

屏東縣第 64 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國小組

作品名稱：豆漿吃醋了！鹹豆漿固形物產生因素之研究

關 鍵 詞：鹹豆漿、醋

編號：A3010

豆漿吃醋了！鹹豆漿固形物產生因素之研究

摘要

本研究利用各種酸鹼鹽類水溶液與豆漿反應後，藉由鹹豆漿固形物的產量與溶液 pH 值，探討鹹豆漿固形物產生的因素與合適的溶液配置比例。研究結果發現，引發豆漿產生固形物的因素包含酸、電解質與經高溫加熱後的豆漿，產生固形物最多的鹹豆漿 pH 值區間介於 3.7 至 4.5 之間，酸性溶液與豆漿混合配置的比例，以酸 9 鹼 1，能使豆漿產生最多的固形物。

壹、前言

一、研究動機

冷呼呼的冬天在中式早餐店來碗熱呼呼的鹹豆漿，想著全身就都暖起來了！

老闆上了一碗熱豆漿、一杯醋、一盤油條與蔥花，桌上的醬油就依口味自行取用。趁熱加了醋與醬油，豆漿瞬間產生了絮狀等大小不一的凝塊。看著液態的豆漿浮出了固體凝塊，如同自然課實驗一般的「加料」，瞬間變出我的早餐！

這一碗小小鹹豆漿液面下又有什麼樣特別的交互擾動呢？

自然課裡有學到，物質遇酸與鹼會產生不同的變化。食物中的蛋白質經過加熱後會因變性而凝固、遇酸鹼物質也會產生凝固，如同牛奶發酵蛋白質遇酸而凝固變成優酪乳一樣。

鹹豆漿的固形物僅是因為熱豆漿加入了醋（酸）而有凝固的現象嗎？在其他的酸鹼或電解質環境下是否也能產出固形物？

二、研究目的

- (一) 探討各種食用酸引發鹹豆漿固形物產生情形的效果差異。
- (二) 製作鹹豆漿過程中，豆漿及添加劑的添加序與固形物產量的關係。
- (三) 各種酸鹼性及鹽類（電解質）水溶液，對於產生鹹豆漿固形物的效果差異。
- (四) 酸性溶液與豆漿混合的配置比例，對於產生鹹豆漿固形物的效果差異。
- (五) 探討溫度與鹹豆漿固形物產量的相關性。

三、文獻回顧

(一) 歷屆科展作品比較：

參考來源	作品名稱	內容摘要	與本研究之相關性
第53屆中小學科展，化學科	少年起司的奇幻漂流	透過實驗操作了解酸、乳酸菌、凝固劑、加熱溫度牛奶與豆漿的凝乳特殊現象。	本研究針對豆漿與酸反應後鹹豆漿固形物與 pH 值間的關係作深入的探討與分析。
第42屆中小學科展，化學科	當我們「聚」在一起—談膠體溶液的凝析現象及應用	研究哪些因素會影響膠體溶液的凝析作用，造成膠體溶液凝析現的成因。	本研究加入電解質溶液及鹼性物質探討對鹹豆漿固形物產量可能的影響。

(二) 實驗原理與材料說明：

◆ 鹹豆漿固形物

蛋白質是由不同種類與數量的胺基酸所組成，故不同種類的蛋白質在不同的酸鹼值溶液中所帶的電荷不同。當特定的蛋白質在特定酸鹼值溶液中，其淨電荷為 0（正負電荷數量相等），該 pH 值稱為該蛋白質的等電點（Isoelectric Point, pI）。豆漿富大豆蛋白，其不同酸鹼值溶液中溶解度不同，而蛋白質在等電點時易產生蛋白質沉澱。一般豆漿的 pH 值約為 6.8~7.0，在此酸鹼值狀態下，大豆蛋白的靜電荷為負電；在加入酸之後，pH 值下降至大豆蛋白的等電點（pH=4.5），引發大豆蛋白沉澱結塊（取自動手做科學探究—白江起雲霧，p125）。

四、研究限制：

- (一) 考量本研究主體是可食用的豆漿，因此液體添加劑的取材擇日常易取得、可食用之特性之素材進行實驗。
- (二) 為豆漿取材與濃度一致性，本研究非使用自製豆漿進行實驗，而是考量無其他添加物的條件擇固定的市售無糖豆漿做為本研究的豆漿來源。

貳、研究設備及器材

- 一、原料：市售無糖豆漿、有機黃豆、工研醋、白醋、黑醋、醋精、糯米醋、烏梅汁、檸檬汁、柳丁、椪柑、鳳梨、鹽滷
- 二、化學藥劑：氯化鈣、氯化銨、氯化鈉
- 二、測量器材：pH 儀（精確度 $\pm 0.01\text{pH}$ ）、電子秤（精確度 ± 0.01 ）、100ml 量筒、1c.c.針筒
- 三、過濾：咖啡濾紙、漏斗
- 四、蒸乾：電鍋、玻璃培養皿
- 五、其它：豆漿研磨機

參、研究過程

一、探討各種食用酸引發鹹豆漿固形物產生情形的效果差異。

在中式早餐店來上一碗鹹豆漿時，加入黑醋的棕色豆漿具有結塊的固形物，吃起來酸酸的，我們可另依口味喜好加入醬油、蔥花。酸酸的黑醋鹹豆漿讓我們產生了以下的思考：

- ◆ 各種醋酸加入豆漿都會產生固形物嗎？
- ◆ 是酸性水溶液使鹹豆漿形成固形物嗎？那麼酸性果汁是否也會使豆漿產出固形物？

因此，我們決定測試不同的食用醋與酸性果汁，檢視是否酸性溶液都會造成鹹豆漿固形物（以下簡稱固形物），並且比較固形物產出結果的差異。

（一）研製固形物過濾秤重機制，以穩定測量固形物產量：

1. 製作固形物過濾器（以下簡稱過濾器）：

將咖啡濾紙放入漏斗中，讓固形物的水分能經由咖啡濾紙經漏斗底部流出、從濾紙表面蒸發。

2. 過濾固形物：

將裝盛有固形物的咖啡濾紙放在漏斗上，使水分流出，等水份停止滴下時，再予蒸乾，以減少乾燥時間。

3. 蒸乾秤重：

等過濾器水分不再流出，將過濾後殘留在濾紙上的鹹豆漿固形物連同濾紙放在玻璃皿上，一起放入電鍋中蒸乾水份再取出，移除玻璃皿後使用電子秤秤重，再扣除濾紙重量（0.99 公克），得出固形物重量。

