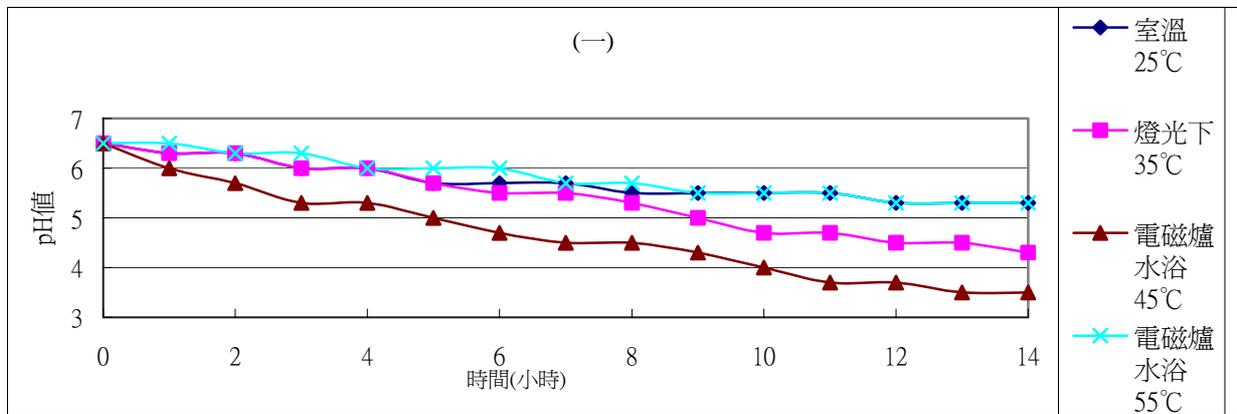
實驗一 本實驗乳酸菌之最佳發酵溫度及時間的探討

一、實驗方法

- (一) 沸水沖洗器具，確保無菌環境。保鮮膜包覆收納。
- (二) 調配初始優酪乳：
 - 奶粉 15 公克 + 砂糖 5 公克 + 純水 100ml + 市售 AB 優酪乳 3 ml。
- (三) 取 10ml 優酪乳至試管。保鮮膜輕覆管口。
- (四) 發酵溫度：25°C、35°C、45°C、55°C。
- (五) 檢測優酪乳酸鹼度變化。
- (六) 每小時為單位，記錄 1~14 小時。重複四次。

二、實驗結果

標題：優酪乳之酸鹼度變化 測量工具：廣用試紙 測量單位：酸鹼度 (pH值)



三、討論

(一) 探討優酪乳酸鹼度變化之意義

乳酸菌能夠進行乳酸發酵，將牛奶中的糖分分解成爲乳酸。因此透過偵測優酪乳中的酸鹼度，可以得知乳品中乳酸桿菌的生長情形及發酵狀況。本實驗所採用的菌種爲市售優酪乳中的A、B菌，均爲大小腸道內重要的有益菌，可以進行乳酸發酵產生乳酸，其造成酸性環境可增進礦物質的吸收。

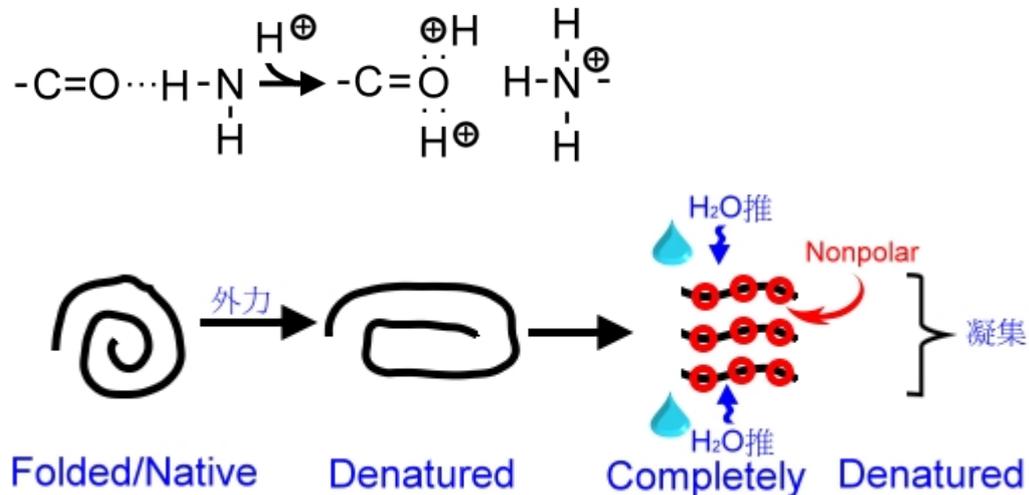
(二) 各環境下乳酸桿菌生長速度的探討

結果顯示，45°C水浴下優酪乳的發酵情形最快速，其次爲35°C的發酵環境，55°C水浴的發酵效果反而不好。查詢資料得知乳酸菌爲好中溫細菌，其最適生長溫度約爲43-45°C左右，與實驗結果吻合。

