

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 化學科

佳作

030201

明爭暗「豆」——以導電度及透光度探討製作傳統豆腐時蛋白質凝結之關鍵

學校名稱：花蓮縣立美崙國民中學

作者：  國二 巫守原  國二 喜 當  國二 林韋岑	指導老師：  戴淑萍
---	------------------

關鍵詞：傳統豆腐、導電度、透光度

# 摘要

傳統豆腐主要成份除水之外就是蛋白質，豆漿的蛋白質凝結作用是傳統豆腐製作過程中最重要程序，對於豆腐的產率及品質有著重要而直接的影響。我們發現豆花粉及鹽鹵中可使豆漿中的蛋白質凝結之成份為  $\text{Ca}^{2+}$  及  $\text{Mg}^{2+}$ 。濃度 2% 的氯化鈣水溶液加入 45°C 的豆漿最能滿足製作傳統豆腐時蛋白質凝結量最大、乳清透光性高及乳清導電性低的條件。由豆漿蛋白凝結時電阻變化，得知 40 秒後蛋白質與氯化鈣作用趨近於緩和。

利用自製儀器精準測量導電度及透光度的有趣結果，探討蛋白質凝結之關鍵，對於豆腐之生產製作將會有相當的幫助。

## 壹、研究動機

豆腐為日常生活中常用之食材，而豆漿為豆腐原料，因此我們好奇到底是什麼樣的成分竟然會讓豆漿凝結成豆腐呢？凝結劑的濃度、豆漿的溫度及豆漿中蛋白質變化情形是否影響豆漿之凝結？豆腐的凝結機制又花多少時間呢？所以我們測量導電性探討蛋白質凝結過程發生的變化，希望可以將此有趣的變化提供給往後想生產豆腐的人一些參考。

## 貳、研究目的

- 一、了解製作豆漿、豆腐的歷史與製作過程、原理及豆漿品質穩定度。
- 二、探討了解鹽鹵及豆花粉中是什麼物質使豆漿蛋白質凝結。
- 三、了解不同濃度藥劑對豆漿蛋白質凝結之影響。
- 四、了解不同溫度對於豆漿蛋白質凝結的影響。
- 五、了解加入凝結劑時蛋白質凝結花多少時間。

## 參、研究設備及器材

- 一、**實驗藥品**：品質穩定不含消泡劑之優質有機豆漿、氯化鋰、氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、氯化鋇、硫酸鈉、硫酸鎂、硫酸鈣、碳酸鈉、碳酸鈣、硝酸鎂、硫

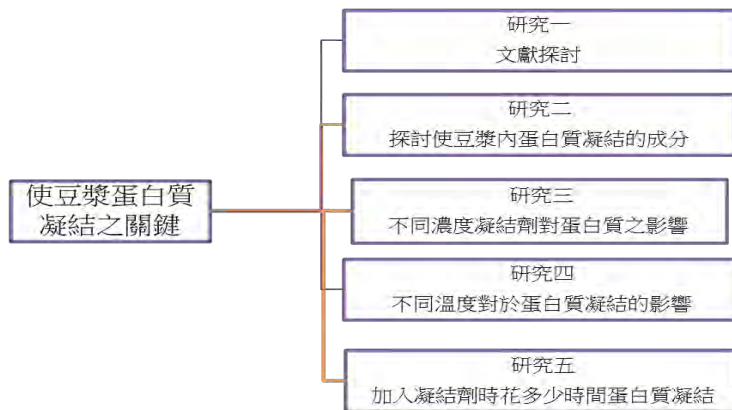
代硫酸鈉、鹽滷（成分：氯化鈉、氯化鎂）、豆花粉（成分：硫酸鈣、樹薯粉）。

二、實驗器材：自製透光記錄裝置、自製測量電阻溫度記錄裝置、布赫納漏斗、Arduino 板、豆漿布。

	
<p>不含消泡劑品質穩定的豆漿 (在相同溫度下電阻值皆相同)</p>	<p>自製透光記錄裝置</p>
	
<p>自製測量電阻溫度記錄裝置</p>	<p>布赫納漏斗</p>
	
<p>Arduino 板裝置 (每秒連續偵測並記錄次數無上限)</p>	<p>豆漿布 (布料規格：18 支)</p>

## 肆、研究過程

### 研究架構



### 一、研究一、文獻探討

#### (一) 研究目的：

- 1.利用網路與文獻資料了解傳統豆腐歷史與製作過程及原理。
- 2.利用文獻資料探討研究方法。

#### (二) 研究結果：

##### 1.傳統豆腐：

##### (1) 豆腐的歷史：

相傳豆腐是西元前 164 年，由中國漢高祖劉邦之孫—淮南王劉安所發明。明李時珍《本草綱目》完整記載傳統豆腐生產過程：「凡黑豆、黃豆及白豆、泥豆、豌豆、綠豆之類，皆可為之。水浸，礱碎。濾去渣，煎成。以鹵汁或山礬葉或酸漿醋淀，就釜收之。」

##### (2) 豆腐成分：主要是豆漿與凝結劑

##### i.豆漿簡介

- (i) 大豆（學名：*Glycine max*；英語：soybean）俗名又稱菽、黃豆，為一年生草本原產地為中國，已有五千年栽培歷史，種子含有豐富的植物性蛋白質、維生素、礦物質約 4~5%其含水溶性蛋白質含量高達 35~40%，俗稱旱田之肉，大豆中水溶性蛋白質融入水中去渣就是豆漿。
- (ii) 膠體溶液：豆漿為一種膠體溶液。

膠體溶液簡介：膠體粒子帶電有廷得耳效應，溶質顆粒約介於  $10^{-9}\text{m}\sim$

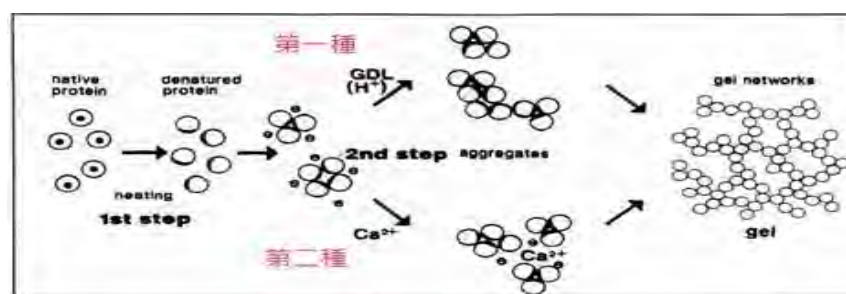
$10^{-7}\text{m}$ ，溶質原子數目約介於  $10^3\sim 10^9$ ，通常是高分子或離子吸附溶液中分子或其他離子構成的原子團，膠體粒子帶電是膠體粒子表面吸附帶電粒子所致，帶同性電荷，互相排斥不凝結。

## ii.凝結劑

傳統豆腐凝結劑：鹽鹵，以氯化鎂、氯化鈣、硫酸鈣為主要成分，帶有苦味。與現代的盒裝豆腐是利用葡萄糖酸- $\delta$ -內酯當凝結劑，其凝結機制與傳統豆腐不同。

### (3) 傳統豆腐原理

將鹽鹵加入豆漿中凝結成豆腐即為傳統豆腐，製作傳統豆腐所使用凝結劑為石膏（硫酸鈣）或鹽鹵，靜置凝結後將其移至有棉布的木製箱中，加蓋施力，將乳清榨乾後即得傳統豆腐。如圖一，製成豆腐分為兩種方法，第一種為加入葡萄糖酸- $\delta$ -內酯當凝結劑，第二種為加入鈣離子當凝結劑，本研究所探討為後者。







圖一 豆腐的凝結機制

### (4) 傳統豆腐的製作過程：

大豆→精選→洗淨→泡水→磨豆→過濾→煮沸→降溫→沖入凝結劑→靜置冷卻→成品。

### (5) 本實驗豆漿來源：

豆漿為高營養的膠體溶液，品質容易受製作過程與環境影響，一般市售豆漿含有消泡劑，但本實驗是針對蛋白質凝結機制之觀察，故含消泡劑的豆漿不適合本實驗。所以本實驗選用本地生產品質穩定衛生無消泡劑的有機豆漿。

			
<p>圖 1-1-1 工廠將黃豆儲存在低溫低濕的冷藏庫中，降低細菌與黴菌的增值</p>	<p>圖 1-1-2 不鏽鋼模具避免木製模具造成微生物汙染的問題</p>	<p>圖 1-1-3 工廠在煮豆漿時不加消泡劑</p>	<p>圖 1-1-4 利用熱平衡使四杯不同豆漿同溫度</p>

#### i. 豆漿豆子來源

使用之高發芽 IP (Identity Preservation) 進口之非基因改造有機黃豆，高蛋白含量的品種。有機黃豆均儲藏在低溫低濕的冷藏庫中，維持黃豆的發育能力，抑制或降低細菌和黴菌的增殖，及避免高溫高濕的條件造成黃麴毒素的產生。如圖 1-1-1。

#### ii. 豆漿工廠設備

生產設備、連接管路均使用衛生級不鏽鋼管件材料，並選擇以不鏽鋼模具取代傳統木製模具如圖 1-1-2，避免傳統木製模具造成微生物汙染的問題，衛生良好。

#### iii. 豆漿與消泡劑

豆漿加熱煮沸期間會產生大量泡沫如圖 1-1-3。特殊煮釜設備能在完全無添加消泡劑下使豆漿均一加熱並完全煮沸。豆漿香醇濃郁，爽口滑順。

#### iv. 豆漿穩定度測試結果：

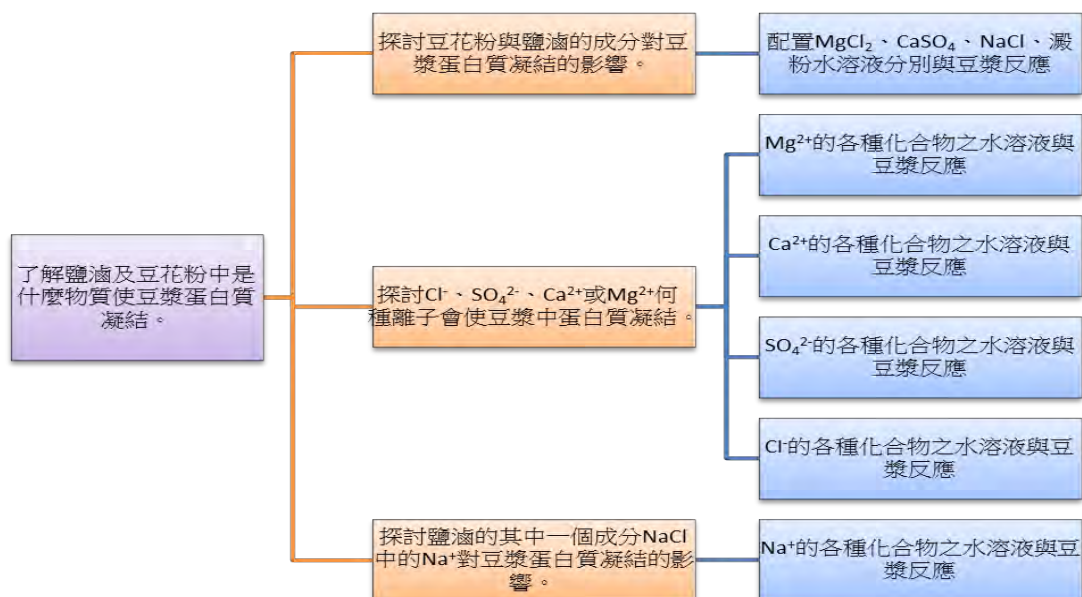
測量本實驗不同瓶的豆漿之溫度介於 29.5~30.53℃，電阻值介 6.03kΩ ~ 6.81kΩ 之間，在溫度相似電阻值也相近，故品質穩定，如圖 1-1-4。

### (三) 研究討論：

我們發現原來在生活中，豆腐居然有著這麼大的學問，而且在中國歷史上竟然有了超過 2000 年的歷史呢！而不同凝結劑的種類和比例會使蛋白質凝結的比較好？凝結劑的濃度和豆漿的溫度是否又會對凝結產生影響呢？因此，為了滿足我們的好奇心，便更加深入地去瞭解這有趣的豆腐。

## 二、研究二、了解鹽滷及豆花粉中是什麼物質使豆漿蛋白質凝結。

### 實驗架構：



### 實驗二—1：探討豆花粉與鹽滷的成分對豆漿蛋白質凝結的影響。

(一) 實驗目的：觀察豆花粉及鹽滷裡的成分：硫酸鈣 (CaSO<sub>4</sub>)、氯化鎂 (MgCl<sub>2</sub>)、氯化鈉 (NaCl)、澱粉 (樹薯粉)，對豆漿中蛋白質凝結的影響。

(二) 實驗藥品：硫酸鈣 (CaSO<sub>4</sub>)、氯化鎂 (MgCl<sub>2</sub>)、氯化鈉 (NaCl)、澱粉 (樹薯粉)。





圖 2-1-5 氯化鎂 (MgCl<sub>2</sub>)

圖 2-1-6 澱粉 (樹薯粉)

(三) 實驗步驟:

1. 找出豆花粉及鹽滷的成分為硫酸鈣 (CaSO<sub>4</sub>)、氯化鎂 (MgCl<sub>2</sub>)、氯化鈉 (NaCl)、澱粉 (樹薯粉) 並分別調成飽和溶液。
2. 先將各飽和溶液取 10 毫升，分別放入試管中，再將以上各試管放入 10 毫升的沸騰豆漿。
3. 觀察哪一種物質使豆漿蛋白質凝結，重複 1~3 步驟三次並記錄結果。

(四) 實驗結果：

1. 觀察哪一種物質使豆漿蛋白質凝結，並記錄結果於表 1-1-1。

表 1-1-1 豆漿蛋白質凝結情形

藥品	結果	凝結情形
CaSO <sub>4</sub>	○	凝結明顯，乳清清澈如水
MgCl <sub>2</sub>	○	凝結明顯，呈豆花狀
NaCl	X	液體，豆漿狀
樹薯粉	X	液體，豆漿狀

2. 由表 1-1-1 凝結情形及圖 1-1-7，可知 CaSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub> 凝結的情形良好，而澱粉及 NaCl 不能使豆漿的蛋白質凝結。



圖 1-1-7 MgCl<sub>2</sub>、CaSO<sub>4</sub>、澱粉、NaCl 在試管內情形



(五) 實驗討論：

1.由實驗 1-1 得知，豆花粉及鹽滷的成分中硫酸鈣 ( $\text{CaSO}_4$ ) 及氯化鎂 ( $\text{MgCl}_2$ ) 可使豆漿蛋白質凝結。

實驗二-2：探討氯離子 ( $\text{Cl}^-$ )、硫酸根離子 ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、鈣離子 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 或鎂離子 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) 何種離子會使豆漿中蛋白質凝結。

(一) 實驗目的：分析比對  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  及  $\text{Mg}^{2+}$  的化合物加入豆漿中蛋白質凝結的情形。

(二) 實驗藥品： $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{BaCl}_2$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{LiCl}$ 、 $\text{KCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  之飽和溶液。



圖 1-2-1 含  $\text{Cl}^-$  及  $\text{SO}_4^{2-}$  離子之飽和溶液

(三) 實驗步驟：步驟如實驗二-1。

(四) 實驗結果：1. 各種  $\text{Cl}^-$  的化合物的飽和溶液對豆漿的凝結情形如表 2-2-1。

表 2-2-1 各種不同的氯化物的飽和溶液對豆漿的蛋白質凝結情形

藥品	$\text{MgCl}_2$	$\text{BaCl}_2$	$\text{NaCl}$	$\text{LiCl}$	$\text{KCl}$	$\text{CaCl}_2$
是否凝結	○	○	X	X	X	○