使用過濾器濾出固形物



將所得固形物蒸乾秤重



（二）各種食用醋引發鹹豆漿產出固形物的效果差異。

【實驗一】食用醋引發鹹豆漿產出固形物情形

市面食用醋種類多，我們選擇常見、主成分類別不同的 5 種食醋做為添加劑進行實驗：

1. 使用材料：工研醋、白醋、黑醋、醋精、糯米醋、豆漿

2. 實驗過程：

(1) 豆漿加熱：比照早餐店使用熱豆漿進行實驗，將豆漿加熱至攝氏 55 度（以下均使用℃）。

(2) 食用醋加入熱豆漿：在裝有 30ml 熱豆漿的燒杯中，倒入 10ml 食用醋，靜置 2 分鐘後，整杯倒入過濾器，濾出水份。

(3) 固形物蒸乾秤重：濾得固形物後，使用電鍋蒸乾秤重，得出各種食用醋加入熱豆漿中的固形物產量。

(4) 每種食醋依據上述步驟(1)~(3)進行 3 次後，將所得數據平均後得出表 1 結果。

3. 實驗結果：

表 1 各類食用醋加入豆漿後固形物產量記錄表

各類食用醋	白醋	工研醋	糯米醋	黑醋	醋精
食用醋成份	水、糯米、食用酒精	水、米、食用酒精、果糖、	水、糯米、酒精	水、釀造醋、糖、鹽、洋蔥、濃縮柳橙汁...	水、食品級冰醋酸

各類食用醋	白醋	工研醋	糯米醋	黑醋	醋精
食用醋酸度	4.5%	4.5%	6%	1.8%	40%
食醋 pH 值	2.61	2.47	2.56	2.63	1.48
鹹豆漿 pH 值	4.01	3.96	3.81	4.32	2.95
固形物重量(g)	3.39	3.55	4.30	5.35	0.09
固形物產生情形	過濾後有明顯的固形物	過濾後有明顯的固形物	過濾後有明顯的固形物	過濾後有明顯黑色的固形物	微量固形物出現在濾紙的底部

從實驗結果發現，以同量（30ml）的熱豆漿搭配各類的食用醋，所得固形物產量以「黑醋」最多、「糯米醋」次之、其餘依次為工研醋、白醋，最少的是「醋精」。

各食用醋的「酸度」於其外包裝成分表上已有標示，參考「經濟部標準檢驗局」的 CNS 標準，食用醋的「酸度」是指「食用醋中的醋酸含量百分率」，意即「白醋酸度 4.5%」代表「每 100 毫升的白醋中有 4.5 毫升的醋酸」。

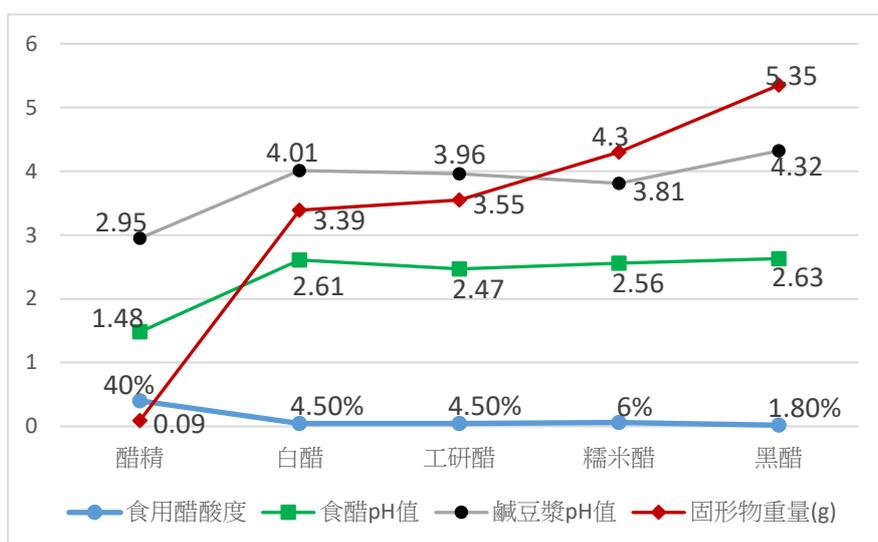


圖 1 食用醋成分與鹹豆漿固形物產量對照圖

細察各類食用醋成份性質和溶液 pH 值，並與固形物產量比較，我們發現以下情形（參照圖 1-食用醋成分與鹹豆漿固形物產量對照圖）：

1. 綜合比較各種食用醋成分：醋精成分最單純，僅水與冰醋酸；白醋、工研醋、糯米醋以「水、米、酒精」為共同成分，水與酒精均屬中性液體；黑醋添加物多，尤其多了濃縮柳橙汁與鹽，前者為酸性液體、後者為鹽類，二者均為電解質溶液。
2. 從「酸度」（醋酸含量）檢視固形物產量：加入同樣體積酸度最高（40%）的食用醋—醋精，竟只有 0.09 克的固形物產量；反而加入酸度最低（1.8%）的黑醋所得產生固形物最多，有 5.35 克產量。這樣的結果與我們的預期不同，竟然最高濃度的醋酸無法產生大量的固形物，反而是醋酸含量最低的「黑醋」所產生的固形物最多。
3. 食用醋 pH 值：使用 pH 值最小（最酸）的醋精產出的固形物並非最多，反而是其他 pH 值高於醋精的食用醋產生的固形物產量較多，它們的 pH 值都在 2.47 至 2.63 之間。
4. 鹹豆漿 pH 值：產出最多固形物的鹹豆漿 pH 值是 pH=5.35（黑醋鹹豆漿）與 pH=3.81（糯米醋鹹豆漿），而 pH=4.01 的白醋鹹豆漿其卻固形物少於成分相同、酸度較高 pH=3.81 的糯米醋鹹豆漿。

此外，在取得最終固形物的過程中我們也發現，醋精與豆漿混合後的固形物會塞住濾紙底部，不容易通過濾紙的孔隙，無法被濾紙過濾，把豆漿倒出來後發現有小顆粒。因此，我們認為，豆漿與醋精混合所產生的固形物顆粒比較大，不容易被濾紙過濾。

綜上，本實驗中的食用醋「醋酸濃度不同」、「成分不同（部分有非醋添加物）」，產生固形物的添加劑其 pH 值都在 2.47 至 2.63 之間；而且並非加入越酸的添加劑即可產生越多的固形物，黑醋中有許多各類添加物，尤其是較其他食用醋多了電解質液體，因此我們進一步思考，是否各種食用醋中有其他因素（例如：電解質）會影響固形物產量？是否會有造成固形物產量最多的 pH 值或 pH 值範圍或是最佳的豆漿與添加劑的混合比例？