乳酸菌發酵效率受到溫度的影響，因爲乳酸菌內酵素的主要成分爲蛋白質，而蛋白質會受到環境的溫度及酸鹼度的影響。較高溫的環境能加快酵素反應速度，而若太高溫，蛋白質的功能也會受到抑制。

(三) 優酪乳外觀變化的探討

當45°C及35°C兩組優酪乳酸鹼度接近pH4.0時，開始出現凝集結塊的現象。查資料得知凝集的原因是牛奶蛋白質的穩定三級結構被過酸的環境破壞，非極性的胺基酸受到極性的水分子壓縮，致使蛋白質完全變性，形成凝集結塊的現象。



教科書也說明，乳酸菌的代謝廢物累積，環境酸度增加，反而會抑制乳酸菌的生長，甚至其它適合酸性環境的腐敗菌如酵母菌會取而代之大量生長。

(四) 選擇本實驗菌種的最佳發酵時間

測量市售優酪乳中的酸鹼度，其pH值大約爲4.0~5.0間。同時根據以上討論，爲避免蛋白質大量變性凝集，及防止其他腐敗菌滋生，擬以pH值5.0的標準來選擇實驗發酵的時間及溫度。

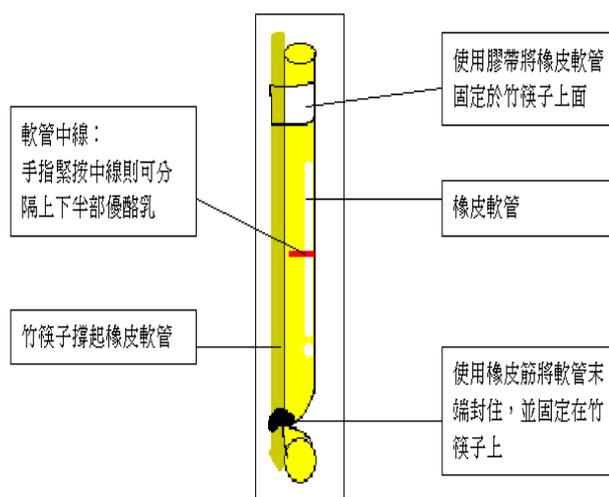
根據以上實驗結果及討論，以下的實驗皆擬定以45°C水浴六小時爲發酵條件。

實驗二 探討優酪乳靜置加溫發酵方式所造成乳酸菌向下沉澱的現象

一、實驗方法

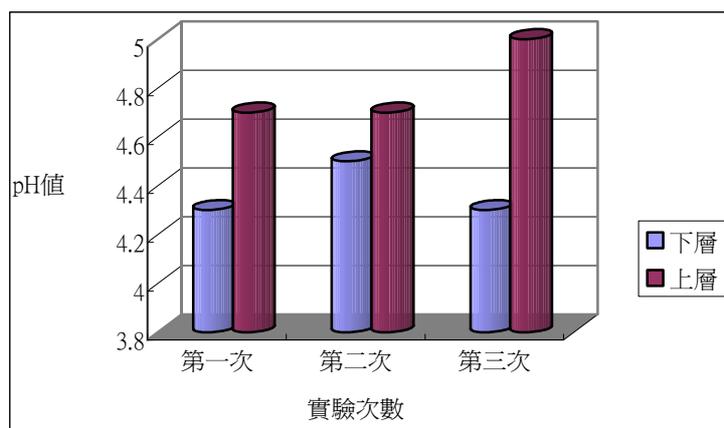
- (一) 製作特殊發酵橡皮軟管：取等長的竹筷及橡皮軟管，以橡皮筋緊綁一端。裝水測試不外漏！用膠帶將軟管與筷身固定，標示軟管高度中線。
- (二) 製備初始優酪乳，灌入特製橡皮軟管，保鮮膜輕覆試管口。垂直放入 45°C 水浴中，發酵六小時。
- (三) 緊按住軟管中線，將上層的優酪乳擠出，然後鬆開另一端，把下層的優酪乳擠出至另一根試管。
- (四) 檢驗上半部、下半部優酪乳的酸鹼度。重複實驗四次。