2. 各種  $\text{SO}_4^{2-}$  的化合物的飽和溶液對豆漿的蛋白質凝結情形如表 2-2-2。

表 2-2-2 各種不同的硫酸根化合物的飽和溶液對豆漿的凝結情形

藥品	$\text{MgSO}_4$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{CaSO}_4$
是否凝結	○	X	○

3. 表 2-2-3 各種不同  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的化合物飽和溶液對豆漿中蛋白質的情形。

表 2-2-3 加入  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的化合物之豆漿蛋白質凝結情形

結果	$\text{CaSO}_4$	$\text{CaCl}_2$	$\text{MgCl}_2$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{MgSO}_4$
是否凝結	○	○	○	○	○

4.由表 2-2-1、表 2-2-2 及 表 2-2-3 可知各種不同的飽和溶液對豆漿的蛋白質凝結情形： $\text{Cl}^-$  的化合物中  $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{BaCl}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$  可使豆漿中的蛋白質凝結，而  $\text{NaCl}$ 、 $\text{LiCl}$ 、

KCl 不能；在硫酸根中  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$  可使豆漿中的蛋白質凝結，而  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  不能；含有鎂離子的化合物皆可使豆漿蛋白質凝結；含有鈣離子的化合物皆可使豆漿蛋白質凝結。

(五) 實驗討論：

1. Cl<sup>-</sup>的化合物中： $\text{BaCl}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{LiCl}$ 、 $\text{KCl}$  不一定皆能凝結，因此我們可以知道 Cl<sup>-</sup>不是使豆漿蛋白質凝結的主因。
2.  $\text{SO}_4^{2-}$ 的化合物不一定皆能凝結，因此  $\text{SO}_4^{2-}$ 不是使豆漿蛋白質凝結的主因。
3.  $\text{Mg}^{+2}$ 的化合物中可使豆漿蛋白質凝結，因此  $\text{Mg}^{+2}$ 是使豆漿蛋白質凝結的主因。
4.  $\text{Ca}^{+2}$ 的化合物中可使豆漿蛋白質凝結，因此  $\text{Ca}^{+2}$ 是使豆漿蛋白質凝結的主因。
5. 從上四點可知： $\text{Mg}^{+2}$ 、 $\text{Ca}^{+2}$  才是可以使豆漿的蛋白質凝結的離子，而 Cl<sup>-</sup>、 $\text{SO}_4^{2-}$  不會使豆漿蛋白質凝結。

**實驗二—3：**探討鹽滷的其中一個成分 NaCl 中的 Na<sup>+</sup>對豆漿蛋白質凝結的影響。

(一) 實驗目的：分析出實驗室之常見 Na<sup>+</sup>的化合物對豆漿蛋白質凝結的情形。

(二) 實驗藥品：硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )、氯化鈉( $\text{NaCl}$ )、碳酸鈉( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、硫代硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 之飽和溶液。

(三) 實驗步驟：步驟如實驗二—1。

(四) 實驗結果：1. 各種不同的 Na<sup>+</sup>化合物飽和溶液對豆漿蛋白質凝結情形如表 2-3-1。

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  皆不可以使豆漿蛋白質凝結。

表 2-3-1 各種不同的 Na<sup>+</sup>的化合物的飽和溶液對豆漿的凝結情形

藥品	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{NaCl}$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
是否凝結	X	X	X	X

(五) 實驗討論：

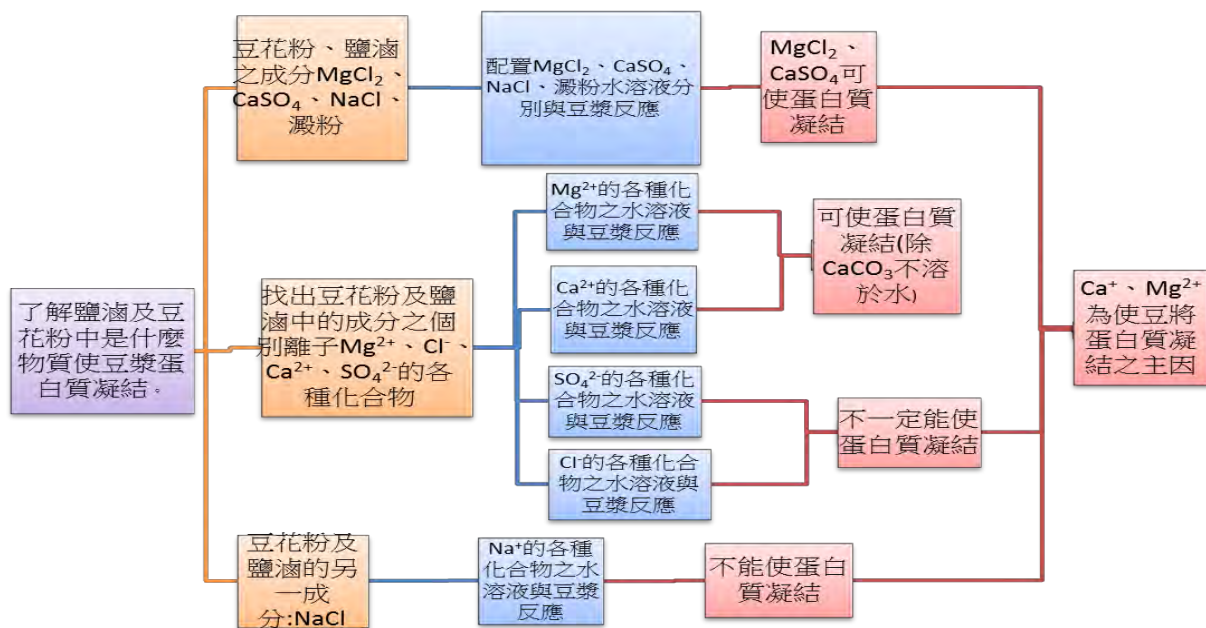
1. 綜合先前幾個實驗可知硫酸根 ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、氯離子 (Cl<sup>-</sup>) 不是使豆漿蛋白質凝結的主因，而碳酸根 ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) 與硫代硫酸根 ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) 也不是，從本實驗更可確定 Na<sup>+</sup> 化合物或 NaCl 不是使豆漿蛋白質凝結的物質。

2. 發現問題：

- (1) 從以上幾個實驗可知  $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  可使豆漿蛋白質凝結，那藥品的濃度會不會影響豆漿的凝結情形呢？所以接下來我們想探討濃度對產值的影響。
- (2) 因本次實驗的目的是為了探討傳統豆腐中蛋白質凝結之關鍵，不知正三價的離子是否可使豆漿蛋白質凝結，值得在其他的主題深入研究。

## 研究二結論：

(一) 統整以上實驗二-1~二-3 結果分析如下圖：



- (二) 從實驗二-1 可知  $CaSO_4$ 、 $MgCl_2$  可使豆漿中的蛋白質凝結，而澱粉及  $NaCl$  不行。
- (三) 從實驗二-2 可知  $Cl^-$  的化合物及  $SO_4^{2-}$  的化合物不一定能使豆漿中的蛋白質凝結。從上述可推知  $Cl^-$  及  $SO_4^{2-}$  不是使豆漿蛋白質凝結的主因。
- (四) 從實驗二-2 中可知含有與  $Ca^{2+}$  或  $Mg^{2+}$  的化合物皆可使豆漿中的蛋白質凝結，因此  $Ca^{2+}$  及  $Mg^{2+}$  才是使豆漿蛋白質凝結的主因。
- (五) 從實驗二-1、實驗二-2 可知  $NaCl$  及  $Na_2SO_4$  不可使豆漿中的蛋白質凝結，並從實驗二-3 知  $Na^+$  不是使豆漿中的蛋白質凝結之主因。
- (六) 統整以上實驗發現：豆花粉及鹽滷中可使豆漿中的蛋白質凝結之成分為  $CaSO_4$ 、 $MgCl_2$ ，其中又以  $Mg^{2+}$  及  $Ca^{2+}$  為凝結的主因。

### 三、研究三、找出使蛋白質凝結最佳的凝結劑濃度為何

(一) 實驗目的：取  $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgCl}_2$  調配不同濃度的水溶液作為凝結劑，探討不同的藥品及濃度對豆漿蛋白質凝結的影響。

(二) 實驗藥品：豆漿、氯化鈣  $\text{CaCl}_2$ 、硫酸鈣  $\text{CaSO}_4$ 、氯化鎂  $\text{MgCl}_2$ 。

(三) 實驗器材：自製 Arduino 透光度之光敏測量儀器、自製之 Arduino 導電溫度測量儀器、豆漿（布料規格 18 支，約 2000 目）、吸濾瓶、燒杯、布赫納漏斗、鍋子、電磁爐、攪拌棒、溫度計、量筒。

(四) 實驗步驟：

1. 100ml 的豆漿煮到  $70^\circ\text{C}$  後，加入 10ml 的 1%  $\text{CaCl}_2$  水溶液攪拌均勻後靜置 3 分鐘。
2. 用豆漿布裹著布赫納漏斗後塞入吸濾瓶口，如圖 3-1 所示。
3. 將步驟 2 溶液倒入漏斗後，把豆漿布蓋起，將 1kg 重物置於上方壓住，如圖 3-2 所示。
4. 把水分壓乾後拿出秤重，脫水後再秤重。
5. 將上述凝結劑改為 2%、3%  $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{CaSO}_4$  及  $\text{MgCl}_2$  並重複 1~4 步驟。
6. 將上述步驟 3 布赫納漏斗所濾出的液體-乳清，分別測乳清電阻及透光度並記錄。



圖 3-1 豆漿布裹著布赫納漏斗後塞入吸濾瓶口



圖 3-2 1kg 重物置於上方壓住，下方吸濾瓶可收集乳清

(五) 實驗結果：

#### 1. 以氯化鈣 ( $\text{CaCl}_2$ ) 當凝結劑：

(1) 1%~3% 的  $\text{CaCl}_2$  水溶液皆會使豆漿蛋白質凝結，豆腐量於取出豆漿布後 1%  $\text{CaCl}_2$  最少，3% 凝結的效果最明顯，如圖 3-3。

(2) 壓出來的乳清水，1% 接近豆漿色、2% 黃綠色有類似豆漿的沉澱及 3% 無沉

澱青綠色，如圖 3-4。

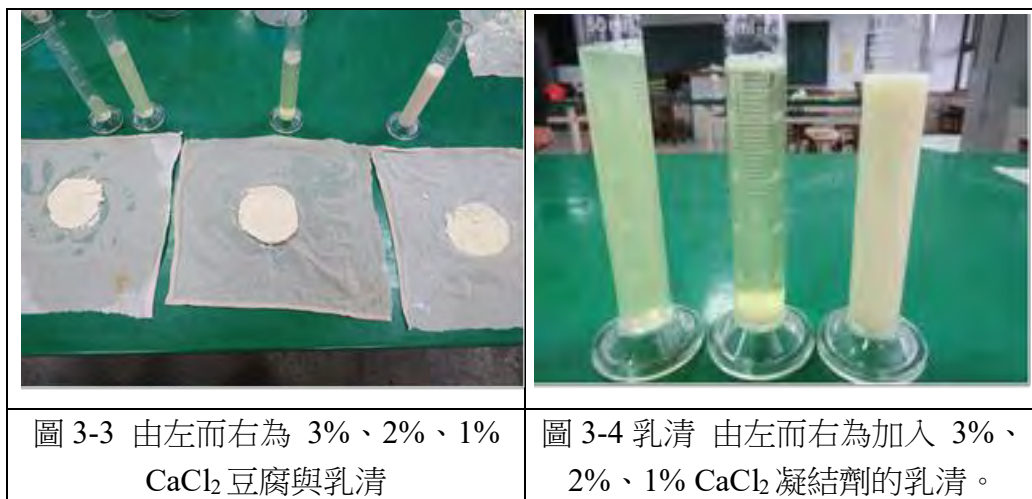


圖 3-3 由左而右為 3%、2%、1% CaCl<sub>2</sub> 豆腐與乳清

圖 3-4 乳清 由左而右為加入 3%、2%、1% CaCl<sub>2</sub> 凝結劑的乳清。

(3) 陰乾後豆腐有彈性不容易破損，有豆干的香氣。將豆腐陰乾秤重結果如表 3-1，如圖 3-5、3-6、3-7。

表 3-1 測量 CaCl<sub>2</sub> 在不同濃度與豆漿所製成豆腐陰乾脫水秤重結果情形

	1% CaCl <sub>2</sub> 豆腐重量	2% CaCl <sub>2</sub> 豆腐重量	3% CaCl <sub>2</sub> 豆腐重量
陰乾秤重	11.8 g	17.5 g	17.2 g
脫水秤重	4.9g	9.7g	10g



圖 3-5 1% CaCl<sub>2</sub> 豆腐秤重圖



圖 3-6 2% CaCl<sub>2</sub> 豆腐秤重圖



圖 3-7 3% CaCl<sub>2</sub> 豆腐秤重圖

(4) 測量不同濃度的乳清導電情形如表 3-2。

表 3-2 測量不同濃度 CaCl<sub>2</sub> 的乳清電阻值情形

CaCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%CaCl <sub>2</sub> 乳清	2% CaCl <sub>2</sub> 乳清	3% CaCl <sub>2</sub> 乳清	清水	豆漿
平均電阻讀數	87	85	83	215.7	97
轉換電阻數值 ( kΩ )	3.1	3.0	2.9	8.8	3.3

(5) 測量不同濃度的乳清透光度情形如表 3-3。

表 3-3 測量不同濃度 CaCl<sub>2</sub> 的乳清透光情形

CaCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	清水	豆漿
平均光敏讀數	503	958	947	1014	287.5
與水比較之百分比	49.6%	94.47%	93.39%	100%	28.35%

(6) 加入不同濃度的  $\text{CaCl}_2$  所得乳清之透光度與水相較下，2% (94.47%) > 3% (93.39%) > 1% (49.6%) > 豆漿 (28.35%)。

(7) 加入不同濃度的  $\text{CaCl}_2$  蛋白質凝結之產量為 3% (10g) > 2% (9.7g) > 1% (4.9g)。

(8) 加入不同濃度的  $\text{CaCl}_2$  所得的乳清之電阻相較是，1% (3.1k $\Omega$ ) > 2% (3.0k $\Omega$ ) > 3% (2.9k $\Omega$ )。

## 2. 以硫酸鈣 ( $\text{CaSO}_4$ ) 當凝結劑：

(1) 1%~5% 的  $\text{CaSO}_4$  水溶液皆會使豆漿蛋白質凝結，1%~3% 無法取下，4%~5% 取下的量極少，凝結量最多的為 4%，如圖 3-9。