（三）各種水果酸引發鹹豆漿產出固形物的效果差異。

早餐店的鹹豆漿是加入食用醋（醋酸）產生了固形物，而可食用的酸液不只有「醋」，若改為加入「水果酸」會同樣因為「酸」而產生固形物嗎？此外，在實驗一中，產出固形物最多的「黑醋」添加了柳橙汁，是否水果酸（例如：柳橙汁）能促進產生固形物？因此，我們嘗試將水果酸加入豆漿中，並將產生固形物的情形與實驗一（加入食用醋）的結果相比較。

【實驗二】水果酸引發鹹豆漿產出固形物的情形

為了取得水果酸，我們對於挑選哪些水果討論很久。包含「若酸性水果的 pH 值一樣，那麼要如何選擇？」、「挑很酸的水果嗎？」、「哪些水果比較好、要選幾種水果？」。最後，考量本實驗「水果酸」引發鹹豆漿產生固形物的情形，是要與「食用醋酸」引發的反應比較，因此我們挑選了幾種水果榨汁，並依據 pH 值選擇了不同的代表水果（例：烏梅汁 pH=2.95，代表 pH 近似 3 的水果汁）進行實驗，希望能依據水果酸的 pH 近似值範圍做為代表，說明水果酸引發固形物的產出結果，所選擇的果汁 pH 值分布於 2 至 5 之間。

表 2 各類水果汁 pH 值記錄表

果實	檸檬汁	烏梅汁	鳳梨汁	橘子汁	柳丁汁
果汁 pH	2.55	2.95	3.83	4.54	4.65
果汁 pH 近似值	2.6	3	3.8~4	4.5	4.7



圖 2 使用水果榨汁取得各類水果汁

1. 材料：檸檬、橘子、柳丁、鳳梨及烏梅汁（市售，原本以為很酸，成分含其他添加物）

2. 實驗過程：

(1) 取得水果酸：將水果榨汁後，各取出 50ml 原汁備用。

(2) 豆漿加熱：比照早餐店使用熱豆漿進行實驗，將豆漿加熱至 55°C。

(3) 水果酸加入熱豆漿：在裝有 30ml 毫升熱豆漿的燒杯中，倒入 10ml 各類水果酸，靜置 2 分鐘後，整杯倒入過濾器，濾出水份。

(4) 固形物蒸乾秤重，得出各種水果酸加入熱豆漿中的固形物產量。

(5) 各種果汁以上述步驟(1)~(4)量測 3 次，取 3 次固形物產量之平均值。

4. 實驗結果：

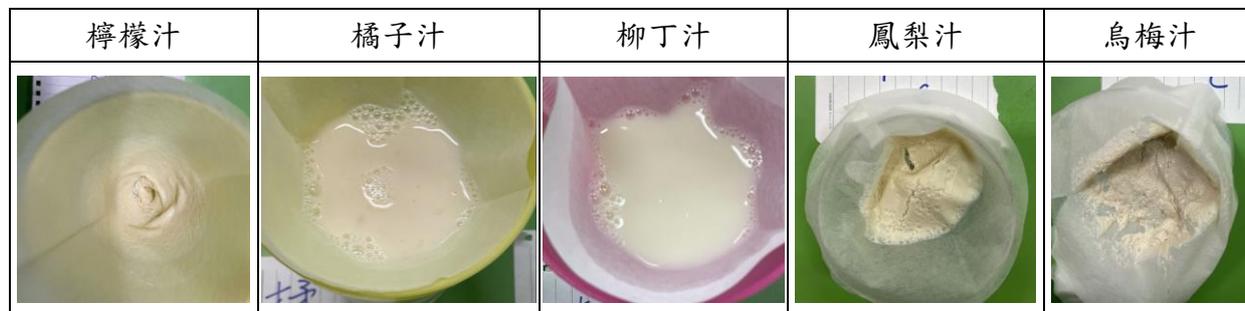


圖 3 使用水果汁產生鹹豆漿固形物情形

表 3 果汁 10ml 與熱豆漿 30ml 混合所得固形物產量記錄表

項次	水果酸	pH 值	鹹豆漿 pH 值	固形物重量 g	固形物產生情形
1	檸檬汁	2.55	3.39	1.04	有少量細小的固形物，流速慢，要長時間才能將固形物完全分離。過濾完的水質不清澈
2	橘子汁	4.54	5.24	2.49	有少量細小的固形物，流速慢，要長時間才能將固形物完全分離。過濾完的水質不清澈
3	柳丁汁	4.65	6.14	1.00	有固形物，會卡住，無法完全過濾。有過濾在杯底的是豆漿。濾紙過濾後，燒杯裡還是有固形物。有 2 杯豆漿完全通過濾紙，沒有固形物。有一杯需要重複過濾。
4	鳳梨汁	3.83	5.81	1.32	流速快，有明顯的固形物，固形物可以較快的完全分離，固形物比烏梅綿密。
5	烏梅汁 (含其他成份)	2.95	5.17	1.89	流速快，有明顯的固形物，固形物可以較快的完全分離，固形物綿密有較多氣泡、氣孔。

使用各種水果酸加入 55°C 的熱豆漿中，也會產生固形物，而且產生固形物最多的水果酸是「橘子汁」，其次依序為「烏梅汁>鳳梨汁>檸檬汁>柳丁汁」。為了與實驗一的結果比較，我們也將水果酸產生的固形物重量依據其酸鹼值 (pH) 的排序做成如下對照表 4：

表 4 水果酸與食用醋產生固形物之溶液酸鹼值記錄表

酸液	醋精	白醋	工研醋	糯米醋	黑醋	柳丁汁	檸檬汁	鳳梨汁	烏梅汁	橘子汁
分類類	醋酸					水果酸				
酸液 pH	1.48	2.61	2.47	2.56	2.63	4.7	2.6	3.9	3	4.5
鹹豆漿 pH 值	2.95	4.01	3.96	3.81	4.32	6.14	3.39	5.81	5.17	5.24
固形物重量	0.09	3.39	3.55	4.30	5.35	1.00	1.04	1.32	1.89	2.49
平均重量	4.14g (醋精產量差異過大，捨去不計)					1.55g				