【附圖一】特製橡皮軟管 註：長：20 cm 管徑：8 mm



二、實驗結果

標題：上、下層優酪乳的酸鹼度 測量工具：廣用試紙 測量單位：酸鹼度 (pH值)



三、討論

(一) 優酪乳靜置發酵之沉澱情況的探討

由於乳酸菌進行乳酸發酵：分解乳糖產生乳酸。因此，根據優酪乳的酸鹼度 (pH 值)，可以推知該優酪乳發酵狀況。若優酪乳的 pH 值越低，則代表其乳酸菌進行乳酸發酵的效率越高。

根據結果顯示，上下兩層優酪乳液的酸鹼度確實有所差異。下層優酪乳的 pH 值低於上層優酪乳，顯示下層優酪乳呈現較酸性的現象，即乳酸含量較高，這與我們推論乳酸菌沉澱造成下層乳酸菌量較多的現象相符合。

(二) 特製橡皮軟管之實驗效果的探討

為能夠測量優酪乳上下兩層的發酵情況，我們嘗試各種發酵裝置及方法，例如試管及錐型瓶，結果成效均不彰，無法準確分離上下層優酪乳，實驗一度陷入瓶頸。後來我們從果汁冰棒的葫蘆曲線造型得到靈感，設計了特製橡皮軟管的裝置，才能有效檢驗上下兩層的優酪乳，這個突破讓我們重燃信心與希望。

實驗三 探討磁鐵南北極吸引力對於細菌生長分布的影響

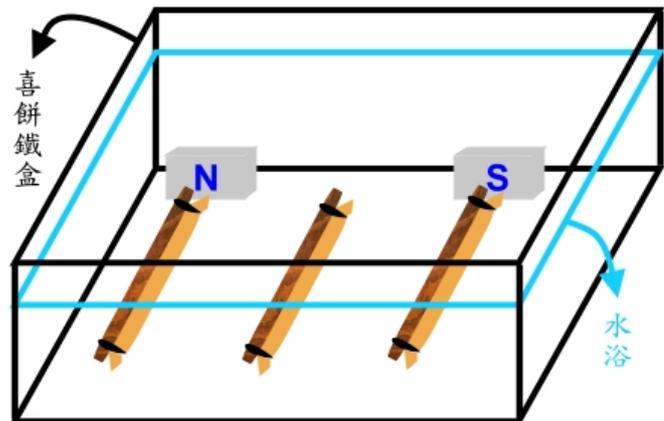
一、 實驗方法

(一) 製備初始優酪乳，灌入特製橡皮軟管。橡皮筋封口。

組別	控制組	實驗組 A	實驗組 B
磁鐵裝置	無	N 極吸引 右端	S 極吸引 右端
發酵	水平放入 45°C 水浴中，發酵六小時		

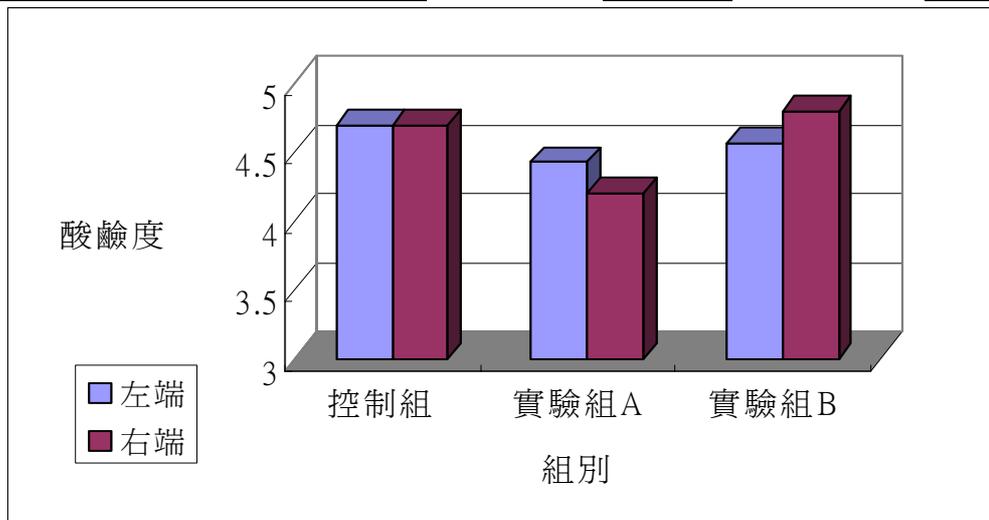
(二) 按住橡皮軟管中線，擠出軟管左、右半部的優酪乳至試管。

(三) 檢驗左右半部優酪乳酸鹼度。



二、 實驗結果

標題：橡皮軟管左右半部優酪乳的酸鹼度 測量工具：廣用試紙 測量單位：pH值



三、 討論

(一) 南北極磁力影響乳酸菌分布移動的分析

透過南北極磁力吸引橡皮軟管單邊的優酪乳，發酵後再依橡皮軟管將優酪乳分成左右兩部分，藉著乳酸的監控分析，可以探究乳酸菌的趨性，驗證生物磁性的現象。根據實驗組A結果可以發現，N極吸引該端的優酪乳中乳酸含量較高許多；而且另組實驗B發現，遠離S極的左端之酸鹼度低於右端。據此可知乳酸菌具有偏向N極移動分布的趨性。