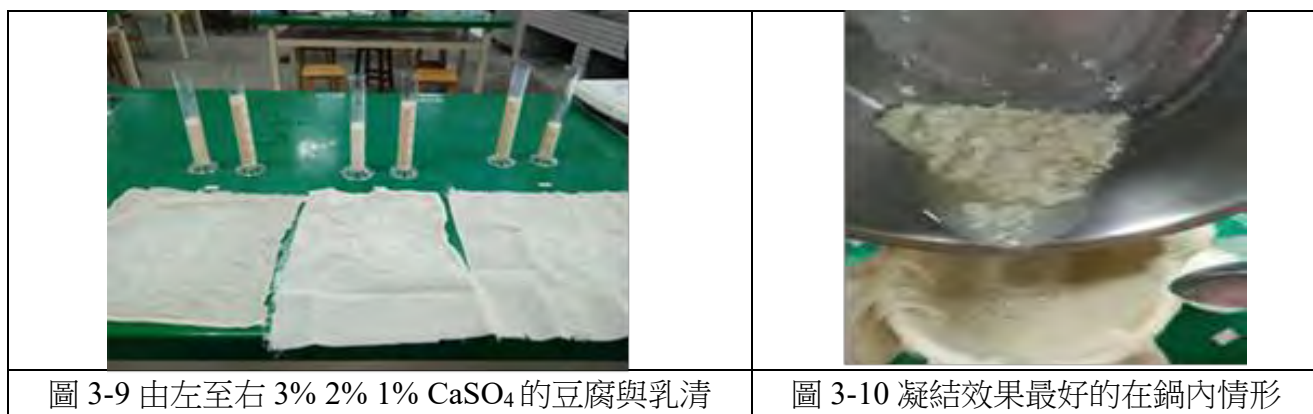


圖 3-9 由左至右 3% 2% 1%  $\text{CaSO}_4$  的豆腐與乳清

圖 3-10 凝結效果最好的在鍋內情形

(2) 將  $\text{CaSO}_4$  陰乾、脫水後秤重的結果，如表 3-4。

表 3-4 測量不同濃度的  $\text{CaSO}_4$  豆腐陰乾脫水秤重結果情形

$\text{CaSO}_4$ 濃度	1%	2%	3%	4%	5%
陰乾重量	無法測	無法測	無法測	無法測	無法測
脫水重量	量少，黏在濾布上無法取下	量少，黏在濾布上無法取下	量少，黏在濾布上無法取下	1.3(g)	0.6(g)

(3) 測得  $\text{CaSO}_4$  乳清的電阻值結果，如表 3-5。

表 3-5 測量  $\text{CaSO}_4$  不同濃度的乳清電阻情形

$\text{CaSO}_4$ 不同濃度	1% 乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	5%乳清	清水	豆漿
電阻讀數平均	161.3	102.3	93	198.7	140.3	215.7	92
轉換電阻數值 (k $\Omega$ )	6.2	3.7	3.3	8.0	5.2	8.8	3.5

(4) 測量不同濃度的乳清透光度情形如表 3-6。

表 3-6 測量  $\text{CaSO}_4$  不同濃度的乳清透光情形

$\text{CaSO}_4$ 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	5%乳清	清水	豆漿
透光讀數平均	241.3	269.3	266.7	316	298	1008	204.5
與水比較之%	23.93	26.71	26.45	31.34	29.56	100	20.28

(5) 加入不同量  $\text{CaSO}_4$  所得的乳清之透光度與水相較下，4% (31.34%) > 5% (29.56%) > 2% (26.71%) > 3% (26.45%) > 1% (23.93%) > 豆漿 (20.28%)。

(6) 蛋白質凝結之產量為 4% (1.3) > 5% (0.6) > 1% (無法測) = 2% (無法測) = 3% (無法測)。

(7) 4% (8.0 k $\Omega$ ) > 1% (6.2 k $\Omega$ ) > 5% (5.2 k $\Omega$ ) > 2% (3.7 k $\Omega$ ) > 3% (3.3 k $\Omega$ )，加入 4%  $\text{CaSO}_4$  所得的乳清之電阻相較下較大。

### 3. 以氯化鎂 ( $\text{MgCl}_2$ ) 凝結劑：

(1) 1%~5% 的  $\text{MgCl}_2$  水溶液皆會使豆漿蛋白質凝結，1%~2% 的凝結情形較黏稠，導致陰乾時的重量無法測，如圖 3-15，而 4% 的  $\text{MgCl}_2$  氯化鎂凝結情況最好，如圖 3-16。

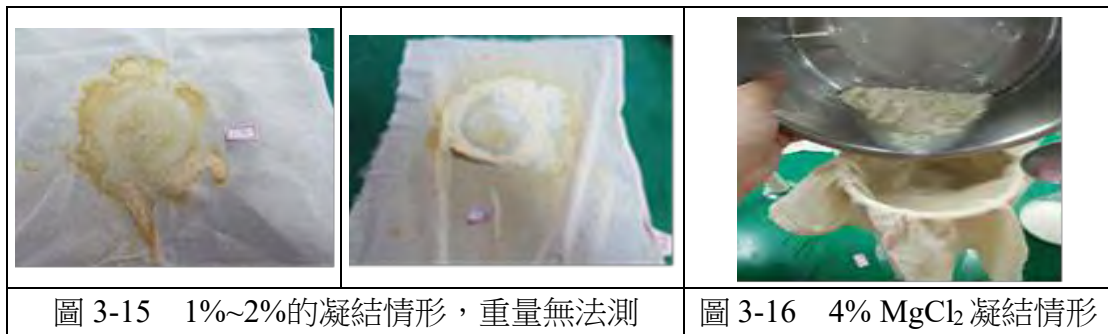


圖 3-15 1%~2% 的凝結情形，重量無法測

圖 3-16 4%  $\text{MgCl}_2$  凝結情形

(2) 將  $\text{MgCl}_2$  陰乾、脫水後秤重的結果，如表 3-7。

表 3-7 測量不同濃度的  $\text{MgCl}_2$  豆腐陰乾脫水秤重結果情形

$\text{MgCl}_2$ 不同濃度	1%	2%	3%	4%
陰乾重量 (g)	無法測	無法測	0.4	20.6
脫水重量 (g)	1.9	4.0	8.1	8.9

(3) 濃度 3% 的  $\text{MgCl}_2$  所製成豆腐陰乾時，大部分無法取下，取下部分重 0.4g，脫水後豆腐布上原本取不下的豆腐再取下後，故脫水重量秤值達 8.1g 比陰乾重量大之原因。

(4)  $\text{MgCl}_2$  乳清的導電結果，如表 3-8。

表 3-8 測量 MgCl<sub>2</sub> 不同濃度的乳清電阻值情形

MgCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	清水	豆漿
電阻讀數平均	141	150.3	105.3	101	215.7	92
轉換電阻數值 (kΩ)	5.3	5.7	3.8	3.6	8.8	3.5

(5) 測量不同濃度的乳清透光度情形如表 3-9。

表 3-9 測量 MgCl<sub>2</sub> 不同濃度的乳清透光情形

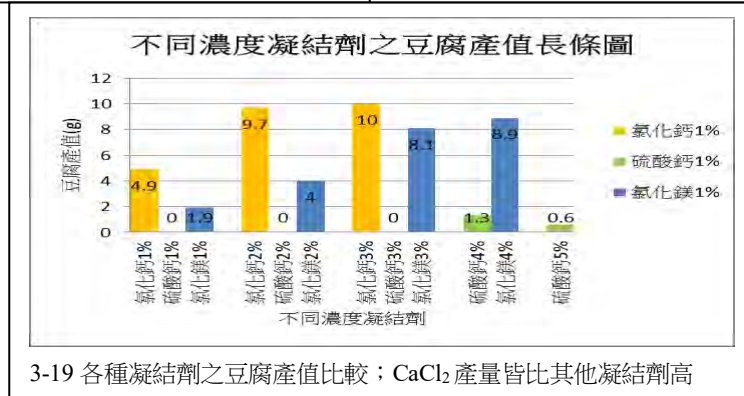
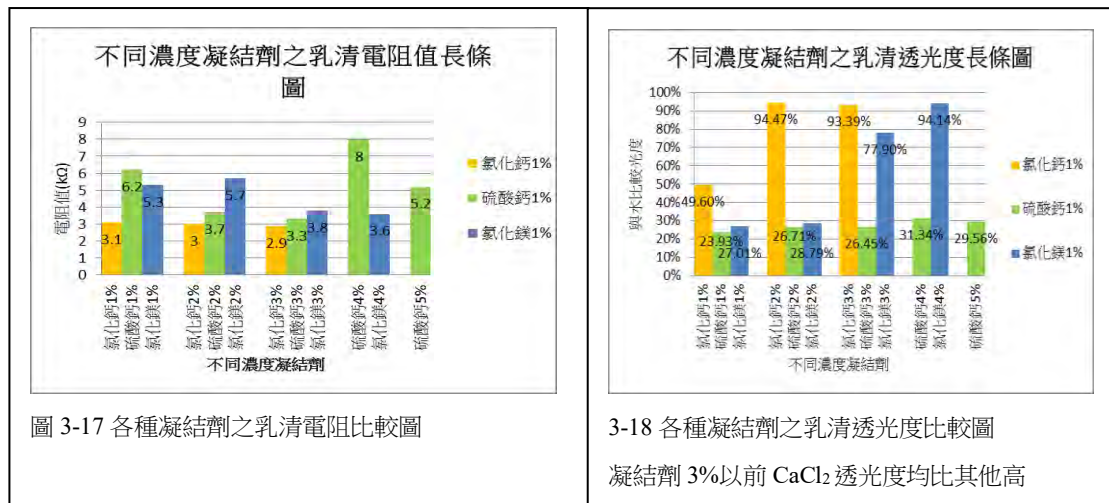
MgCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	清水	豆漿
光敏讀數平均	272.3	290.3	785.3	949	1008	204.5
與水比較之%	27.01	28.79	77.90	94.14	100	20.28

(6) 加入不同量的 MgCl<sub>2</sub> 所得的乳清之透光度與水相較下，4% (94.14%) > 3% (77.90%) > 2% (28.79%) > 1% (27.01%)。

(7) 而蛋白質凝結之產量為 4% > 3% > 2% > 1%。

(8) 濃度不同 MgCl<sub>2</sub> 所得的乳清之電阻相較下，4% (3.6 kΩ) < 3% (3.8 kΩ) < 2% (5.7 kΩ) < 1% (5.3 kΩ)。

(9) 由表 3-1、3-4、3-7 得出圖 3-19；由 3-2、3-5、3-8 得出圖 3-17；由 3-3、3-6、3-9 得出圖 3-18。





(六) 實驗討論：

1. 蛋白質大部分變成豆腐，則乳清透光度高，因此凝結劑濃度越高產生的乳清透光度與豆腐產值呈正相關。
2. 凝結劑濃度雖可增加豆腐產值，但要注意豆腐及乳清中是否有過量的凝結劑，以免影響口感。所以豆腐產量與乳清透光和電阻有關。
3. 由表 3-2 可知  $\text{CaCl}_2$  當凝結劑時乳清電阻與豆漿比較：豆漿 (3.3  $\text{K}\Omega$ ) > 1% (3.1  $\text{K}\Omega$ ) > 2% (3.0  $\text{K}\Omega$ ) > 3% (2.9  $\text{K}\Omega$ )，故乳清導電性 3% > 2% > 1%，但 2% 和 3% 產值相當，反映出 3%  $\text{CaCl}_2$  過量。
4. 由表 3-4、圖 3-19 可知 1%、2%、3%  $\text{CaSO}_4$  無產值，表 3-6 三者透光度與豆漿相近，是因為  $\text{CaSO}_4$  蛋白質凝結細緻，故蛋白質在網目為 18 支的豆漿布中易漏到乳清中。
5. 統整表 3-1~表 3-9 可得表 3-10:不同凝結劑之比較：

表 3-1-10 不同凝結劑之比較

項目比較	豆腐產值	乳清透光度	乳清電阻值	結果
$\text{CaCl}_2$	3% (10) ≐ 2% (9.7)	3% (93.39%) ≐ 2% (94.47%)	2% (3.0 $\text{K}\Omega$ ) >3% (2.9 $\text{K}\Omega$ )	2%效果最好
$\text{CaSO}_4$	4% (1.3) >5% (0.6)	4% (31.34%) ≐ 5% (29.56)	5% (5.2 $\text{K}\Omega$ ) <4% (8.0 $\text{K}\Omega$ )	4%效果最好
$\text{MgCl}_2$	3% (8.1) ≐ 4% (8.9)	4% (94.14%) >3% (77.90%)	3% (3.8 $\text{K}\Omega$ ) ≐ 4% (3.6 $\text{K}\Omega$ )	4%效果最好

- (1) 選擇 2%  $\text{CaCl}_2$  是因為 3% 及 2% 產值相近，透光度相似，又因 3% 較好導電，代表有過量的情形，所以 2%  $\text{CaCl}_2$  效果最好，故產值、透光度相近時，導電性成為選擇凝結劑濃度之重要依據。
- (2) 選擇 4%  $\text{CaSO}_4$  是因為 4% 產值 > 5%，4% 電阻大，所以 4%  $\text{CaSO}_4$  效果佳，透光度相近，故導電性和產值成為選擇凝結劑濃度之重要依據。
- (3) 選擇 4%  $\text{MgCl}_2$  是因為 3% 及 4% 產值和電阻皆相近，但 4% 透光度較 3% 佳，代表蛋白質有效率凝結成豆腐，相對到乳清中的蛋白質較少，所以 4%  $\text{MgCl}_2$  效果最好，故產值、導電性相近時，透光度為選擇凝結劑濃度之重要依據。

### (七) 研究三總結：

1.在此實驗中我們選出最好凝結劑為 2%CaCl<sub>2</sub> 原因如下：

(1) 產值高，由圖 3-19 可知，CaCl<sub>2</sub> 凝結劑所產豆腐產值遠比其他皆高。

(2) 凝結劑要適當不過量，2%CaCl<sub>2</sub> 與 3%CaCl<sub>2</sub> 產質差不多，2% CaCl<sub>2</sub> 乳清電阻值比 3%大，所以 2% CaCl<sub>2</sub> 不過量，因此我們取最少藥劑達到最佳豆腐產量的條件故選 2%。

2.製作出良好豆腐所追求的條件是：產值大且口感好。利用乳清透光度及導電性之科學化數據可協助判斷添加凝結劑的適當用量，其說明如下：

(1) 豆腐產量大：可利用乳清透光度高低，來判斷蛋白質是否大量凝結成豆腐。

(2) 豆腐口感好：可利用乳清的電阻大小，表示導電性，可檢視凝結劑是否過量。

#### 四、研究四、不同溫度對豆漿蛋白質凝結的影響

(一) 實驗目的：了解不同溫度對於豆漿蛋白質凝結的影響

(二) 實驗器材：豆漿、2%氯化鈣水溶液、水、豆漿布、吸濾瓶、燒杯、布赫納漏斗、溫度計、量筒、自製 Arduino 板電阻溫度記錄裝置、自製透光紀錄裝置。

(三) 實驗步驟：

1.取 100ml 的豆漿並加熱至 15°C、30°C、45°C、60°C、75°C、80°C時，分別加入 2% 的氯化鈣水溶液 10 攪勻靜置三分鐘。

2.倒入用豆漿布蓋住的布赫納漏斗內，將一片布蓋在豆花上後用重物（1kg）壓上。過濾的乳清倒入量筒，豆腐不再滴乳清後取出。陰乾及乾燥後秤重。

3.將各個溫度實驗所得的乳清分別測電阻及透光度，觀察並紀錄之。

(四) 實驗結果：

1.15°C、30°C、45°C、60°C、75°C、80°C豆漿觀察結果如表 4-1，如圖 4-1、4-2：

表 4-1 不同溫度的豆漿蛋白質凝結及乳清測定情形

豆漿溫度	豆漿凝結情形	豆腐成品情形	乳清外觀	乳清沉澱量	口感	電阻讀數 (轉換 kΩ)	光敏讀數	與水比較之透光度
15°C	不凝結 豆漿狀	不成形	呈豆花	整管內都是豆花	無豆腐可吃	117 (43kΩ)	454	45 %
30°C	豆糊狀	不成形	淡青黃	2.8cm	有點苦	141 (5.7kΩ)	658	65.3%
45°C	豆花	成形	不透明 檸檬黃	1.1cm	最好吃	126 (4.6kΩ)	824	81.8%
60°C	豆花 比 45 好	成型	亮白黃	3.2cm	帶點 苦味	112 (4.1kΩ)	656	65.1%
75°C	凝結比 60 好	成型	暗沉檸 檬黃	1cm	第二 好吃	127 (4.7kΩ)	742.5	73.7%
80°C	快速凝 結不易 滑動	成型	亮淡黃	0cm	初吃苦 吞下甘	124 (4.6kΩ)	662.5	65.7%