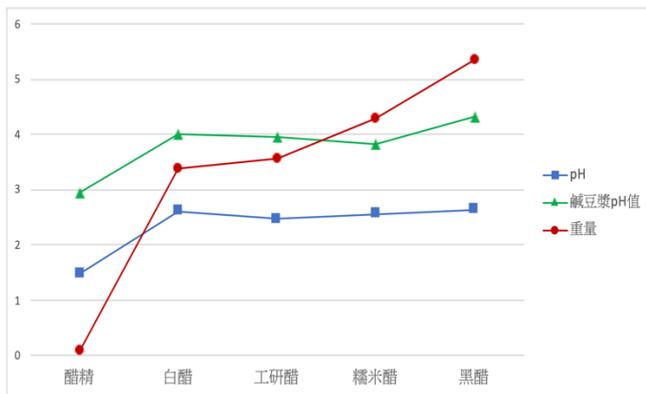


圖 4-a 食醋鹹豆漿 pH 值與重量關係圖

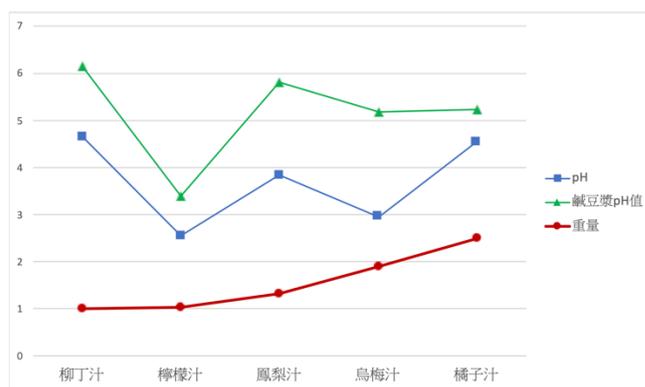


圖 4-b 水果酸鹹豆漿 pH 值與重量關係圖

從表 4 的對照比較可以發現，所選用的水果酸的 pH 值等於或高於所選用的醋酸，其所產生的固形物平均重量比食用醋輕，其中能產生最多固形物的是 pH 值 4.54 的「橘子汁」，產出固形物的重量是 2.49g；表 4 中 5 種水果酸的固形物平均產量為 1.55g，而 4 種食用醋酸的平均產量為 4.14g（醋精的固形物產量過少，略去不計），遠高於水果酸的固形物產量，因此，整體而言，食用醋在產生固形物方面比水果酸能有更好凝聚情形。

與食用醋取得固形物的過濾方式相同，在水果酸加入豆漿產生固形物的過濾過程中我們也發現，過濾鳳梨汁與烏梅汁時，溶液的流速快；而過濾橘子汁、檸檬汁、柳丁汁的流速都很慢，尤其檸檬、柳丁與豆漿混合後變得較濃稠，容易堵住濾紙。過濾後、蒸乾前，是烏梅汁、鳳梨汁看起來的固形物較多，而蒸乾後卻是橘子汁產生的固形物最多。

因此我們認為，不同水果酸與豆漿作用產生的固形物顆粒大小不同，其中鳳梨汁與烏梅汁產生的固形物顆粒最小，因此容易讓水分通過濾紙、留下固形物。而過濾橘子汁、檸檬汁、柳丁汁的流速很慢，顯然其固形物顆粒比較大，容易堵住濾紙孔隙；蒸乾後橘子汁的固形物最多，顯見橘子汁的固形物都堵住濾紙了，要等水分蒸乾後才能獲得確實的重量。

綜合實驗一與實驗二的結果，醋酸與水果酸都是酸性液體，都能產生固形物，使用食用醋酸加入豆漿所獲固形物產量明顯高於水果酸（效果較好），並且無論是醋酸或水果酸，與豆漿作用產生的固形物顆粒大小不同，使得溶液過濾的速度不同。

此外，從圖 4-a 發現，食醋鹹豆漿酸鹼值在接近 pH=4 時，固形物產量都很多（3.4g 以上），而醋精鹹豆漿 pH 值不到 3，固形物產量極微少，似乎並非越酸的添加物（或越酸的鹹豆漿）固形物產量就越多；從圖 4-b 發現，水果酸鹹豆漿的固形物產量（2.5g 以下）均低於食醋鹹豆漿，其 pH 值不是高於 5 就是低於 4（接近 3），沒有接近 4 者。因此從圖 4-a 與圖 4-b 可知，造成固形物產量多的鹹豆漿 pH 值應該有其範圍，並非越酸的添加劑能增加固形物產量，並且可能是在接近 4 的區間範圍。

很特別的是，pH 值幾近相同為 2.6 的「黑醋」、「白醋」與「檸檬汁」，其固形物產量差異甚大，黑醋的固形物產量卻遠多於檸檬汁達 4.31g（5.35g^{黑醋} - 1.04g^{檸檬汁}），並且黑醋的固形物產量也頗高於白醋（相差 1.96g），我們不禁疑惑，是因為黑醋中的添加物造成的嗎？

二、製成鹹豆漿過程中，豆漿及添加劑的添加序與固形物產量的關係。

在上述實驗的過程中，我們不斷有「把酸液加入豆漿」還是「把豆漿加入酸液」的爭執。

但是為了保留早餐店鹹豆漿的做法（減少變異因子），實驗仍然維持「將酸液加入豆漿」的早餐店模式。然而，為了後續實驗穩定一致，我們決定先釐清有效產出固形物的液體添加序。

【實驗三】比較「將醋加入豆漿」與「將豆漿加入醋」的固形物產量差異

1. 使用材料：熱豆漿、黑醋、糯米醋。

為保障獲得明顯足量的固形物以進行比較，我們選擇研究一中固形物產量最多的「黑醋」與「糯米醋」進行實驗。

2. 實驗過程：

(1) 豆漿加熱：比照早餐店使用熱豆漿進行實驗，將豆漿加熱至 55 度。

(2) 食用醋加入熱豆漿：在裝有 30ml 毫升熱豆漿的燒杯中，倒入 10ml 食用醋，靜置 2 分鐘後，整杯倒入過濾器，濾出水份。

(3) 熱豆漿加入食用醋：在裝有 10ml 毫升食用醋的燒杯中，倒入 30ml 熱豆漿，靜置 2 分鐘後，整杯倒入過濾器，濾出水份。

(4) 固形物蒸乾秤重：等上述 2 種添加序的混合溶液（共 4 杯）的過濾器水分不再流出，使用電鍋蒸乾後秤重，重複實驗 3 次，記錄並觀察不同添加序的固形物產生結果。

3. 實驗結果：

(1) 醋液倒入熱豆漿：

- ◆ 熱豆漿：準備 30ml、溫度 55°C 的熱豆漿，量得 pH 值 = 7。
- ◆ 分別將 10ml 的烏醋、糯米醋倒入上述 30ml 的熱豆漿後，結果如下：