(二) 乳酸菌往北極移動分布之趨性的應用

藉此實驗結論，後續的實驗將以N極磁力垂直地吸引正在發酵中的優酪乳，希望能吸引乳酸菌往上層分布，試圖減低因發酵瓶高度所造成菌種沉澱於下層的情況，以改善底層過酸所導致的結塊現象，並且增進優酪乳的發酵效率。

實驗四 探討發酵裝置上方 N 極磁力對於上下層優酪乳之酸鹼度的影響

一、實驗方法

(一) 初始優酪乳灌入特製橡皮軟管。

組別	控制組	實驗組
磁鐵	無	橡皮軟管上方包夾磁鐵條 (N 極朝內)
發酵	垂直放入 45°C 水浴，六小時	

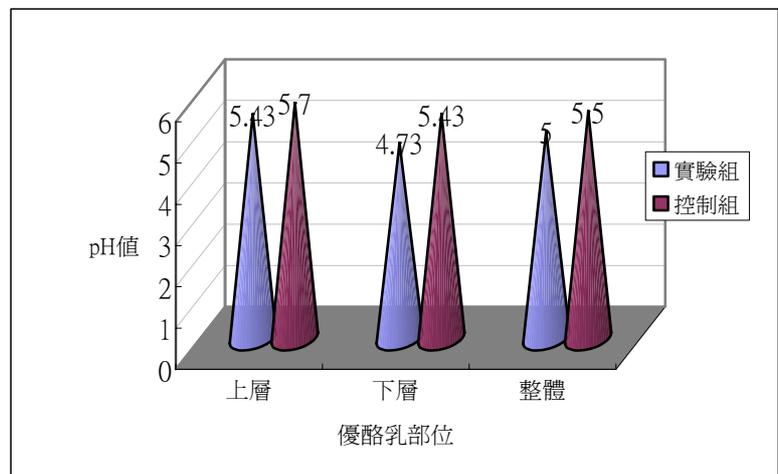
(二) 擠出上、下半部的優酪乳。各取上下半部優酪乳 1ml 混合，此為總體樣本。

標示	上層	下層	總體
處理	上半部優酪乳	下半部優酪乳	上下部混合

(三) 檢驗上層、下層、總體優酪乳的酸鹼度。重複四次。

二、實驗結果

標題：上層、下層及總體優酪乳的酸鹼度 測量工具：廣用試紙 測量單位：pH值



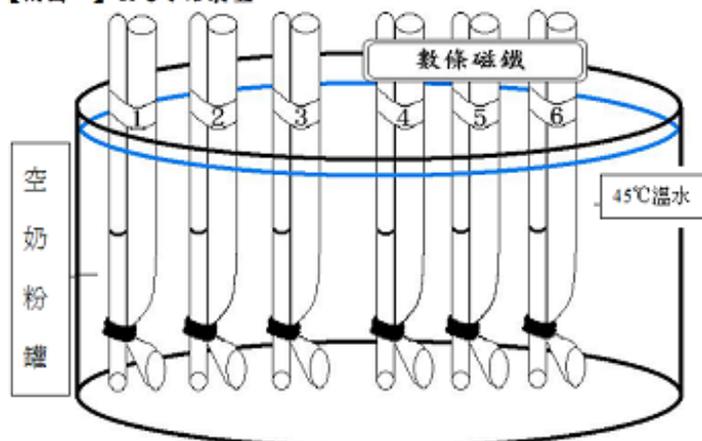
三、討論

(一) 裝置上方磁鐵對於優酪乳上層、下層、及總體的發酵情形

實驗組上層優酪乳的pH值較低，此現象可解釋為N極磁力吸引乳酸菌量往上層移動，而乳酸菌發酵後使得上層乳酸含量較高。

實驗組下層及總體優酪乳的pH值也比控制組較低，可見在磁力吸引下，上層的乳酸菌量增加，使得整體菌量分布均勻，所有細菌能夠充分獲得養分及空間。同時，也避免細菌集中下層，造成下層代謝物濃度高及環境過酸，反而抑制乳酸菌生長的現象。因此，整體的乳酸菌量都增加了。