2.不同溫度所產生豆腐產值紀錄如表 4-2，如圖 4-3

表 4-2 不同溫度所產生豆腐產值

溫度	15°C	30°C	45°C	60°C	75°C	80°C
陰乾重量	0.6g	9.3g	18.2g	15.2g	15.8g	17.5g
脫水重量	0.1(g)	3.7(g)	8.1(g)	5.7(g)	8.1(g)	7.4(g)

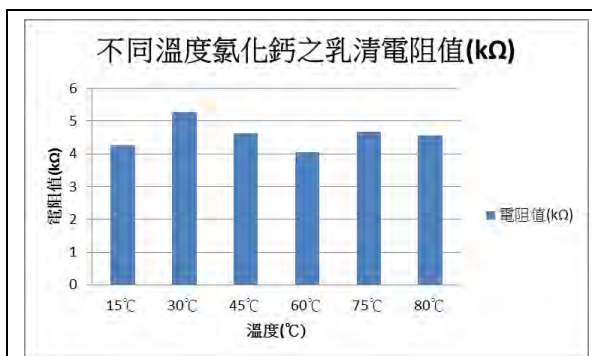


圖 4-1 不同溫度的豆漿所得乳清電阻值相差不大

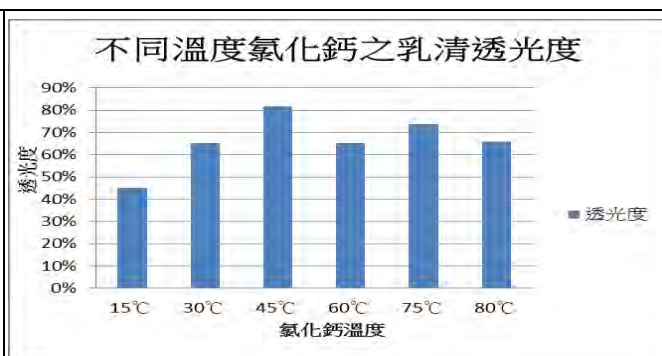


圖 4-2 不同溫度的豆漿所得乳清透光度 45°C 最高

- 3.不同溫度加入 2%氯化鈣所製成的豆腐所得乳清之透光性與水相較下為 45°C 最高。
- 4.產值為 45°C 與 75°C 相同。
- 5.各溫度乳清電阻值相差不大。

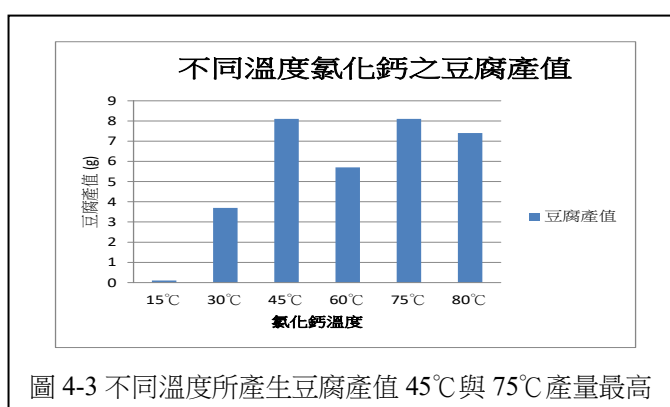


圖 4-3 不同溫度所產生豆腐產值 45°C 與 75°C 產量最高

#### (五) 實驗討論：

- 1.加入 2%氯化鈣加熱至 15°C 與 30°C 後，因蛋白質分子太小，所以被濾到了乳清中，使乳清蛋白質含量多，管內蛋白質凝結，因此電阻大透光度低。表示:低溫蛋白質無法有效地與  $\text{CaCl}_2$  作用。
2. 45°C 與 75°C 產值相當。因加相同濃度的凝結劑，所以電阻值相似。而透光度 45°C (81.75%) 比 75°C (73.66%) 好，代表蛋白質多數與凝結劑反應，故電阻值及產值相近時，透光度成為選擇凝結劑的重要依據。

#### (六) 研究四總結：

1. 45°C 及 75°C 產值相同、導電度相似且乳清內透光度成為溫度重要選擇依據。
2. 45°C 豆漿透光度較佳，表示蛋白質少流失於乳清中，且 45°C 易加熱，因此我們選擇 45°C 作為之後實驗控制溫度的依據。

## 五、研究五、豆漿蛋白質凝結時導電性的觀察

### 實驗五-0：校正自製溫敏、電阻感應器。

- (一) 實驗目的：找出溫敏感測器數值與實際溫度之關係。
- (二) 實驗藥品：水（泰山公司出品）
- (三) 實驗裝置：酒精燈、溫度計、Arduino 板、銅電極、自製電阻溫度感測裝置。
- (四) 實驗步驟：
  1. 在隔水加熱的方式下以溫度計測量不同的溫度變化時溫敏讀數的改變。
  2. 利用溫度感測器及電阻感測器配合 Arduino 板，觀察並紀錄之，如圖 5-0-1。
  3. 利用三用電表校正電阻感應器，如圖 5-0-2。

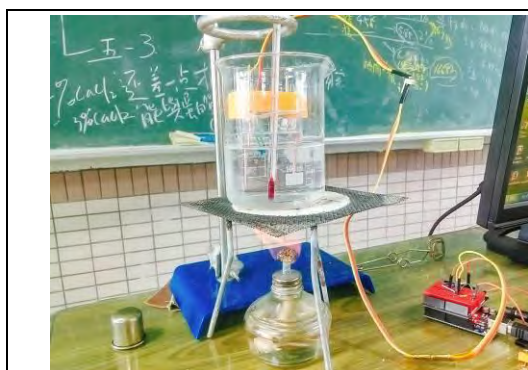


圖 5-0-1 電阻溫度感測紀錄情形

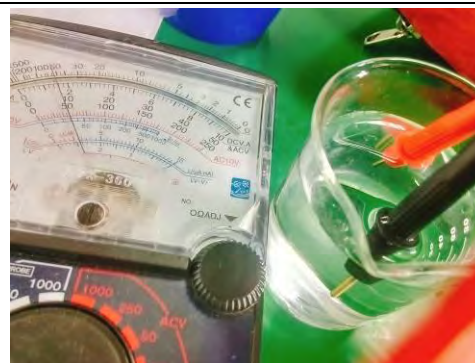


圖 5-0-2 三用電表感測水的電阻之情形

### (五) 實驗結果：

1. 探討純水不同溫度下對其導電性的影響，是利用溫度感測器及電阻感測器配合 Arduino 板測量每秒溫度變化量對導電性影響的結果。水的導電性及溫度所繪製成如圖 5-0-3。
2. 三用電表測水之電阻讀數：25°C時 60kΩ 與自製電阻感測器所得數與之分壓公式轉換後的數值相同，無誤。

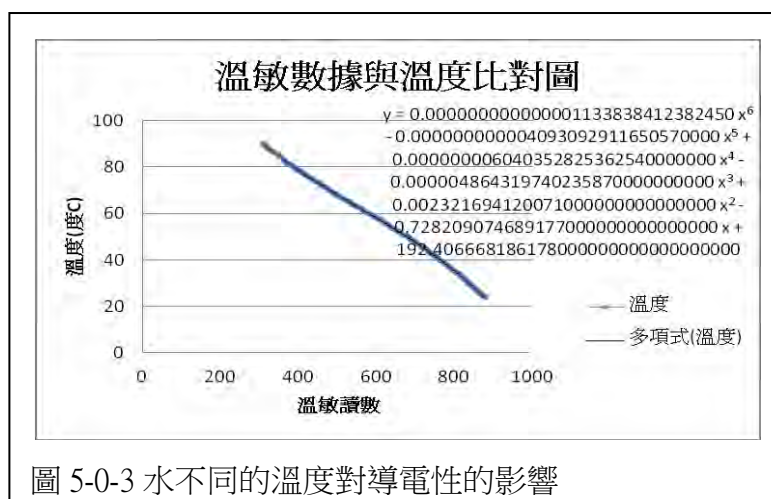


圖 5-0-3 水不同的溫度對導電性的影響

## (六) 實驗討論：

1. 運用圖 5-0-3 中純水溫度 $^{\circ}\text{C}$ 對溫敏讀數，得出方程式為

$$y=1.13383841238245x6*10^{-15}-4.09309291165057x5*10^{-12}+6.04035282536254x4*10^{-9}-4.86431974023587x3*10^{-6}+2.321694120071x2*10^{-3}-7.28209074689177x*10^{-1}+1.92406668186178*10^2。$$

方程式之小數點取到後三十位可減少誤差。溫敏讀數換成 $^{\circ}\text{C}$ 無誤。

2. 由圖 5-0-3 可知測純水在不同溫度下的導電性，所得之圖形可確定自行設計之導電性測量裝置的在  $25^{\circ}\text{C}$  至  $88^{\circ}\text{C}$  穩定性佳。
3. 將所得之方程式寫入 Arduino 溫敏程式中以方便將測量之溫敏讀數直接轉換 $^{\circ}\text{C}$ 並記錄之。
4. 三用電表所測的電阻值無法自動記錄數據，所以將分壓公式寫入 Arduino 程式中，可自動測量讀數後轉為  $\text{k}\Omega$  值並儲存於電腦中。

## 實驗五—1：觀察水在不同溫度下之導電性。

(一) **實驗目的：**測定水在不同溫度下的導電性，以確定自行設計之導電性測量裝置的穩定性及其可使用範圍。

(二) **實驗藥品：**水。

(三) **實驗裝置：**酒精燈、Arduino 板、銅電極、自製電阻溫度感測器。



圖 5-1-1 自製電阻溫度感測裝置實驗裝置圖

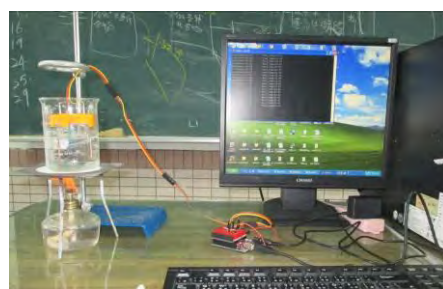


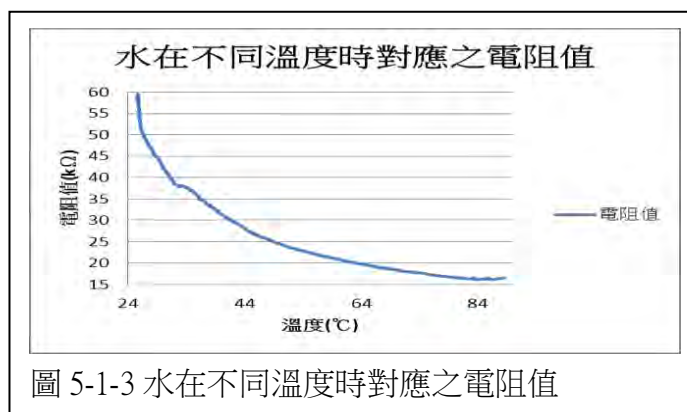
圖 5-1-2 電阻溫度感測紀錄情形

## (四) 實驗步驟：

1. 將純水在隔水加熱的方式下測量不同的溫度變化時導電性的改變。
2. 利用溫度感測器及電阻感測器配合 Arduino 板，觀察並紀錄之，如圖 5-1-2。

### (五) 實驗結果：

1. 探討利用電阻溫度感測器配合 Arduino 板測量每秒溫度變化量及其對導電性的變化結果，水的導電性及溫度所繪製成如圖 5-1-3。



2. 得出方程式為

$$y=0.0115x^2-1.7823x+85.601。$$

### (六) 實驗討論：

1. 由圖 5-1-3 可知測水在不同溫度下的導電性，所得之圖形可確定自行設計之導電性測量裝置的在 24°C 至 86°C 穩定性佳。
2. 此裝置適合豆漿加熱之溫度範圍，是一個穩定測量又方便紀錄之裝置。

### 實驗五—2：觀察豆漿在不同溫度下的導電性。

(一) 實驗目的：測定豆漿在不同溫度下的導電性，並與水及加入凝結劑凝結後之豆漿結果分析比較用。

(二) 實驗藥品：豆漿。

(三) 實驗裝置：同五—1 實驗裝置。

(四) 實驗步驟：

1. 將豆漿在隔水加熱的方式下測量不同的溫度變化時導電性的改變。
2. 利用溫度感測器及導電感測器配合 Arduino 板，觀察並紀錄之，如圖 5-2-1。

(五) 實驗結果：

1. 探討以每秒測量繪製圖形。豆漿的導電性及溫度所繪製成如圖 5-2-2。
2. 實驗五中豆漿導電性的趨勢，電阻值會隨著溫度變化緩緩下降，得出方程式為

$$y=0.0001x^2-0.0397x+7.885。$$

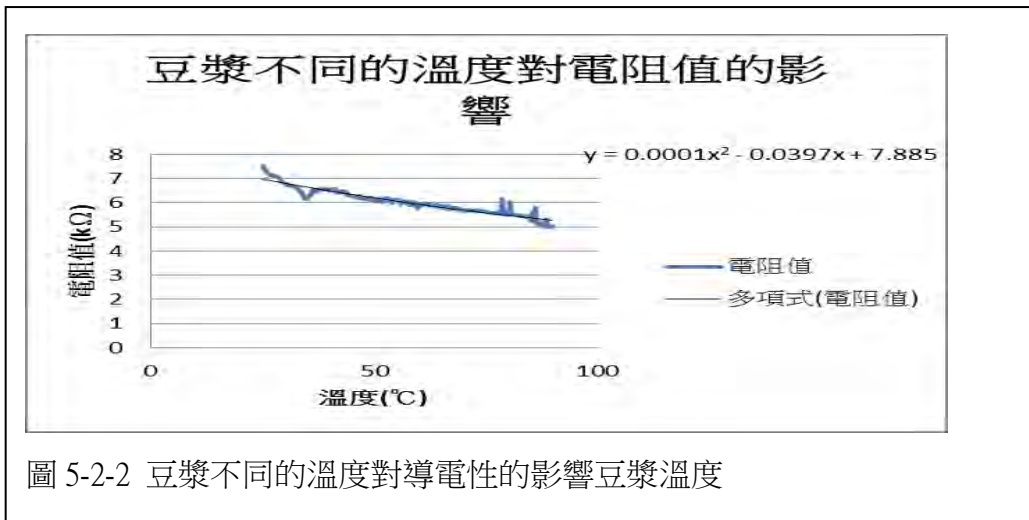


圖 5-2-2 豆漿不同的溫度對導電性的影響豆漿溫度

#### (六) 實驗討論：

1. 在相同溫度下與五-0 比較，豆漿 28°C 的電阻值為 7.09kΩ，而水在 28°C 的電阻值是 46.715kΩ。表示豆漿的電阻比水小非常多，具有豐富帶電球蛋白的豆漿，比水容易導電許多。
2. 我們的測量儀器是十分穩定，但圖 5-2-3 每秒電阻之變化量呈鋸齒狀，可知：由跳動的數據得知豆漿受熱時，是非常具有動態的，十分有趣。