表 5 醋液倒入熱豆漿的固形物產量記錄表

添加劑	液量	pH	固形物產量	混合情形記錄
烏醋	10ml	2.63	2.21(g)	流速快，結塊速度快，混合後的固形物顏色像奶茶，可以完全分離出固形物，過濾後的液體淺褐色。
糯米醋	10ml	2.56	2.20(g)	流速快，結塊速度快，混合後固形物白色，過濾後的液體透明清澈。

(2) 熱豆漿倒入醋液：

- ◆ 熱豆漿：準備 30ml、溫度 55°C 的熱豆漿，量得 pH 值 = 7。
- ◆ 將上述熱豆漿各 30ml 分別倒入 10ml 的烏醋、糯米醋後，結果如下：

表 6 熱豆漿倒入醋液的固形物產量記錄表

添加劑	液量	pH	固形物產量	混合情形記錄
烏醋	10ml	2.63	1.79(g)	固形物成形速度快、過濾流速快。豆漿倒入烏醋時會有固形物、烏醋的分層。烏醋鹹豆漿過濾後的液體是黃褐色。
糯米醋	10ml	2.56	2.06(g)	固形物成形速度快、過濾流速快。糯米醋鹹豆漿過濾後的液體較清澈。

比較同量「食用醋加入熱豆漿」與「熱豆漿加入食用醋」二種方式的固形物產生結果，將二種方式、各 3 次實驗所得固形物重量平均後發現，「食用醋加入熱豆漿」比「熱豆漿加入食用醋」的固形物產量稍多；並且無論哪種方式，固形物的成形速度快、過濾速度快，濾得的液體清澈透明，沒有豆漿的顏色。

考量「食用醋加入熱豆漿」的固形物產出較明顯，因此後續實驗我們均採此方式進行。

三、各種酸鹼性及鹽類（電解質）水溶液，對於鹹豆漿產出固形物的效果差異。

依據研究一的結果，我們知道酸性的食用醋、水果酸能使豆漿產生固形物，並且使用食用醋能產出比水果酸更多的固形物。而食用醋中的黑醋、白醋與檸檬汁 pH 值幾乎相同，黑醋固形物產量卻遠高於檸檬汁。

細察黑醋的成分添加物包含「水、釀造醋、糖、鹽、洋蔥、濃縮柳橙汁、番茄糊、胡蘿蔔濃縮汁、大茴、小茴、芹菜籽」，我們不禁思考影響豆漿產生固形物的添加劑性質，是否因「酸鹼性」或是「電解質」所造成。

將黑醋中的成份分類，大致可分為「水、醋、糖、鹽、菜汁、果汁、香料籽」，其中「水、糖水」是中性液體、「柳橙汁、醋」是酸性液體、「鹽水」為中性鹽類水溶液、菜汁則依據土壤種植的酸鹼度，其 pH 值估計接近 5.6 至 7.5 間；而。依據「食品安全衛生管理法」第 22 條「食品內容物名稱為二種以上混合物時，應依其含量多寡由高至低分別標示之」，因此黑醋中 12 種內容物，含量最高的半數（前 6 項）成分以「酸」、「鹽類」為主，其中「鹽類」是黑醋與檸檬汁最大的成分差異。

綜上，我們猜測「鹽類」是否與「酸」同為使豆漿產生固形物的因子，才使得研究一中具幾近相同 pH 值(2.6)的黑醋、白醋與檸檬汁，有固形物產量的差異(黑醋>白醋>檸檬汁)。因此我們想比較「酸性、鹼性、鹽類水溶液」引發豆漿產生固形物的情形差異，但考量酸性水溶液的實驗已經在實驗一完成，因此以下實驗針對「鹼性水溶液」與「鹽類水溶液」進行，再與研究一中「酸性水溶液」的實驗結果一起比較。

(一) 鹼性溶液引發鹹豆漿產出固形物的效果。

【實驗四】不同鹼性溶液與豆漿混合情形

1. 使用材料：豆漿及鹼性溶液（常溫漂白水、洗衣精、小蘇打水）。

(1) 豆漿：自冰箱中取出溫度 12.2°C 的豆漿，分裝為 3 杯各 30ml 的豆漿備用。

(2) 鹼性溶液：分別製備濃度 25% 的常溫漂白水、洗衣精、小蘇打水，分別分裝為各 10ml 備用。

2. 實驗過程：

(1) 測量豆漿、漂白水、洗衣精、小蘇打水的 pH 值。

(2) 將鹼性溶液分別加入豆漿：在裝有 30ml 毫升冰豆漿的燒杯中，倒入 10ml 各類鹼性溶液，靜置 2 分鐘，測量鹹豆漿 pH 值後，整杯倒入過濾器，濾出水份。

3. 實驗結果

表 7 不同鹼性水溶液與豆漿混合結果一覽表

鹼性液	鹼性液 pH 值	鹼液加豆漿後溶液 pH 值	固形物產生的情形
漂白水	12.69	11.99	沒有形成固形物
洗衣精	9.37	7.9	有泡泡，沒有形成固形物
小蘇打水	8.10	8.4	溶液流過篩網，沒有形成固形物

很明顯的，pH 值高於 7 的鹼性溶液無法使豆漿形成固形物，因此「鹼性水溶液」並非造成豆漿產生固形物的因子。

(二) 鹽類溶液引發鹹豆漿產出固形物的效果。

【實驗五】不同鹽類溶液與豆漿混合情形

1. 使用材料：熱豆漿及電解質溶液。

(1) 豆漿：自冰箱中取出溫度 12.2°C 的豆漿，分裝為 3 杯各 30ml 的豆漿備用。

(2) 鹽類溶液：分別製備濃度 25% 的常溫食鹽水溶液、氯化銨水溶液、氯化鈣水溶液（取 5g 食鹽、氯化銨、氯化鈣加入 15ml 純水攪拌混合，使成分完全溶解於水中）、另取鹽鹵 10ml 備用。

2. 實驗過程：

(1) 分別測量食鹽水溶液、氯化銨水溶液、氯化鈣水溶液、鹽鹵的 pH 值。

(2) 將鹽類溶液分別加入豆漿：在裝有 30ml 豆漿的燒杯中，分別倒入 10ml 鹽類溶液，靜置 2 分鐘，測量鹹豆漿 pH 值後，整杯倒入過濾器，濾出水份。

3. 實驗結果

表 8 不同鹽類水溶液與豆漿混合結果記錄表

鹽類溶液	鹽類溶液 pH 值	鹽類溶液 加豆漿後 pH 值	固形物產生的情形
食鹽	5.97	6.42	有白色微量極細小不明顯的固形物
鹽鹵	6.57	6.09	有微量細小像細沙的固形物，但不明顯。
氯化銨	5.44	6.38	有白色微量細小像細沙的固形物
氯化鈣	9.64	7.31	晾乾後有白色微量細小像結晶的固形物