【附圖二】45°C 水浴裝置



根據多次實驗結果，都可發現實驗組不論是上層、下層或總體的優酪乳，其pH值都低於控制組（無磁力影響）的pH值，顯示在N極磁力影響下，整體酸鹼度較酸，即乳酸含量較多，代表優酪乳的發酵效率較高。

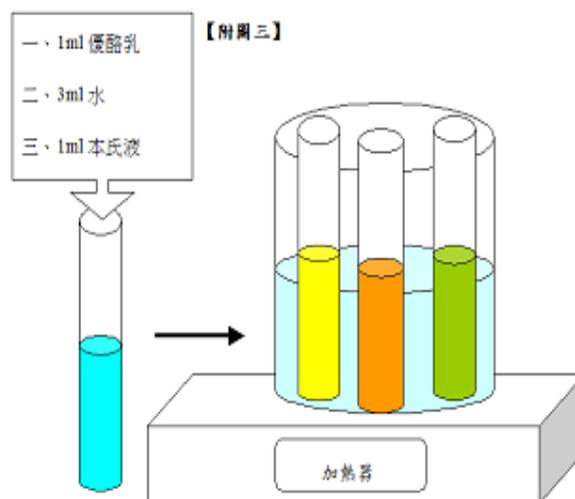
實驗五 探討發酵裝置上方 N 極磁力對於整體優酪乳之糖分含量的影響

一、實驗方法

(一) 初始優酪乳灌入特製橡皮軟管。

組別	控制組	實驗組
磁鐵	無	軟管上方貼 N 極磁鐵
發酵	垂直 45°C 水浴，六小時	

(三) 檢驗總體優酪乳的糖分含量：取優酪乳 1ml 至試管中，加入純水 3ml 以及本氏液 1ml，混合均勻，隔水加熱，觀察試管內顏色變化。



二、實驗結果

標題：整體優酪乳的糖分含量

測量試劑：本氏液；測量單位：藍→綠→黃→橙→紅

組別	控制組			實驗組		
狀態	未裝置磁鐵			橡皮軟管上方裝置磁鐵		
實驗次數	一	二	三	一	二	三
顏色敘述	黃色	黃橙色	黃橙色	黃綠色	黃綠色	黃綠色
顯示糖分濃度	多			少		



本氏液反應

左瓶實驗組：藍綠色，
剩餘糖分較少

右瓶控制組：黃橙色，
剩餘糖分較多

三、討論

- (一) 乳酸菌發酵時分解乳糖產生乳酸，所以根據優酪乳內的糖分變化，可推知該優酪乳的發酵狀況。若顯示糖分越低，則代表其乳酸菌整體進行乳酸發酵的效率越高。
- (二) 根據結果，控制組的顏色偏向黃橙色，即代表糖分的消耗率不高，可解釋為乳酸菌沉澱在下層，空間分佈不均，乳酸菌發酵效率差，消耗糖分較少。
- (三) 實驗組的優酪乳與本氏液反應後，顏色偏向藍綠色，表示乳糖被乳酸菌消耗得多，導致優酪乳中的糖分減少較快較多。推論為乳酸菌的空間分布較均勻，生長繁殖快速，所以整體菌量較多，優酪乳發酵效率較高。
- (四) 實驗五的研究結果完全印證實驗四的結果。

實驗六 探討在較大型容器中，上方 N 極磁力對優酪乳發酵的影響

一、實驗方法

- (一) 製備初始優酪乳，倒入大型玻璃瓶（275 ml）。
- (二) 實驗組瓶身上方包覆磁鐵條（左瓶），N 極朝內，佔瓶身 1/3 面積；控制組（右瓶）無磁鐵。
- (三) 放入 45°C 水浴，發酵六小時。
- (四) 觀察優酪乳外觀、色澤；檢驗優酪乳的酸鹼度。
- (五) 重複實驗四次。



二、實驗結果

標題：大型玻璃容器發酵之優酪乳的外觀及酸鹼度的觀察

測量工具：廣用試紙 測量單位：pH值

組別	控制組	實驗組
狀態	未裝置磁鐵	容器上方包覆磁鐵
1	外觀	塊狀，不均勻狀態 外層有一層水包圍
	色澤	呈現略黃色
	成形	不規則
2	試紙顏色	淡綠色略綠
	平均 pH 值	5.3
		4.3