#### 實驗五-3：觀察豆漿在沖入凝結劑時電阻值及溫度變化情形。

- (一) 實驗目的：測定豆漿在沖入不同濃度凝結劑時電阻值及溫度變化，蛋白質電阻之差異。
- (二) 實驗藥品：豆漿、CaCl<sub>2</sub>1%、CaCl<sub>2</sub> 2%、CaCl<sub>2</sub>3%水溶液。
- (三) 實驗裝置：酒精燈、Arduino 板、銅電極、溫度電阻感測器。裝置圖如實驗五-1 的圖 5-1-2。
- (四) 實驗步驟：
  1. 將豆漿在隔水加熱的方式下加熱至 45°C。沖入 10ml 1%的 CaCl<sub>2</sub> 水溶液並利用電阻溫度感測器配合 Arduino 板。
  2. 將 10ml 1%的 CaCl<sub>2</sub> 水溶液換成 2%及 3%的 CaCl<sub>2</sub> 水溶液重複步驟 1，觀察豆漿蛋白質凝結時的電阻與溫度的變化並紀錄之。



(五) 實驗結果：

1. 用 1%、2%CaCl<sub>2</sub> 溶液加入 45°C 豆漿中，導電感測器及溫度感測器每秒讀數繪圖，如圖 5-3-1、圖 5-3-2、圖 5-3-3、圖 5-3-4、圖 5-3-5、圖 5-3-6。
2. 1%、2%、3%凝結蛋白質後，放置 30 分鐘、2 小時、3 小時之電阻值比較，如表 5-3-1。

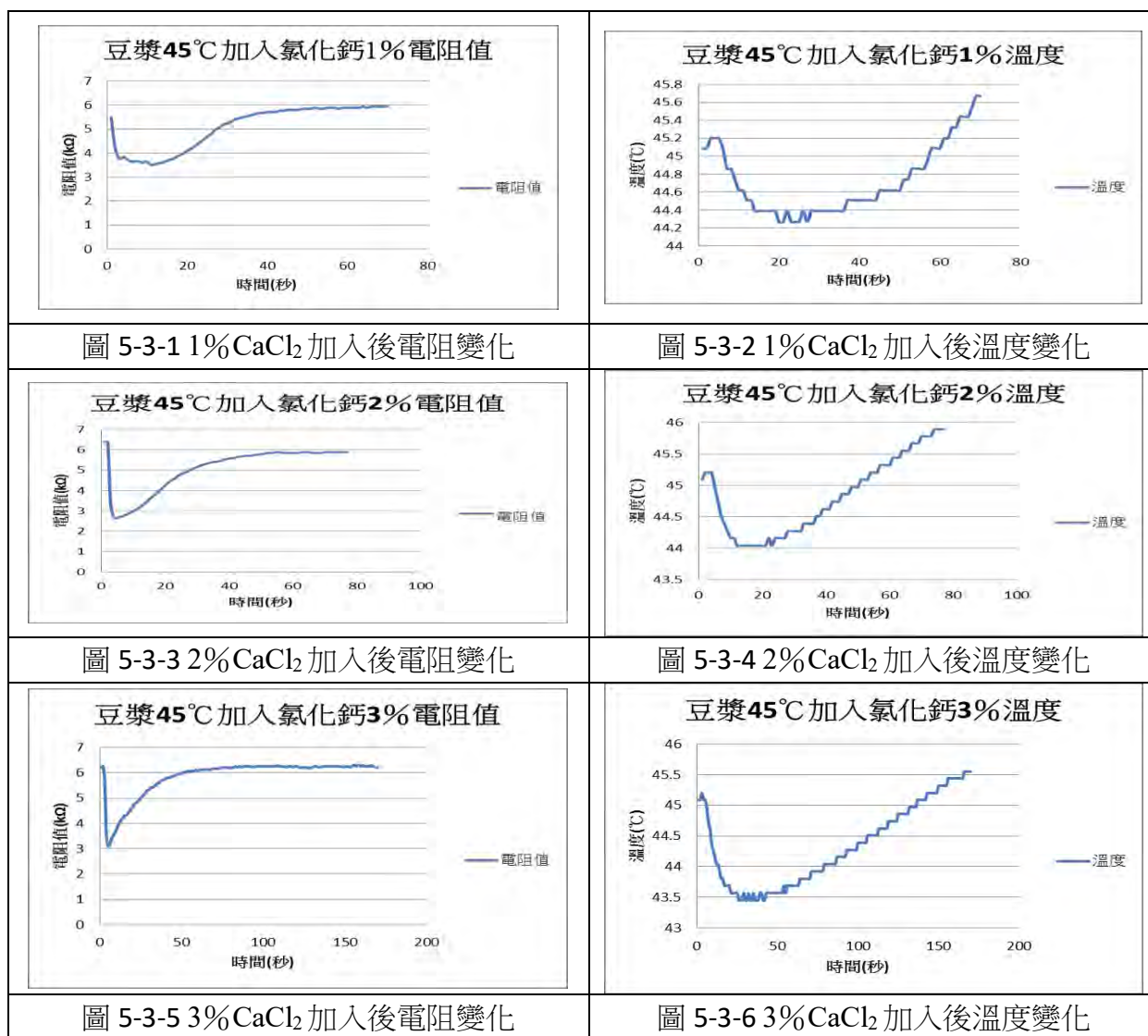


表 5-3-1 室溫 30 度放置 30 分鐘、2 小時、3 小時之電阻值比較

	30 分鐘	2 小時	3 小時
1%CaCl <sub>2</sub>	6.8kΩ	7.14kΩ	6.81kΩ
2%CaCl <sub>2</sub>	6.39kΩ	6.39kΩ	6.86kΩ
3%CaCl <sub>2</sub>	6.07kΩ	6.44kΩ	6.86kΩ

(六) 實驗討論：

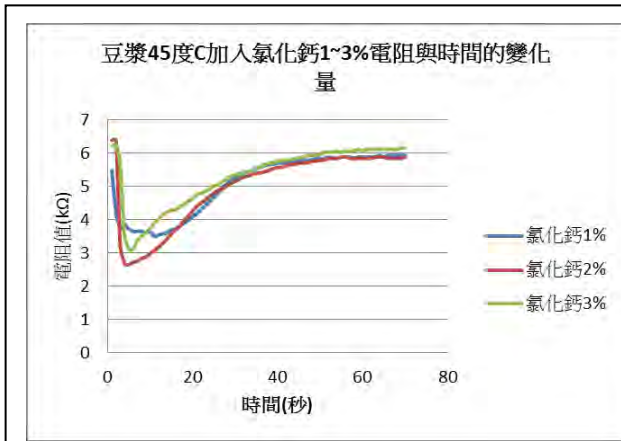


圖 5-3-7 豆漿 45°C 加入不同濃度 CaCl<sub>2</sub> 電阻之變化

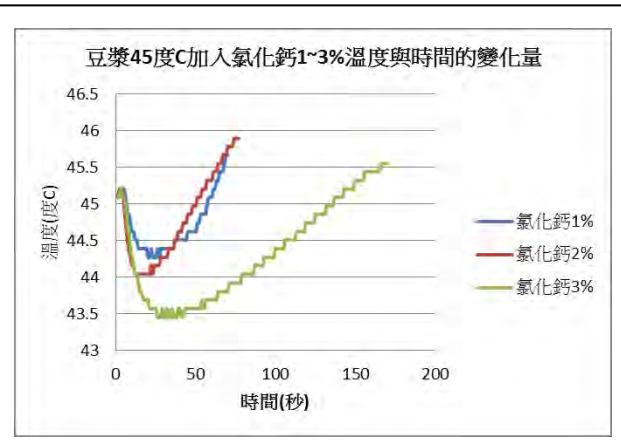


圖 5-3-8 豆漿 45°C 加入不同濃度 CaCl<sub>2</sub> 之溫度變化

1. 45°C 豆漿加入不同濃度凝結劑後，電阻依時間之變化分析綜合，如圖 5-3-7，電阻在沖入 CaCl<sub>2</sub> 水溶液後數值皆下降，在約 50 秒後升回 6kΩ 左右，短短的時間內，豆漿內的蛋白質就與氯化鈣作用結合，並且在 40 秒內再次回到未加入前的電阻值，如表 5-3-1 中可知三小時內不再增加，表示蛋白質凝結於 40 秒內就完成大部分的凝結，如圖

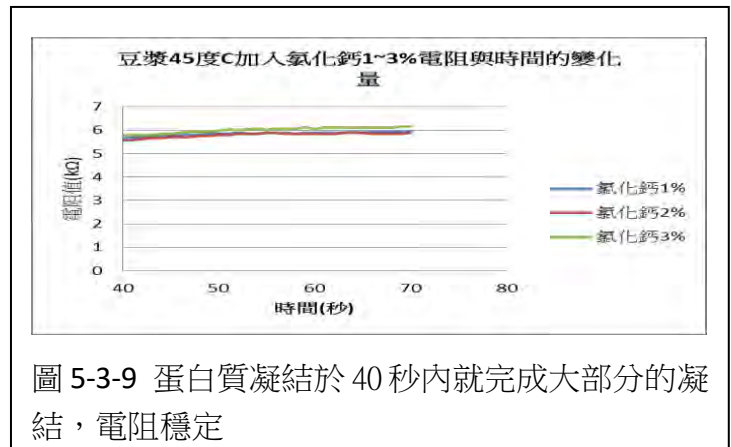


圖 5-3-9 蛋白質凝結於 40 秒內就完成大部分的凝結，電阻穩定

5-3-9。圖 5-3-7 40 秒後放大作成 5-3-9。

2. 45°C 豆漿加入不同濃度凝結劑後，溫度依時間之變化分析綜合，如圖 5-3-8，加入 10ml 不同濃度的 CaCl<sub>2</sub> 水溶液後豆漿溫度一度下降 4°C，但因還剛加熱過後的水浴內，溫度便逐漸升回 45°C 左右。這是我們一直泡在水浴中隔水加熱，雖然酒精燈不再加熱，但外圍的水溫依然會與豆漿達到熱平衡，再次回上升溫度。時間: 1% < 2% < 3%，濃度愈高溫度上升愈慢。
3. 加入 2%CaCl<sub>2</sub> 之電阻值下降得比 3%多，就算多次實驗，結果依舊如此，令人好奇濃度 2% CaCl<sub>2</sub> 加入豆漿後蛋白質凝結過程，導電度居然比 3%好。3%CaCl<sub>2</sub> 加入 45°C 豆漿時，第 5 秒至第 11 秒之間，電阻值之變化值 3%電阻值上升幅度比

2%快。蛋白質凝結比 2% CaCl<sub>2</sub> 快。

## 研究五總結：

(一) 綜合實驗 5-1、5-2、5-3 分析：

1. 導電性圖 5-1-3、圖 5-2-2 得到表 5-3-2 水、豆漿、凝結蛋白質之導電性及溫度比較。

表 5-3-2 水、豆漿、凝結蛋白質之導電性及溫度比較

項目	電阻值	溫度
水	58kΩ~16.5 kΩ	24°C~86°C
豆漿	7.5kΩ~ 5.5kΩ	24°C~74°C
凝結蛋白質	6kΩ 左右	室溫 27~29°C

2. 水的導電度與豆漿相比可知豆漿比水好導電。

3. 加了凝結劑的蛋白質在 40 秒後升回約 6kΩ 左右。

(二) 在水浴中加入凝結劑之凝結蛋白質，因凝結劑濃度越大，溫度上升越慢。

(三) 45°C 豆漿加入濃度 2% 凝結劑，電阻由 2.65kΩ (第 5 秒) 再度回升到 5.89kΩ (第 55 秒) 只需花 50 秒，在短短 50 秒完全再次回到未加入凝固劑前之電阻值，導電性不再改變。

## 伍、結論

一、豆腐含有豐富的營養素，是亞洲地區重要傳統食品之一。傳統豆腐的主要組成除水之外就是蛋白質了，豆漿其中的蛋白質凝結作用是為傳統豆腐製作過程中的最重要程序，對於豆腐產品的產率及品質有著重要而直接的影響。

二、由研究二我們發現豆花粉及鹽鹵中可使豆漿中的蛋白質凝結之成分為 CaSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub>、CaCl<sub>2</sub>，其中又以 Ca<sup>2+</sup>及 Mg<sup>2+</sup>為凝結的主因。

三、運用不同的凝結劑及濃度探討對豆漿蛋白質凝結之影響，由研究三可知要製作出良好豆腐的科學數據，必須考慮以下兩點：

(一) 豆腐產量大。乳清透光度高，表示蛋白質大量凝結成豆腐。

(二) 豆腐口感好 (表示 CaCl<sub>2</sub> 不過量，否則易有苦澀味)。故乳清的電阻要大，表示導電性低，凝結劑不過量。

四、不同溫度對豆漿蛋白質凝結所造成之影響，是 45°C 產值與 75°C 相同，但加入 2%CaCl<sub>2</sub>

加入 45°C 豆漿凝結效果比 75°C 豆漿結果好，75°C 豆漿的乳清導電性大於 45°C 的乳清導電性，表示 45°C 蛋白質有效凝結，45°C 的乳清中  $\text{CaCl}_2$  較少，豆腐口感較佳。

五、綜合以上幾點，我們選擇用濃度 2% 的  $\text{CaCl}_2$  並加熱至 45°C 為條件，最能滿足製作傳統豆腐時之科學數據可達最佳蛋白質凝結條件。

六、最後我們想探討加入凝結劑豆漿蛋白質凝結時導電性的觀察，並測定豆漿在不同溫度下的導電性。得知在水浴中加入凝結劑之凝結蛋白質，因凝結劑濃度越大，溫度上升越慢。而 45°C 豆漿加入濃度 2% 凝結劑，電阻由 2.65k $\Omega$ （第 5 秒）再度回升到 5.89k $\Omega$ （第 55 秒）只需花 50 秒，在短短 50 秒完全再次回到未加入凝固劑前之電阻值，導電性不再改變。

七、利用自製儀器可精準穩定測量蛋白質凝結時導電度及透光度來探討製作傳統豆腐時蛋白質凝結關鍵之有趣結果，不僅可以供後人參考，倘若可以配合現代化的電腦設備，對於豆腐之生產製作將會有相當的幫助。

## 陸、心得

這次我們很幸運地能參加科展活動，這過程很辛苦！寒假及假日幾乎都在實驗室中度過，雖然遇到了許多困難與挑戰，不過在研究中經一番的磨鍊後，習得了該有的科學精神、得到了許多難能可貴的實驗經驗，更重要的是我們體驗到了團隊合作的重要。隨著這個實驗到現在能夠完成這整個作品，真開心。雖然豆漿是膠體溶液，有著一定的困難及複雜性，有著結果難量化的問題，我們嘗試以 Arduino 偵測各項實驗數據，克服蛋白質凝結過程當中，快速變化的問題。在這漫長的研究探索中，因應實驗的需要我們要克服許多像如何由網路資料學習 Arduino 基本電路、C 語言、使用麵包板及電路接錯時，導致 Arduino 電路板發生錯誤找不出程式錯誤等等困難。最後，將所有成果與大家分享時，那真是好有成就感呢！

## 柒、建議

- 一、製作傳統豆腐時，豆漿濃度對導電度之影響，也值得下次進一步探討。
- 二、我們測量溫度變化對導電度之影響之實驗時，發現 Arduino 板的 USB 線資料回傳給電腦供的功能必須與供應電源之功能分開，以免回傳的數據出現干擾，故建議使用外接 5V 的穩定電源。
- 三、研究二是以鹽滷及豆花粉中的成分探討到底是什麼成分可使豆漿中蛋白質凝結，而還有沒有其他架數的金屬離子可使蛋白質凝結，值得再探討。