各種鹽類溶液的 pH 值都在 5.4 以上，加入豆漿後溶液 pH 值在 6 至 7.5 之間，都能產生白色細沙般的固形物，很微小，其中以氯化銨的細沙固形物最明顯。由於鹽類溶液使豆漿產生固形物的實驗結果比鹼性水溶液更明顯，因此判斷鹽類溶於水所產生的「電解質」也是能影響豆漿產生固形物的因素之一。

比較研究一與本實驗結果，我們選擇使豆漿明顯產生固形物的酸類、鹽類，依據固形物產量由高至低排序，考量電解質水溶液的特徵是具帶電離子，因此我們也加入主成分化學式，得出下表 9（鹼類添加劑未使豆漿產出固形物，故不列入）：

表 9 鹽類、酸性水溶液分別與豆漿混合所得固形物產量記錄表

添加劑	種類	主要成份	pH	鹹豆漿 pH 值	固形物重量
黑醋	酸	CH ₃ COO ⁻ 、H ⁺	2.63	4.32	5.35
糯米醋	酸		2.56	3.81	4.30
工研醋	酸		2.47	3.96	3.55
白醋	酸		2.61	4.01	3.39
橘子汁	酸	C ₆ H ₈ O ₇ ⇌H ⁺ C ₆ H ₇ O ₇ ⁻	4.26	5.24	2.49
氯化銨	電解質	NH ₄ ⁺ 、Cl ⁻	5.44	6.38	微少
食鹽	電解質	Na ⁺ 、Cl ⁻	6.99	6.42	微少
氯化鈣	電解質	Ca ²⁺ 、Cl ⁻	9.29	5.71	微少
鹽鹵	電解質	Mg ²⁺ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、K ⁺ 、... (海水蒸發冷卻析出)	7.95	6.07	微少

從表中可發現，酸性添加劑的 pH 值低，引發固形物產量高，造成產量主要的酸液 pH 值在 2.3 至 3 之間、混合後鹹豆漿 pH 在 3.7~4.5 之間；而鹽類溶液較鹼性溶液能產生固形物，只是產量微少，雖然其 pH 值與鹼性溶液類似，介於 5~10 之間，但加入豆漿後 pH 值落在 5~6.5 之間，接近中性，卻仍然能產生固形物。

承上，酸、鹼、鹽類溶液均屬電解質水溶液，在水中溶解都能產生帶電離子，pH 值排序為「鹼性溶液>鹽類溶液>酸性溶液」，而其中只有後二者能產生固形物，產量排序為「酸性溶液>鹽類溶液>鹼性溶液」。因此我們認為，「酸性」是使豆漿產生固形物的主要原因，酸性溶液所製的鹹豆漿降低了原本豆漿的 pH 值，也因此鹼性溶液無法使豆漿產生固形物；而電解質水溶液的「帶電離子」則發揮「助攻」的效果，雖然其能降低原本豆漿的 pH 值不多，但是其中所含的帶電離子讓鹹豆漿比原本的豆漿中成分更容易凝聚析出。並且酸性溶液也含有帶電離子，是兼具「酸」與「帶電離子」2 種特性的溶液，因此酸性溶液能促進豆漿產出比鹽類溶液更多的固形物。

綜合以上實驗我們發現，引發鹹豆漿固形物的液體包含酸性與鹽類水溶液，其中主要成份「酸」、「帶電離子」是影響豆漿產生固形物的因素，酸性溶液能使豆漿產生的固形物最多，鹹豆漿的 pH 值落在 3.7~4.5 之間，該區間與研究一的結果一致，「並非越酸的添加劑能增加固形物產量，並且可能是在接近 4 的區間範圍」。鹼性溶液也屬於電解質水溶液，但是其 pH 值過高，無法產生固形物。

四、酸性溶液與豆漿混合的配置比例，對於產生鹹豆漿固形物的效果差異。

一系列的實驗下來，我們不斷在蒸乾、測量固形物重量，過程中不免思考，是否有使鹹豆漿固形物產量最多的添加劑酸鹼值配比。

從研究三發現，酸性溶液與鹽類溶液會使豆漿產生固形物，雖然研究一中的黑醋能產生最多固形物，但考量黑醋所含各種添加物也包含不同電解質（果汁、鹽等），因此為單純化變因，本實驗從研究一中固形物產量最多的添加劑（黑醋、糯米醋）中，選擇添加物單純（比較少）的「糯米醋」進行實驗，使成份物質影響降低。

此外，從研究一至研究三，我們僅在研究一是比照豆漿店使用 55°C 熱豆漿進行實驗，而研究二與研究三都使用冰箱中取出的冷豆漿做實驗，在探求添加劑最佳比例的同時，我們也加入溫度的比較，以了解溫度差異是否同時會影響固形物產量。

【實驗六】使用冷、熱豆漿，與不同 pH 值的溶液混合，觀察固形物產量

1. 使用材料：熱豆漿（30ml、55°C）、冷豆漿（30ml、12.2°C）、糯米醋、小蘇打粉、純水。

2. 製備不同酸鹼值的水溶液：

(1) 小蘇打水：使用 95g 純水加入 5g 小蘇打粉，配成重量百分濃度 5% 的小蘇打水，測得其 pH 值為 8.09。

(2) 不同酸鹼值的水溶液：取不同體積的糯米醋（0ml, 1ml, 2ml, 3ml, ..., 10ml）與小蘇打水（10ml, 9ml, 8ml, 7ml, ..., 1ml, 0ml）與糯米醋，對應混合，製作成 11 杯不同配比的水溶液置於常溫下備用，並測量其 pH 值。

3. 實驗過程：

- (1) 混合添加劑與豆漿：將 11 杯不同酸鹼值的水溶液分別倒入裝有 30ml 的冷、熱豆漿燒杯中，靜置 2 分鐘後，整杯倒入過濾器，濾出水份。
- (2) 固形物蒸乾秤重：等上述混合溶液的過濾器水分不再流出，使用電鍋蒸乾後秤重，觀察每杯豆漿的固形物產出情形。
- (3) 重複實驗 3 次取平均值：每種配比重複實驗 3 次，記錄每杯豆漿產生固形物情形的觀察與發現。