左圖 控制組：
明顯乳清分離

右圖
左瓶控制組：
結塊、離水
右瓶實驗組：
乳色純白
無離水情況

三、討論

- (一) 生活經驗中常可發現裝盛豆漿的容器越大，沉澱現象往往會越明顯。同理可推論，若用大型培養瓶進行發酵實驗，乳酸菌分布不均的現象將更明顯。
- (二) 結果顯示，控制組出現較明顯的乳清分離情形，色澤偏黃，此為優酪乳內蛋白質受到不均勻的酸性環境影響，導致凝集結塊。
- (三) 若瓶身上方裝置N極磁鐵，則優酪乳成品的酸度較高，pH值大約為 4.3，接近一般市售優酪乳的酸度。液體色澤為乳白色，濃稠均勻，幾乎沒有離水的現象，顯見整體菌量和酸鹼度都很均勻。

實驗七 探討自製優酪乳發酵機【磁盅一號】的發酵效果

一、實驗方法

(一) 根據研究結果，研發改良式優酪乳發酵機！其特色為發酵機上方加裝強力磁鐵，因強力磁鐵具有更高的磁力作用，更能帶動細菌的空間分布，而且不耗費電源！作法是利用空奶粉鐵罐當作發酵槽，將強力磁鐵兩兩上下相吸固定在塑膠蓋上，此設計可以防止磁鐵互相吸引而脫落。再於塑膠蓋上加裝有把柄的蓋子。因本裝置利用磁鐵來改善發酵的品質，故取名【磁盅一號】。



圖 1 由左至右：牛奶瓶、發酵槽【磁盅一號】、磁鐵蓋（強力磁鐵 × 6）

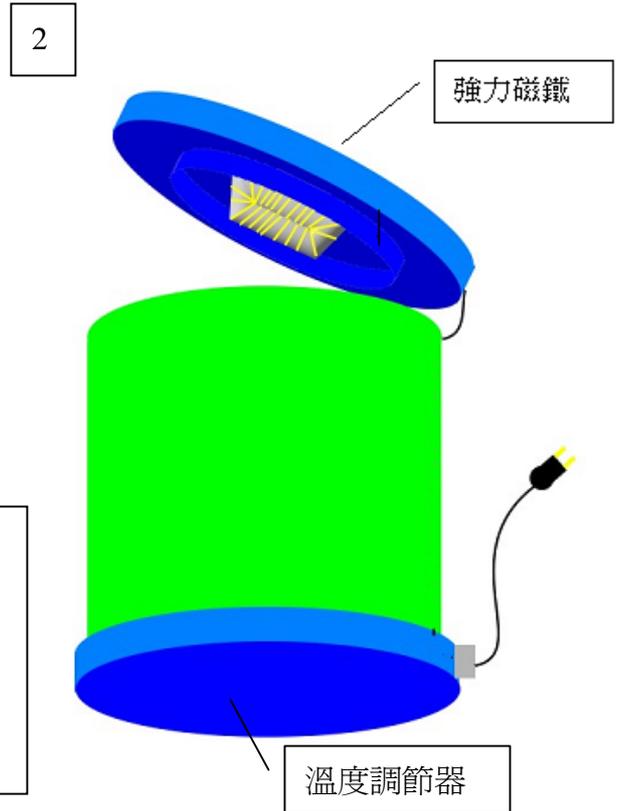
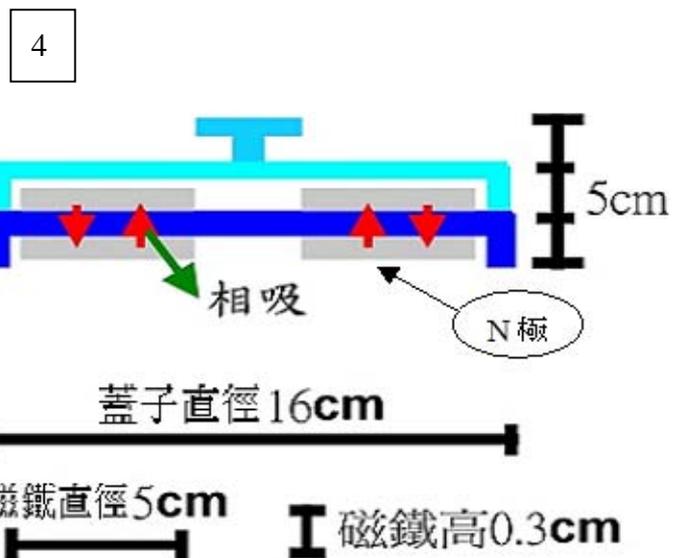
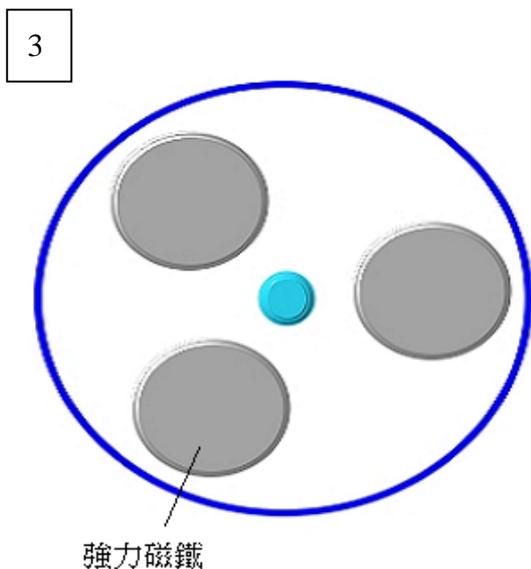