## 捌、參考文獻

- 一、史家瑩（2013）• *國民中學自然與生活科技二下*• 台南市：翰林。
- 二、史家瑩（2013）• *國民中學自然與生活科技三上*• 台南市：翰林。
- 三、郭文玉、劉發勇、邱宗甫（2009）• *食品加工 I*• 台南市：復文。
- 四、沈盈如（2008）• *硫酸鈣豆腐蛋白質和水分子狀態之研究*（未出版之碩士論文）• 新北市：天主教輔仁大學。
- 五、陳淑怡（2010）• *浸漬與磨漿加工條件對豆漿和豆腐品質之影響*（未出版之碩士論文）• 台北市：中國文化大學。
- 六、張獻瑞、劉登城、賴茲漢（2011）• *食品加工實習*• 台中市：富林。

## 玖、附件

### 1. Arduino 測量電阻值及溫度(有單位)

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
    float real_resistance, real_temp, float_temp;
    int resistance = analogRead(A0);
    int temp = analogRead(A1);
    real_resistance = (33 * (float) resistance) / (1023 - (float) resistance);
    float_temp = (float) temp;
    real_temp = 0.00000000000000113383841238245
    *float_temp*float_temp*float_temp*float_temp*float_temp*float_temp -
    0.00000000000409309291165057 *float_temp*float_temp*float_temp*float_temp*float_temp+
    0.00000000604035282536254 *float_temp*float_temp*float_temp*float_temp -
    0.00000486431974023587 *float_temp*float_temp*float_temp +
    0.002321694120071*float_temp*float_temp - 0.728209074689177 *float_temp +
    192.406668186178;
    Serial.print("resistance:");
    Serial.print(real_resistance);
    Serial.print("\ttemp:");
    Serial.println(real_temp);
    delay(1000);
}
```

### 2. Arduino 光敏讀數(加按鈕)

```
int buttonState = 0;
const int buttonPin = 2;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(buttonPin, INPUT);
}
void loop() {
    int sensorValue = 0;
    buttonState = digitalRead(buttonPin);
    if (buttonState == HIGH) {
        sensorValue = analogRead(A0);
        Serial.print("Brightness:");
        Serial.println(sensorValue);
    }
}
```

### 3. Arduino 電阻讀數(加按鈕)