4. 變因控制：

- (1) 操縱變因：不同 pH 值水溶液（添加劑）。
- (2) 應變變因：固形物產量。
- (3) 保持不變的變因：糯米醋、小蘇打、豆漿的品牌、豆漿體積。

5. 實驗結果：

表 10 不同酸鹼比例添加劑加入冷豆漿之固形物產量記錄表

編號	糯米醋 (ml)	小蘇打水 (ml)	添加劑 pH 值	鹹豆漿 pH 值	固形物產量平均值 g	固形物產生情形
1	10	0	2.66	3.85	2.73	固形物被濾紙分離，有很多固形物
2	9	1	3.58	4.18	2.89	固形物被濾紙分離，有很多固形物
3	8	2	3.93	4.47	2.52	固形物分層，摸起來較軟
4	7	3	4.21	4.63	2.55	很多白色固形物，過濾後較多氣孔
5	6	4	4.71	5.05	2.18	固形物綿密、量少
6	5	5	5.85	5.27	2.16	固形物綿密、量少
7	4	6	5.94	6.17	0	豆漿通過濾紙，沒有產生固形物

從表 10 中發現，添加劑配比以「醋 9ml+小蘇打水 1ml」（亦即比例 9：1）、pH=3.58 時，固形物產量最多（2.89g）；之後小蘇打水增加，固形物逐漸減少，糯米醋與小蘇打比例為 1:1 時，產生固形物最少；當糯米醋 4ml、小蘇打水 6ml 時、pH=5.94，無固形物產生。

表 11 不同酸鹼比例添加劑加入熱豆漿（55℃）之固形物產量記錄表

編號	糯米醋 (ml)	小蘇打水 (ml)	添加劑 pH 值	鹹豆漿 pH 值	固形物產量平均值 (g)	固形物產生情形
1	10	0	2.75	4.04	2.20	有明顯的固形物、具綿密感；過濾後液體透明清澈。
2	9	1	3.66	4.13	2.20	有明顯的固形物、具綿密感；過濾後液體透明清澈。
3	8	2	3.97	4.17	2.20	有明顯的固形物、具綿密感；過濾後液體透明清澈。
4	7	3	4.34	4.51	2.10	在添加劑加入豆漿後，杯壁上即有明顯的白色固形物；過濾時溶液流速快、過濾後固形物具綿密感、液體透明清澈。
5	6	4	4.64	4.66	2.02	有明顯的白色固形物、具綿密感；過濾時溶液流速快，過濾後液體透明清澈的。

編號	糯米醋 (ml)	小蘇打水 (ml)	添加劑 pH 值	鹹豆漿 pH 值	固形物產量 平均值(g)	固形物產生情形
6	5	5	5.16	5.01	1.91	有明顯的白色固形物、具綿密感；過濾時溶液稀薄、流速慢，固形物明顯減少，過濾後液體透明清澈。
7	4	6	5.14	5.71	1.23	固形物不明顯；過濾時流速慢、會卡住，需較長時間才能分離豆漿和固形物。過濾後液體不清澈仍有固形物。
8	3	7	6.66	6.8	0	通過濾紙的流速快，2 次濾紙過濾後，沒有產生固形物

從表 11 中發現，55°C 的熱豆漿加入添加劑「糯米醋：小蘇打水」配比为 10：0、9：1、8：2 時，固形物產量均為 2.20g；之後小蘇打水增加，固形物逐漸減少；當糯米醋 4ml、小蘇打水 6ml 時、pH=5.14 時，尚有固形物 1.23g；而將糯米醋 3ml 與小蘇打水 7ml 混合時，無固形物產生。

綜合上述 2 個實驗我們發現，加熱至 55°C 的鹹豆漿 pH 值在 4.04 至 4.17 之間固形物產量最多，同為 2.20g，而 12.2°C 冰豆漿在 pH 值 4.18 產生的固形物最多。當冷熱鹹豆漿的 pH 值增加到 6.17 以上，都不會產生固形物。

然而，經過研究一的實驗，原本我們以為加入同樣 pH 值的酸性添加劑，熱鹹豆漿所產生的固形物會比冷鹹豆漿要多，但是本實驗的結果卻是冷熱豆漿的固形物產量差異不大。這是為什麼呢？經過一番討論後，我們上網查資料發現，無論是市售或者是自製豆漿，都會是「煮熟」的豆漿，未經煮沸的豆漿是不能喝的，因為豆漿中含有「胰蛋白酶抑制物」，會抑制蛋白質消化，使我們拉肚子或嘔吐，煮沸的豆漿所含的胰蛋白酶抑制物已經被破壞，所以才能安心食用。

因此，用於前述所有實驗的豆漿應均被視為是熱豆漿，因為這些實驗豆漿都是「可食用的」，亦即是已經被煮沸過的豆漿「再重新加熱」或是「進行降溫」，而得到熱豆漿或冷豆漿，我們並非使用原始未經加熱的黃豆漿與加熱過的黃豆漿進行溫度差異比較。因此，我們應該自己打黃豆漿，使用原始未煮沸過的黃豆漿進行實驗才對；此外，這也引發我們思考會不會因為溫度破壞豆漿中的胰蛋白酶抑制物，會讓固形物產量有所差異。

五、探討溫度與鹹豆漿固形物產量相關性

【實驗七】

考量之前的實驗都是以市售豆漿進行，都必須被視為煮沸過的豆漿，其中的胰蛋白酶抑制物已經被破壞，不適合用於了解溫度與鹹豆漿固形物產生是否有關。因此我們這次實驗就將黃豆泡水後直接打成黃豆漿，以黃豆漿本來（未煮沸過）的狀態進行實驗，進而從酸性添加劑加入情形，觀察是否溫度會影響黃豆蛋白，導致固形物產量的差異。

從研究四中發現添加劑以「糯米醋：小蘇打水=9：1」時，固形物產量最多，因此本實驗我們以上述酸鹼比例製作鹹豆漿添加劑。

1. 使用材料：黃豆、糯米醋、小蘇打粉、純水。
2. 製備溫度不同的豆漿：

- (1) 黃豆泡水：準備 1000ml 的水，加入 200 克的黃豆浸泡隔夜。
- (2) 製作豆漿：使用果汁機將泡過的黃豆，慢慢加入共計 1000ml 的水，打成黃豆漿，並測得黃豆漿的 pH 值為 6.7。
- (3) 製作不同溫度的豆漿：低溫 (2°C)、常溫 22.3°C、中溫 55°C、高溫 80°C

3. 以製備添加劑：

- (1) 小蘇打水：使用 95g 純水加入 5g 小蘇打粉，配成重量百分濃度 5% 的小蘇打水。
- (2) 將 9ml 的糯米醋與上述 1ml 的小蘇打水混合，以 9:1 的比例混合，製作成添加劑置於常溫下備用，並測量其 pH 值為 3.6,3.67,3.67。