圖 2 磁盅一號裝上加熱器的設計圖

圖 3 磁鐵蓋（上空）縱面圖

圖 4 磁鐵蓋側面圖：磁鐵朝內為 N 極。



- (二) 製備初始優酪乳，倒入兩個大型玻璃瓶（275 ml）中。
- (三) 實驗組放入磁盅一號；控制組放入市售發酵機。
- (四) 發酵溫度均為 45°C，發酵六小時。
- (五) 觀察優酪乳外觀及色澤；檢驗優酪乳的酸鹼度。
- (六) 重複實驗十次。



二、 研究結果

標題：市售發酵機及【磁盅一號】發酵成品的比較

測量工具：廣用試紙 測量單位：酸鹼度 (pH值)

組別	市售發酵機	磁盅一號
狀態	45°C 水浴，發酵六小時	
1	外觀	外層有一層水包圍
	色澤	略黃色
	成形	外型不規則
	瓶身傾斜 觀察液面	液態水平 上層有許多淡黃色的水
2	試紙顏色	淡綠色
	平均 pH 值	5.0
		濃度均勻 白色濃稠狀 濃稠結實 液面凝結傾斜 黃色略綠 4.3



斜面觀察

左瓶控制組
乳清分離較嚴重

右瓶實驗組【磁盅一號】
濃稠紮實 無離水情況

三、 討論

(一) 探討磁力對於乳酸菌之影響

若優酪乳靜置發酵，乳酸菌受到重力影響，逐漸地往下沉澱，造成容器底部的菌量濃度較高，代謝物也集中於底層，於是底部會越來越酸。當環境過度酸性時，乳品中的蛋白質會變性凝集，乳酸菌的增殖也會受到抑制，腐敗菌開始滋生，吃了反而有害身體健康。

【磁盅一號】的強力磁鐵能吸引乳酸菌至上層，改善乳酸菌的空間分布，增加其養分及空間使用率。所以整體的酸鹼度很平均，蛋白質將不致變性凝集。使用【磁盅一號】不但快速方便，而且發酵出來的優酪乳品質令我們相當滿意。

(二) 應用於家庭之適切性

創新的發明總是建立在解決人類生活的痛苦與不方便上。以往在家做優酪乳，總是需要長時間等待，更遑論是乳清分離的困擾，目前即使市售的發酵機（靜置加溫）也無法完全解決凝集沉澱現象。除非使用類似實驗室搖晃裝置，或不斷地攪拌，但一般家庭是無法使用該設施的。

我們以器材方便取得、節省能源及不需花大錢的理念來設計【磁盅一號】。實驗結果發現如此裝置下，優酪乳發酵效果奇佳，大幅改善以往的缺點，令我們感到振奮。事實上，這些器材都是生活中唾手可得的，相信是可以普遍應用於一般家庭中，而且製作也很簡單，可行性相當高！

(三) 本產品結合生物、化學、物理的知識，符合生物科技的潮流

熱門的遺傳工程即利用細菌來製造原本在高等生物內才能產生的激素、酵素、抗體、干擾素等，以供醫學上的需要。因此對於細菌生長代謝的調控成爲重要的技術，細菌的量化、純化、篩檢及發酵都是研究的焦點。