```
int buttonState = 0;
const int buttonPin = 2;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(buttonPin, INPUT);
}
void loop() {
    int sensorValue = 0;
    buttonState = digitalRead(buttonPin);
    if (buttonState == HIGH) {
        sensorValue = analogRead(A0);
        Serial.print("resistance:");
        Serial.println(sensorValue);
        delay(500);
    }
}
delay(500);
}
```

## 【評語】 030201

本研究主題取材生活議題，以另類角度探討食用科學，由自製電導度計輔以 Arduino Uno 微控制器的協助，觀測實驗中各項可操弄因素對於豆花凝結現象之影響，實驗觀測完整且記錄詳細，所得之結論富有生活實際應用性，適合國中實驗室操作。未來可針對蛋白質凝結之原理多加著墨，並可使用不同蛋白質來源之膠體溶液進行探討，可大幅提升作品之完整性且使同學更加理解其中的機制。另外測量時須考慮稀釋效應是否對電導度造成影響，也需注意實驗數據的處理及計算。

作品海報

# 摘要

傳統豆腐主要成份除水之外就是蛋白質，豆漿的蛋白質凝結作用是傳統豆腐製作過程中最重要程序，對於豆腐的產率及品質有著重要而直接的影響。我們發現豆花粉及鹽滷中可使豆漿中的蛋白質凝結之成份為Ca<sup>2+</sup>及Mg<sup>2+</sup>。濃度2%的氯化鈣水溶液加入45°C的豆漿最能滿足製作傳統豆腐時蛋白質凝結量最大、乳清透光性高及乳清導電性低的條件。由豆漿蛋白凝結時電阻變化，得知40秒後蛋白質與氯化鈣作用趨近於緩和。

利用自製儀器精準測量導電度及透光度的有趣結果，探討蛋白質凝結之關鍵，對於豆腐之生產製作將會有相當的幫助。

## 壹、研究動機：

豆腐為日常生活中常用之食材，而豆漿為豆腐原料，因此我們好奇到底是什麼樣的成分竟然會讓豆漿凝結成豆腐呢？凝結劑的濃度、豆漿的溫度及豆漿中蛋白質變化情形是否影響豆漿之凝結？豆腐的凝結機制又花多少時間呢？所以我們測量導電性探討蛋白質凝結過程發生的變化，希望可以將此有趣的變化提供給往後想生產豆腐的人一些參考。

## 貳、研究目的：

- 一、了解製作豆漿、豆腐的歷史與製作過程、原理及豆漿品質穩定度。
- 二、探討了解鹽滷及豆花粉中是什麼物質使豆漿蛋白質凝結。
- 三、了解不同濃度藥劑對豆漿蛋白質凝結之影響。
- 四、了解不同溫度對於豆漿蛋白質凝結的影響。
- 五、了解加入凝結劑時蛋白質凝結花多少時間。



## 參、研究器材與藥品：

實驗藥品：品質穩定不含消泡劑之優質有機豆漿、氯化鋰、氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、氯化鋇、硫酸鈉、硫酸鎂、硫酸鈣、碳酸鈉、碳酸鈣、硝酸鎂、硫代硫酸鈉、鹽滷（成分：氯化鈉、氯化鎂）、豆花粉（成分：硫酸鈣、樹薯粉）。

實驗器材：自製透光記錄裝置、自製測量電阻溫度記錄裝置、布赫納漏斗、Arduino板、豆漿布。



不含消泡劑品質穩定的豆漿  
(在相同溫度下電阻值皆相同)



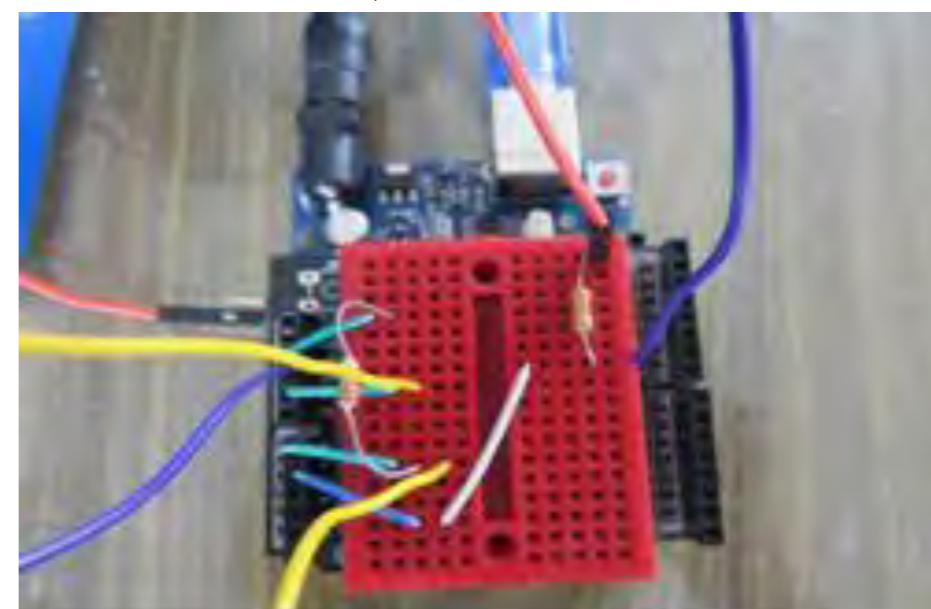
自製透光記錄裝置



自製測量電阻溫度記錄裝置



布赫納漏斗

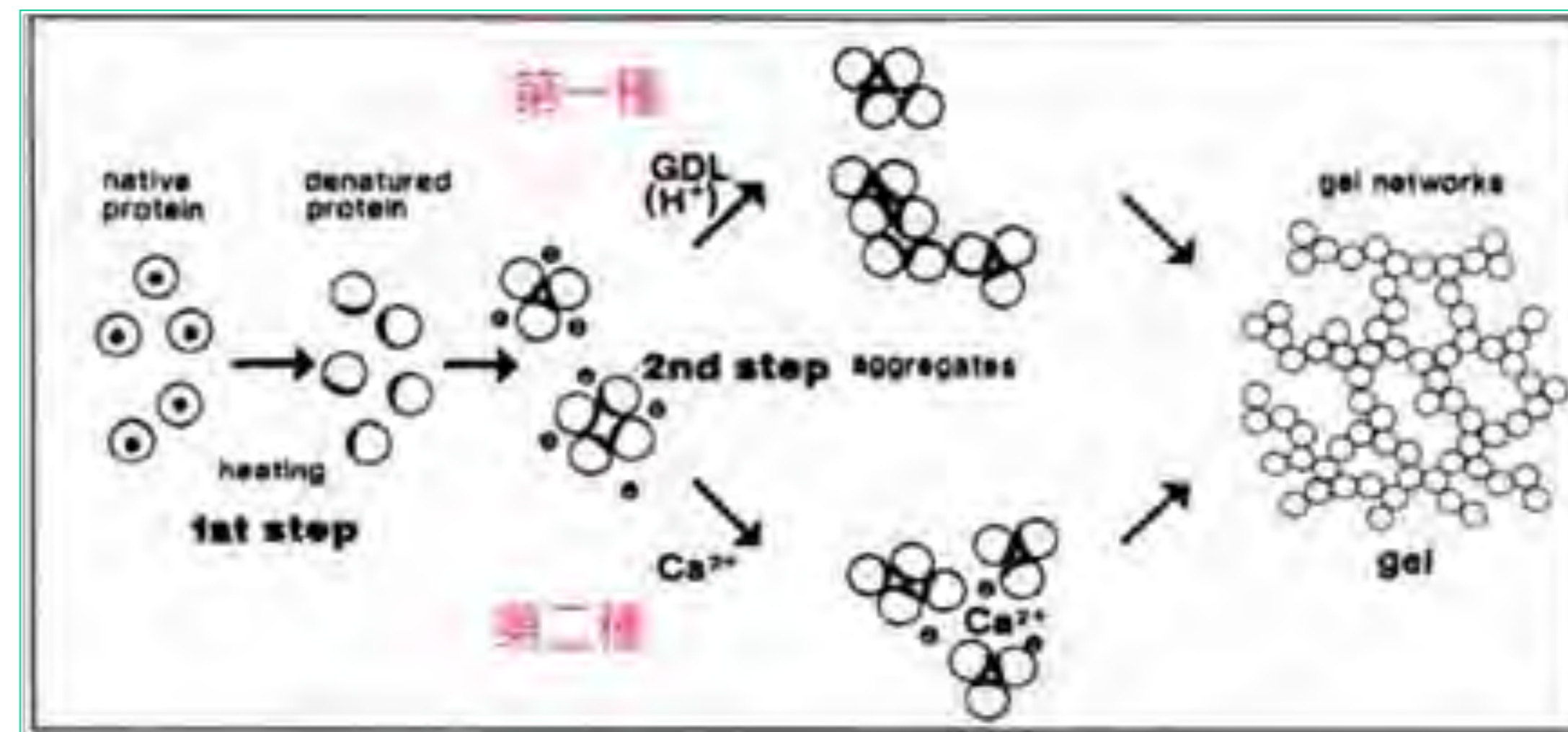
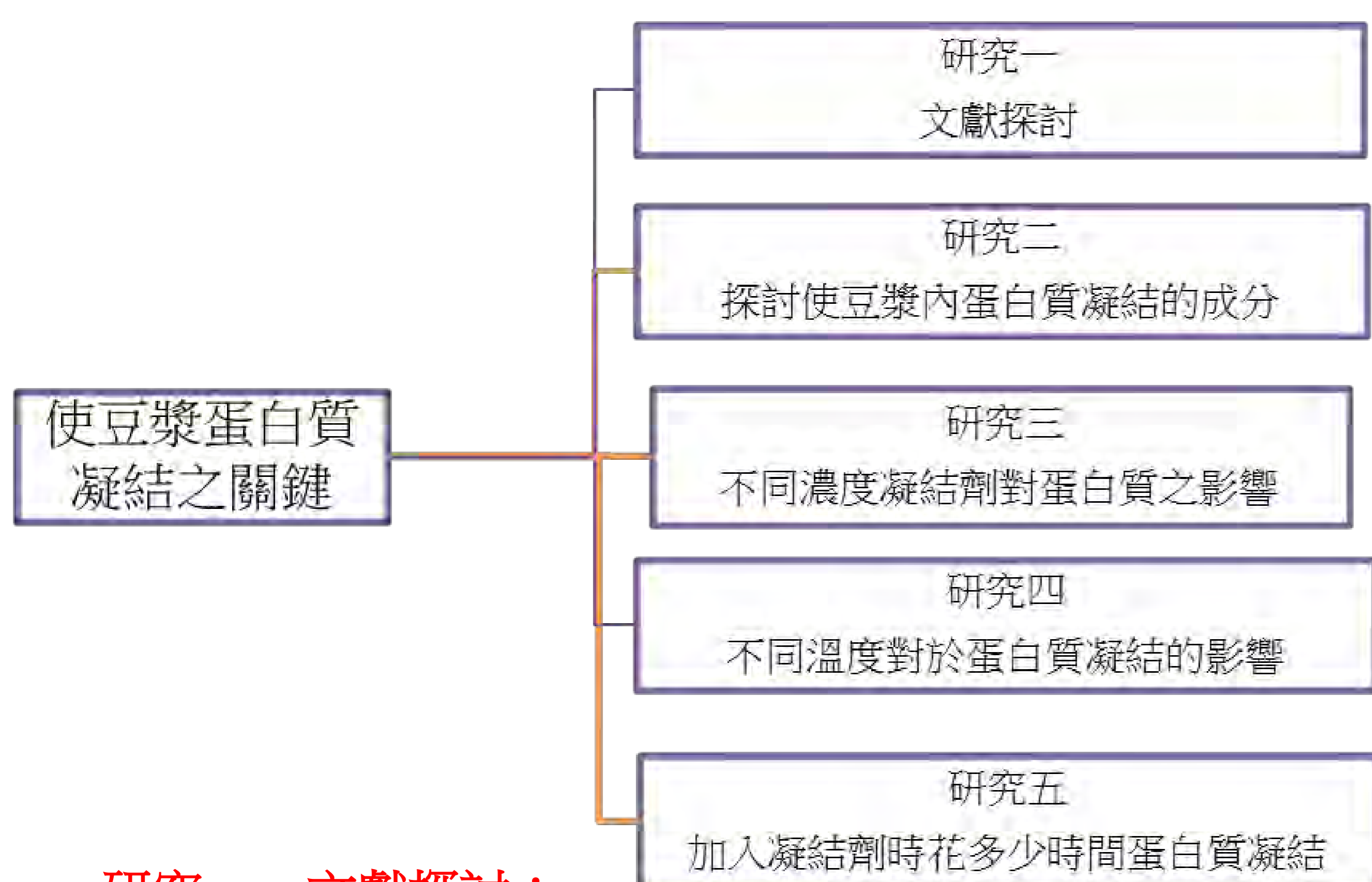


Arduino板裝置  
(每秒連續偵測並記錄次數無上限)



豆漿布（布料規格：18支）

## 肆、研究過程：



傳統豆腐的凝結機制

### 一、研究一、文獻探討：

(一) 研究目的：

1. 利用網路與文獻資料了解傳統豆腐歷史與製作過程及原理。
2. 利用文獻資料探討研究方法。



### (二)、研究結果：

1. 傳統豆腐：

(1) 豆腐的歷史：

相傳豆腐是西元前164年，由中國漢高祖劉邦之孫—淮南王劉安所發明。明李時珍《本草綱目》完整記載傳統豆腐生產過程：「凡黑豆、黃豆及白豆、泥豆、豌豆、綠豆之類，皆可為之。水浸，碾碎。濾去渣，煎成。以滷汁或山礬葉或酸漿醋淀，就釜收之。」

(2) 豆腐成分：主要是豆漿與凝結劑

i. 豆漿簡介

(i) 大豆（學名：*Glycine max*；英語：soybean）俗名又稱菽、黃豆，為一年生草本原產地為中國，已有五千年栽培歷史，種子含有豐富的植物性蛋白質、維生素、礦物質約4~5%其含水溶性蛋白質含量高達35~40%，俗稱早田之肉，大豆中水溶性蛋白質融入水中去渣就是豆漿。

(ii) 膠體溶液：豆漿為一種膠體溶液。

膠體溶液簡介：膠體粒子帶電有廷得耳效應，溶質顆粒約介於10<sup>-9</sup>m~10<sup>-7</sup>m，溶質原子數目約介於10<sup>3</sup>~10<sup>9</sup>，通常是高分子或離子吸附溶液中分子或其他離子構成的原子團，膠體粒子帶電是膠體粒子表面吸附帶電粒子所致，帶同性電荷，互相排斥不凝結。

ii. 凝結劑

傳統豆腐凝結劑：鹽滷，以氯化鎂、氯化鈣、硫酸鈣為主要成分，帶有苦味。與現代的盒裝豆腐是利用葡萄糖酸-δ-內酯當凝結劑，其凝結機制與傳統豆腐不同。

(3) 傳統豆腐原理

將鹽滷加入豆漿中凝結成豆腐即為傳統豆腐，製作傳統豆腐所使用凝結劑為石膏（硫酸鈣）或鹽滷，靜置凝結後將其移至有棉布的木製箱中，加蓋施力，將乳清榨乾後即得傳統豆腐。如圖一，製成豆腐分為兩種方法，第一種為加入葡萄糖酸-δ-內酯當凝結劑，第二種為加入鈣離子當凝結劑，本研究所探討為後者。

(4) 傳統豆腐的製作過程：大豆→精選→洗淨→泡水→磨豆→過濾→煮沸→降溫→沖入凝結劑→靜置冷卻→成品。

(5) 本實驗豆漿來源：

豆漿為高營養的膠體溶液，品質容易受製作過程與環境影響，一般市售豆漿含有消泡劑，但本實驗是針對蛋白質凝結機制之觀察，故含消泡劑的豆漿不適合本實驗。所以本實驗選用本地生產品質穩定衛生無消泡劑的有機豆漿。

i. 豆漿豆子來源

使用之高發芽IP (Identity Preservation) 進口之非基因改造有機黃豆，高蛋白含量的品種。有機黃豆均儲藏在低溫低濕的冷藏庫中，維持黃豆的發育能力，抑制或降低細菌和黴菌的增殖，及避免高溫高濕的條件造成黃麴毒素的產生。如圖1-1-1。

ii. 豆漿工廠設備

生產設備、連接管路均使用衛生級不鏽鋼管材料，並選擇以不鏽鋼模具取代傳統木製模具如圖1-1-2，避免傳統木製模具造成微生物污染的問題，衛生良好。

iii. 豆漿與消泡劑

豆漿加熱煮沸期間會產生大量泡沫如圖1-1-3。特殊煮釜設備能在完全無添加消泡劑下使豆漿均一加熱並完全煮沸。豆漿香醇濃郁，爽口滑順。

iv. 豆漿穩定度測試結果：

測量本實驗不同瓶的豆漿之溫度介於29.5~30.53°C，電阻值介6.03kΩ~6.81kΩ之間，在溫度相似電阻值也相近，故品質穩定，如圖1-1-4。

### (三)、研究討論：

我們發現原來在生活中看似小小的一塊豆腐，居然有著這麼大的學問，而且在中國歷史上竟然有了超過2000年的歷史呢！而凝結劑的比例是否對蛋白質凝結有產生什麼影響？豆漿的濃度和溫度是否又會對凝結產生影響呢？因此，為了滿足我們的好奇心，便更加深入地去瞭解這有趣的豆腐。



圖 1-1-1 工廠將黃豆儲存在低溫低濕的冷藏庫中，降低細菌與黴菌的增值



圖 1-1-2 不鏽鋼模具避免木製模具造成微生物污染的問題



圖 1-1-3 工廠在煮豆漿時不加消泡劑



圖 1-1-4 利用熱平衡使四杯不同豆漿同溫度



## 二、研究二、了解鹽滷及豆花粉中是什麼物質使豆漿蛋白質凝結

實驗二-1: 觀察豆花粉及鹽滷裡的成分：硫酸鈣(CaSO<sub>4</sub>)、氯化鎂(MgCl<sub>2</sub>)、氯化鈉(NaCl)、澱粉(樹薯粉)，對豆漿中蛋白質凝結的影響。

實驗結果：

1. 觀察哪一種物質使豆漿蛋白質凝結，並記錄結果於表1-1-1。
2. 由表1-1-1凝結情形及圖1-1-7，可知CaSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub>凝結的情形良好，而澱粉及NaCl不能使豆漿的蛋白質凝結。

實驗二-2：探討氯離子、硫酸根離子、鈣離子或鎂離子何種離子會使豆漿中蛋白質凝結

實驗結果：

1. 各種飽和溶液對豆漿的凝結情形

藥品	MgCl <sub>2</sub>	BaCl <sub>2</sub>	NaCl	LiCl	KCl	CaCl <sub>2</sub>	藥品	MgSO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>
是否凝結	○	○	X	X	X	○	是否凝結	○	X	○

藥品	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
是否凝結	X	X	X	X

結果	CaSO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>
是否凝結	○	○	○	○	○

2. 由表可知各種不同的飽和溶液對豆漿的蛋白質凝結情形：Cl<sup>-</sup>的化合物中MgCl<sub>2</sub>、BaCl<sub>2</sub>、CaCl<sub>2</sub>可使豆漿中的蛋白質凝結，而NaCl、LiCl、KCl不能；在硫酸根中CaSO<sub>4</sub>、MgSO<sub>4</sub>可使豆漿中的蛋白質凝結，而Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>不能；含有鎂離子的化合物皆可使豆漿蛋白質凝結；含有鈣離子的化合物皆可使豆漿蛋白質凝結。

實驗二-3：探討鹽滷的其中一個成分NaCl中的Na<sup>+</sup>對豆漿蛋白質凝結的影響。

實驗結果：