4. 實驗過程：

- (1) 混合添加劑與豆漿：將 10ml 的添加劑分別倒入 4 杯裝有 30ml 不同溫度豆漿的燒杯中，靜置 2 分鐘後，整杯倒入過濾器，濾出水份。
- (2) 固形物晾乾後秤重：考量原本「蒸乾秤重」的方式恐因溫度影響固形物產量，因此本實驗等上述混合溶液的過濾器水分不再流出，將固形物「晾乾」後秤重，觀察每杯豆漿的固形物產出情形。
- (3) 重複實驗 3 次取平均值：每種配比重複實驗 3 次，記錄每杯豆漿產生固形物情形的觀察與發現。

5. 變因控制：

- (1) 操縱變因：豆漿的溫度。
- (2) 應變變因：固形物產量。
- (3) 保持不變的變因：添加劑（糯米醋+小蘇打）的濃度與體積、豆漿的濃度與體積。

6. 實驗結果：

表 12 不同溫度豆漿形成固形物產量記錄表

燒杯編號	添加劑 pH 值	黃豆漿 pH 值	鹹豆漿 pH 值	豆漿溫度°C	固形物重量 g	固形物觀察記錄
1	3.6	7.0	4.36	3.5°C	1.37	過濾時流速快，可分離出綿密細小的固形物
2	3.55	6.65	4.16	27.7°C	2.7	有固形物產生，較綿密，摸起來滑順，過濾時流速快，過濾後在杯底的溶液清澈，可以完全分離出固形物。
3	3.55	6.58	4.16	55°C	2.88	有固形物產生，較綿密，摸起來滑順，流速快，過濾後在杯底的溶液清澈，可以完全分離出固形物。
4	3.67	6.7	4.15	80°C	3.69	分離後固形物成塊狀，量很多

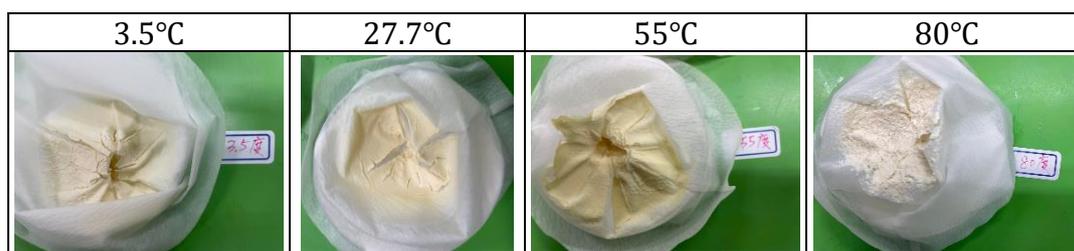


圖 5 不同溫度環境下鹹豆漿固形物產生情形

加熱至 80°C 的豆漿產生固形物過濾時成塊狀看起來最多最明顯，有 3.69g、冷藏的 3.5 度冰豆漿過濾時產生固形物不多，僅 1.37g；而常溫 27.7°C 與加熱至 55°C 的鹹豆漿固形物產量以 55°C 熱豆漿 (2.88g) 比 27.7°C 常溫豆漿 (2.7g) 多一些些 (0.11g)，二者差異不明顯。各溫度的鹹豆漿固形物產量排序為「80°C>55°C>27.7°C>3.5°C」。

從本實驗可以發現，豆漿溫度會影響固形物產量，加熱會破壞豆漿成分（胰蛋白酶抑制物）被破壞，使得固形物容易被凝聚析出，並且高溫會使得豆漿成分被破壞得更徹底，使得固形物產量非常明顯。

觀察常溫未加酸的豆漿，倒入培養皿晾乾後有明顯微小的固形物顆粒，加熱未加酸的豆漿冷卻後會出現顆粒較大的固形物。

肆、結論

- 一、醋酸與水果酸都是酸性液體，都能產生固形物。食用醋的 pH 值比水果酸低，食用醋在產生固形物方面比水果酸能有更好凝聚情形。
- 二、鹹豆漿製作過程的添加序上，以「食用醋加入熱豆漿」的固形物產出結果較明顯。
- 三、本研究中的鹼性溶液加入鹹豆漿後，無法產生固形物。
- 四、鹽類溶液的鹹豆漿雖然有產生固形物，但較細小不明顯。
- 五、引發鹹豆漿固形物的液體包含酸性與鹽類水溶液，其中主要成份「酸」、「帶電離子」是影響豆漿產生固形物的因素。
- 六、並非越酸的添加劑能增加固形物產量，鹹豆漿的 pH 值落在 3.7 至 4.5 之間，並且可能是在接近 4 的區間範圍，能產生最多的固形物。
- 七、溫度是使豆漿產生固形物的主要因素之一，高溫使豆漿成份被破壞，使固形物明顯產出。
- 八、熱豆漿所產出的固形物比常溫或低溫豆漿所生固形物顆粒大。
- 九、無論是酸性溶液、鹽類溶液，其與豆漿作用產生的固形物顆粒大小不同，使溶液過濾的速度不同。其中以酸性溶液與豆漿作用所產生的固形物顆粒最大。
- 十、酸性溶液與豆漿混合的配置比例，酸與鹼以 9:1 的比例對豆漿所產生固形物最多。

伍、參考資料及其它

1. 蔡任圃，2024，動手做科學探究，白江起雲霧，p116。紅樹林出版。
2. 少年起司的奇幻漂流～探討牛奶與豆漿的凝乳現象，中華民國第 53 屆中小學科展，化學科。
3. 當我們「聚」在一起—談膠體溶液的凝析現象及應用，中華民國第 42 屆中小學科展，化學科。
4. 新北市教育電子報—在廚房中發現了科學，
<https://epaper.ntpc.edu.tw/index/EpaSubShow.aspx?CDE=EPS201306131624243KK&e=EPA201304021127082IF>
5. 為什麼鹹豆漿會凝結像豆花？台灣網路科教館
<http://www.ntsec.edu.tw/live/detail.aspx?a=6827&cat=164&p=1&lid=5866>
6. 豆漿加醋為什麼會結塊？化學解密鹹豆漿之謎，泛科學，<https://pansci.asia/archives/167211>
7. 藏在大豆製品中的化學，科學月刊第 633 期。
8. 泡黃豆的水可以用嗎？豆漿為何一定要煮沸？
https://www.buydirectlyfromfarmers.tw/catalogue/AR-015_1062/