陸、 結論

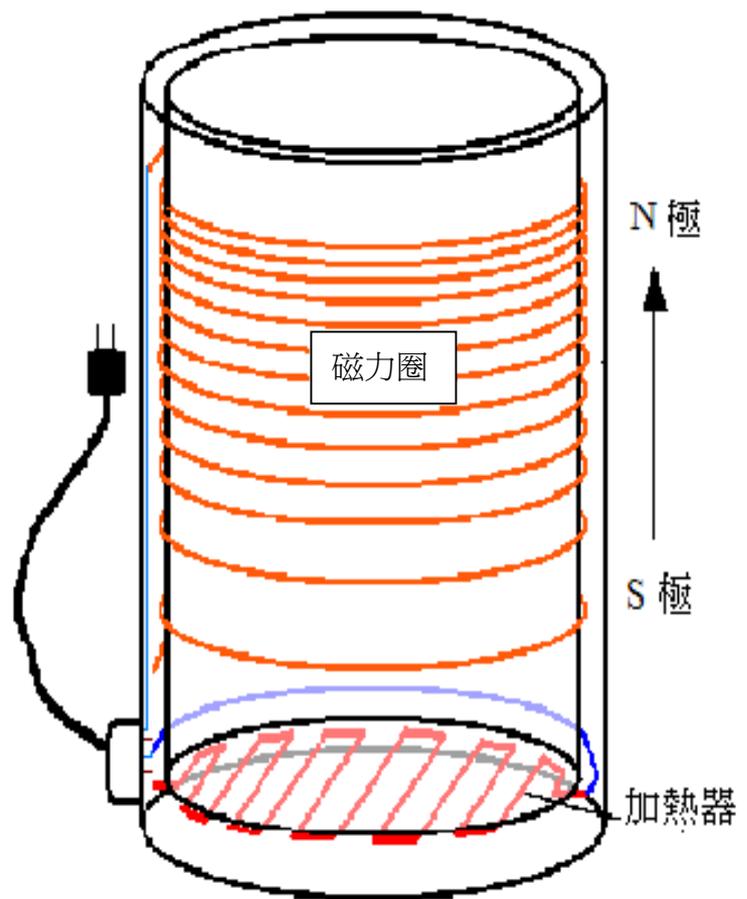
- 一、 一般家中靜置發酵的優酪乳確實會出現上、下層菌量分布不均勻的情況！乳酸菌沉澱至下層，酸性代謝物造成蛋白質凝集，並抑制了乳酸菌的發酵效率。而且通常我們會使用較大型容器來發酵，然而空間越大的容器，其乳酸菌沉澱底層的情況會更加顯著，乳清分離的現象令人困擾。
- 二、 本研究透過在發酵器上方裝置強力磁鐵（N 極朝內），結果證實的確能夠達到讓乳酸菌均勻分布的效果，改善以往結塊離水的情況。而且因爲乳酸菌能夠獲得充分的養分及空間，所以優酪乳的發酵效率和品質都提高了。
- 三、 未來只要選定該菌種適當的發酵溫度及時間（參考實驗一），而且在發酵容器的上方放置磁鐵，自己也能做出一杯「熱量剋星」、「濃純香」的優酪乳喔！
- 四、 使用【磁盅一號】也是很好的選擇！其製作器材容易取得，不必耗損大量能源，更不需花費大筆金錢，相信【磁盅一號】在家庭中的應用性及便利性相當高。
- 五、 【磁盅一號】是我們經歷長時間研發的心血，其基本架構已經完成，未來將再搭配溫度調節裝置，增加更多菌種的適用範圍，達成商品化的目標，並且申請專利。

柒、 延伸應用計畫：超大型優乳發酵機

經過重重實驗，終於成功研發適合家庭使用的【磁盞一號】。而我們也構思應用在大型發酵槽。

若於大型發酵槽上方加裝磁力裝置，恐怕無法吸引下方的乳酸菌。因此我們擬以電磁鐵原理賦予發酵槽南北極磁場，如此一來也能達成利用生物磁性的目的。

但此裝置耗電，不適合應用於家庭。目前我們尚無法實踐這個浩大的工程，未來將以此為研究方向。



捌、 參考資料

1. 光岡知足 酸乳酪健康法 初版 台北市 暖流 134-135 民 84
2. 林英子 南一版高中新超群基礎生物 新版 南一書局 70；104-105；110 民 92
3. 林英子 南一版高中新超群生命科學下冊 新版 南一書局 142；193-195；186-188 民 93
4. 楊冠政 生命科學（上） 再版 台北縣 龍騰文化 48-56 民 92
5. 細談乳酸菌 <http://www.slimall.com.tw/yogi-house/ogn09.htm>
6. 本氏液配方與反應原理 <http://www.education.ntu.edu.tw/biology/teach/resource28.htm>
7. pH值測定 http://study.tnit.edu.tw/teacher/chlin/new_page_12.htm

評語

040802 高中組生活與應用科學科 第一名

AB 飛舞—增進家庭式優酪乳製程的效率

本作品構想新穎，根據生物磁性原理，利用簡易磁鐵建立磁場，探討磁場對乳酸菌靜置發酵程序的影響。結論明確，並以之研發家庭式優酪乳製造機，學術實用兼具。