1. 各種不同的Na<sup>+</sup>化合物飽和溶液對豆漿蛋白質凝結情形Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaCl、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皆不可以使豆漿蛋白質凝結。

研究二結論：

1. 統整以上實驗發現：豆花粉及鹽滷中可使豆漿中的蛋白質凝結之成分為硫酸鈣、氯化鎂，其中又以鈣離子及鎂離子為凝結的主因。

藥品	結果	凝結情形
CaSO <sub>4</sub>	○	凝結明顯，乳清清澈如水
MgCl <sub>2</sub>	○	凝結明顯，呈豆花狀
NaCl	X	液體，豆漿狀
樹薯粉	X	液體，豆漿狀

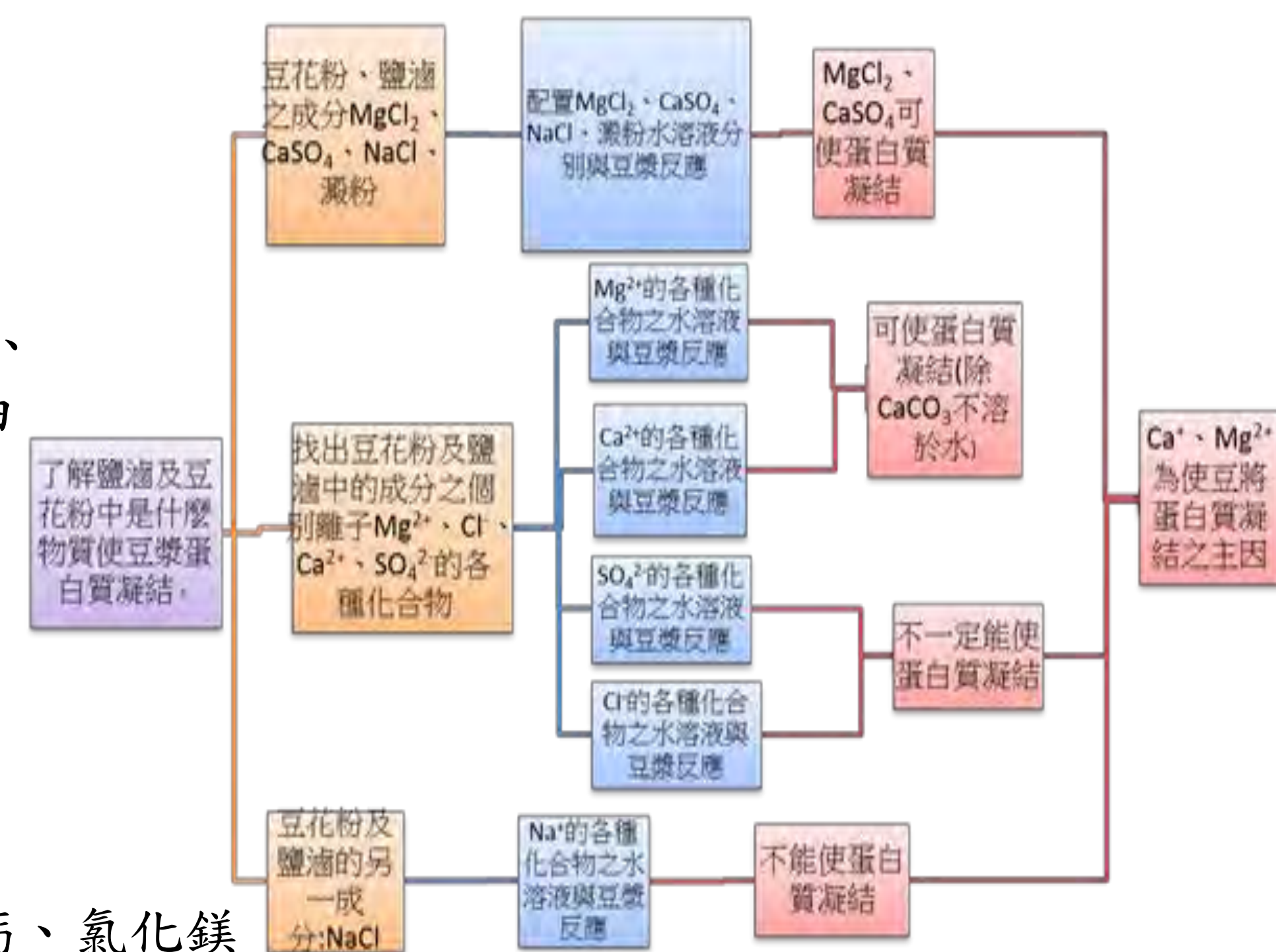
表1-1-1 豆漿蛋白質凝結情形



圖1-1-7 MgCl<sub>2</sub>、CaSO<sub>4</sub>、澱粉、NaCl在試管內情形



圖1-2-1 含Cl<sup>-</sup>及SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>飽和溶液對豆漿的凝結情形。



## 三、研究三、找出使蛋白質凝結最佳的凝結劑濃度為何

實驗目的：取CaCl<sub>2</sub>、CaSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub>調配不同濃度的水溶液作為凝結劑，探討不同的藥品及濃度對豆漿蛋白質凝結的影響。

實驗結果：

1. 以氯化鈣當凝結劑:

(1) 1%~3%的CaCl<sub>2</sub>水溶液皆會使豆漿蛋白質凝結，豆腐量於取出豆漿布後1%CaCl<sub>2</sub>最少，3%凝結的效果最明顯，如圖3-1-3。

(2) 壓出來的乳清水，1%接近豆漿色、2%黃綠色有類似豆漿的沉澱及3%無沉澱青綠色，如圖3-1-4。

(3) 陰乾後豆腐有彈性不容易破損，有豆干的香氣。將豆腐陰乾秤重結果如表3-1，如圖3-5、3-6、3-7。

(4) 測量不同濃度的乳清導電情形如表3-2。

(5) 測量不同濃度的乳清透光度情形如表3-3。

2. 以硫酸鈣當凝結劑:

(1) 1%~5%的CaSO<sub>4</sub>水溶液皆會使豆漿蛋白質凝結，1%~3%無法取下，4%~5%取下的量極少，凝結量最多的為4%，如圖3-9。

(2) 將CaSO<sub>4</sub>陰乾、脫水後秤重的結果，如表3-4。

(3) 測得CaSO<sub>4</sub>乳清的電阻值結果，如表3-5。

(4) 測量不同濃度的乳清透光度情形如表3-6。

3. 以氯化鎂當凝結劑:

(1) 1%~5%的MgCl<sub>2</sub>水溶液皆會使豆漿蛋白質凝結，1%~2%的凝結情形較黏稠，導致陰乾時的重量無法測，如圖3-15，而4%的MgCl<sub>2</sub>氯化鎂凝結情況最好，如圖3-16。

(2) 將MgCl<sub>2</sub>陰乾、脫水後秤重的結果如表3-7。

(3) 濃度3%的MgCl<sub>2</sub>所製成豆腐陰乾時，大部分無法取下，取下部分重0.4g，脫水後豆腐布上原本取不下的豆腐再取下後，故脫水重量秤值達8.1g比陰乾重量大之原因。

(4) MgCl<sub>2</sub>乳清的導電結果，如表3-8。

(5) 測量不同濃度的乳清透光度情形如表3-9。

(6) 由表3-1、3-4、3-7得出圖3-19；由3-2、3-5、3-8得出圖3-17；由3-3、3-6、3-9得出圖3-18。

研究三總結：

1. 在此實驗中我們選出最好凝結劑為2%CaCl<sub>2</sub>原因如下：

(1) 產值高，由圖3-19可知，CaCl<sub>2</sub>凝結劑所產豆腐產值遠比其他皆高。(2) 凝結劑要適當不過量，2%CaCl<sub>2</sub>與3%CaCl<sub>2</sub>產質差不多，2% CaCl<sub>2</sub>乳清電阻值比3%大，所以2% CaCl<sub>2</sub>不過量，因此我們取最少藥劑達到最佳豆腐產量的條件故選2%。

2. 製作出良好豆腐所追求的條件是：產值大且口感好。利用乳清透光度及導電性之科學化數據可協助判斷添加凝結劑的適當用量，其說明如下：

(1) 豆腐產量大：可利用乳清透光度高低，來判斷蛋白質是否大量凝結成豆腐。

(2) 豆腐口感好：可利用乳清的電阻大小，表示導電性，可檢視凝結劑是否過量。

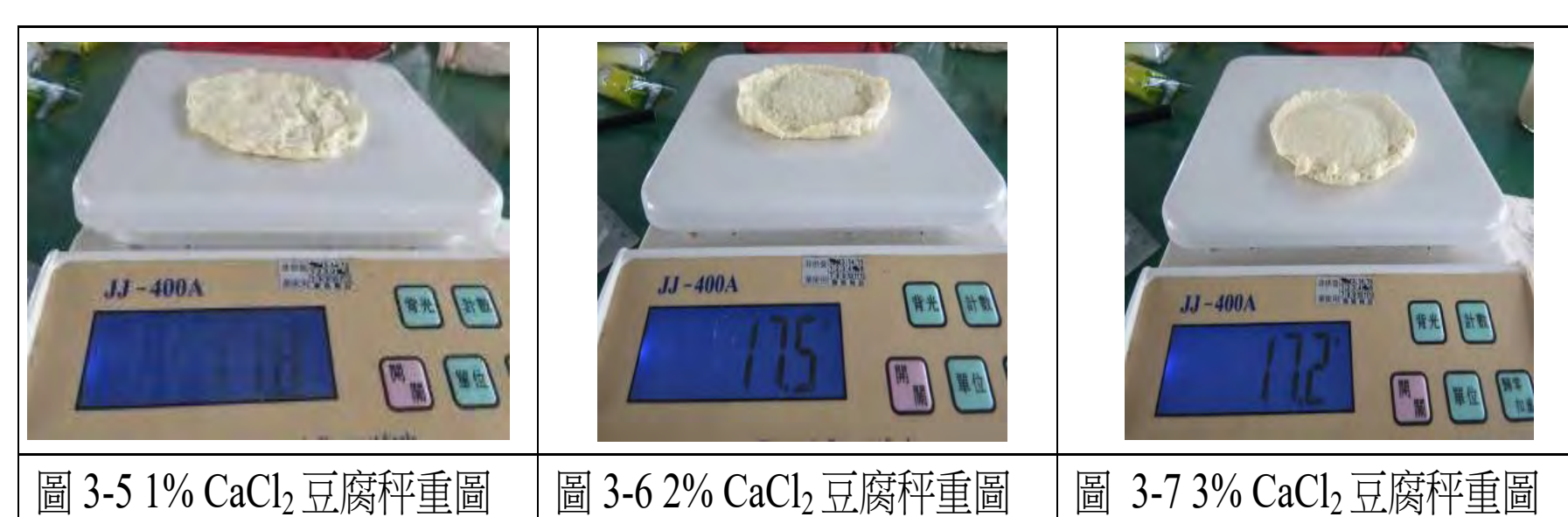


圖3-5 1% CaCl<sub>2</sub> 豆腐秤重圖

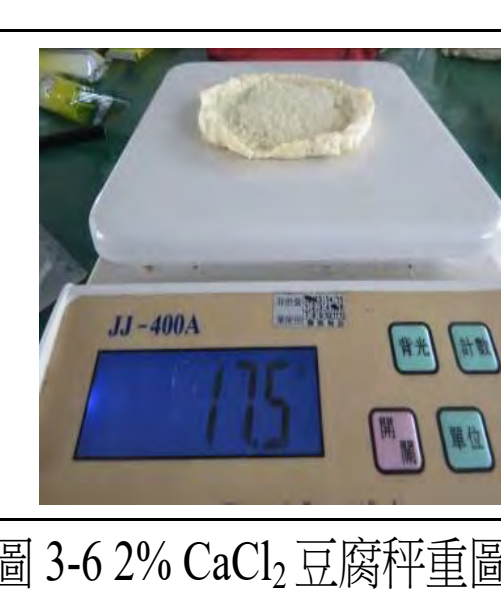


圖3-6 2% CaCl<sub>2</sub> 豆腐秤重圖



圖3-7 3% CaCl<sub>2</sub> 豆腐秤重圖

表3-1 測量 CaCl<sub>2</sub> 在不同濃度與豆漿所製成豆腐陰乾脫水秤重結果情形

	1% CaCl <sub>2</sub> 豆腐重量	2% CaCl <sub>2</sub> 豆腐重量	3% CaCl <sub>2</sub> 豆腐重量
陰乾秤重	11.8 g	17.5 g	17.2 g
脫水秤重	4.9g	9.7g	10g

表3-2 測量不同濃度 CaCl<sub>2</sub> 的乳清電阻值情形

CaCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%CaCl <sub>2</sub> 乳清	2% CaCl <sub>2</sub> 乳清	3% CaCl <sub>2</sub> 乳清	清水	豆漿
平均電阻讀數	87	85	83	215.7	97
轉換電阻數值 (kΩ)	3.1	3.0	2.9	8.8	3.3

表3-3 測量不同濃度 CaCl<sub>2</sub> 的乳清透光情形

CaCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	清水	豆漿
平均光敏讀數	503	958	947	1014	287.5
與水比較之百分比	49.6%	94.47%	93.39%	100%	28.35%

表3-4 測量不同濃度的 CaSO<sub>4</sub> 豆腐陰乾脫水秤重結果情形

CaSO <sub>4</sub> 濃度	1%	2%	3%	4%	5%
陰乾重量	無法測	無法測	無法測	無法測	無法測
脫水重量	量少，黏在濾布上無法取下	量少，黏在濾布上無法取下	量少，黏在濾布上無法取下	1.3(g)	0.6(g)

表3-5 測量 CaSO<sub>4</sub> 不同濃度的乳清電阻情形

CaSO <sub>4</sub> 不同濃度	1% 乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	5%乳清	清水	豆漿
電阻讀數平均	161.3	102.3	93	198.7	140.3	215.7	92
轉換電阻數值 (kΩ)	6.2	3.7	3.3	8.0	5.2	8.8	3.5

表3-6 測量 CaSO<sub>4</sub> 不同濃度的乳清透光情形

CaSO <sub>4</sub> 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	5%乳清	清水	豆漿
透光讀數平均	241.3	269.3	266.7	316	298	1008	204.5
與水比較之%	23.93	26.71	26.45	31.34	29.56	100	20.28

表3-7 測量不同濃度的 MgCl<sub>2</sub> 豆腐陰乾脫水秤重結果情形

MgCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%	2%	3%	4%
陰乾重量 (g)	無法測	無法測	0.4	20.6
脫水重量 (g)	1.9	4.0	8.1	8.9

表3-8 測量 MgCl<sub>2</sub> 不同濃度的乳清電阻值情形

MgCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	清水	豆漿
電阻讀數平均	141	150.3	105.3	101	215.7	92
轉換電阻數值 (kΩ)	5.3	5.7	3.8	3.6	8.8	3.5

表3-9 測量 MgCl<sub>2</sub> 不同濃度的乳清透光情形

MgCl <sub>2</sub> 不同濃度	1%乳清	2%乳清	3%乳清	4%乳清	清水	豆漿
光敏讀數平均	272.3	290.3	785.3	949	1008	204.5
與水比較之%	27.01	28.79	77.90	94.14	100	20.28

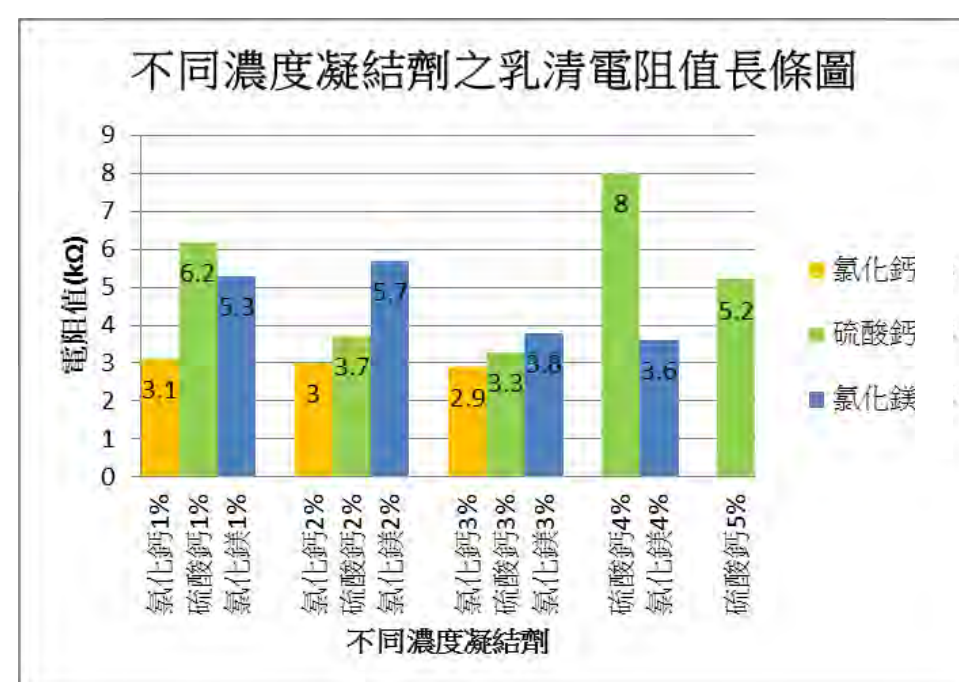


圖3-17 各種凝結劑之乳清電阻比較圖

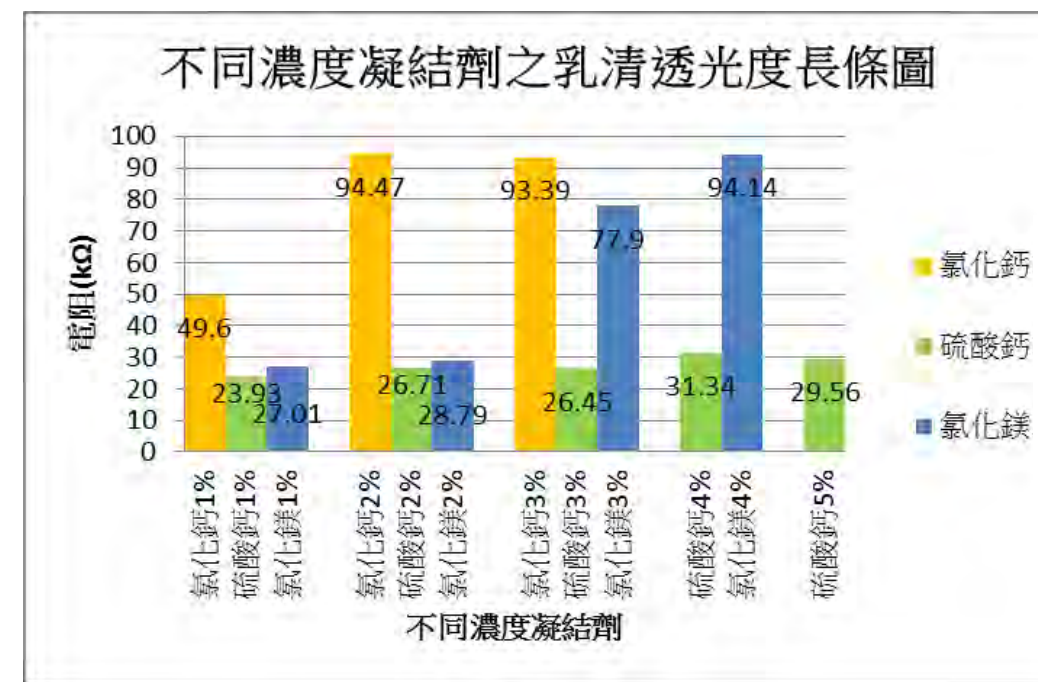


圖3-18 各種凝結劑之乳清透光度比較圖  
凝結劑3%以前CaCl<sub>2</sub>透光度均比其他高

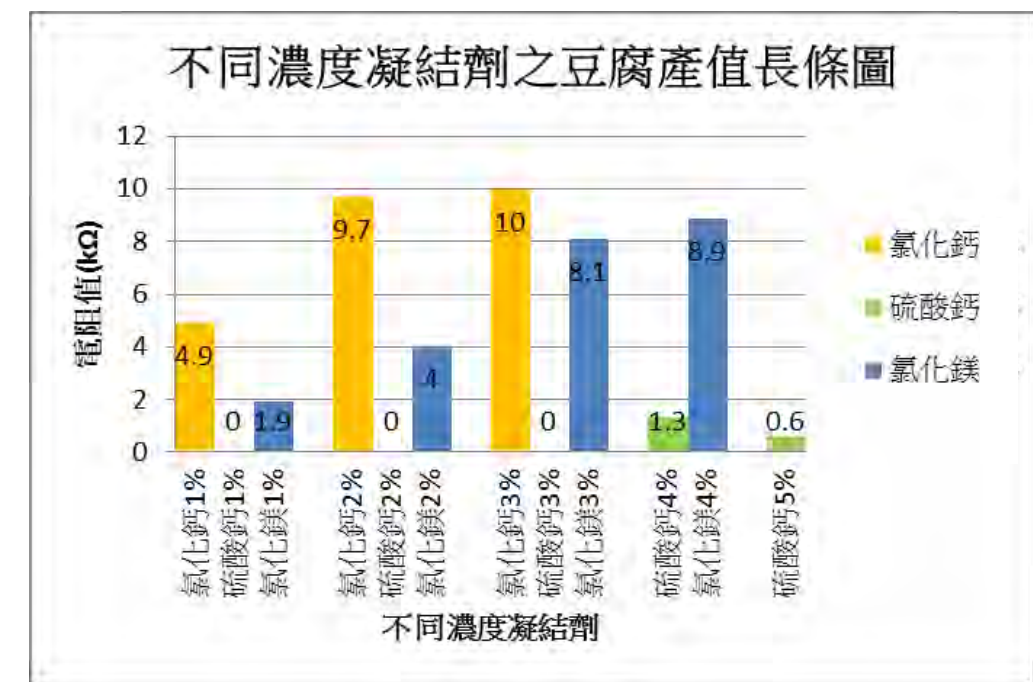


圖3-19 各種凝結劑之豆腐產值比較  
CaCl<sub>2</sub>產量皆比其他凝結劑高



圖3-1-2 重1kg物置於上方壓住下方吸濾瓶可收集乳清



圖3-1-1 豆漿布裹著布赫納漏斗後塞入吸濾瓶口



圖3-1-3 由左而右為 3%、2%、1% CaCl<sub>2</sub> 豆腐與乳清

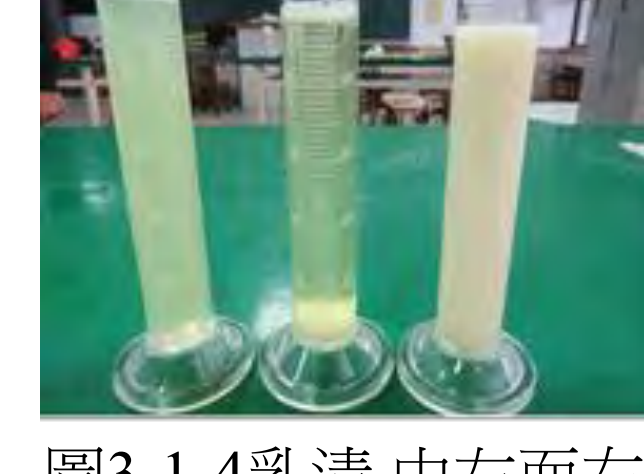


圖3-1-4 乳清 由左而右為加入 3%、2%、1% CaCl<sub>2</sub> 凝結劑的乳清

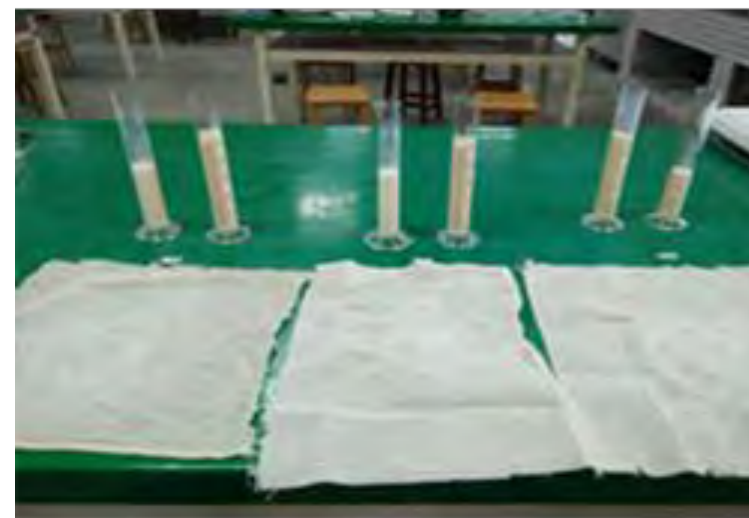


圖3-9 由左至右3% 2% 1% CaSO<sub>4</sub> 的豆腐與乳清



圖3-10 凝結效果最好的在鍋內情形



圖3-15 1%~2%的凝結情形，重量無法測



圖3-16 4% MgCl<sub>2</sub> 凝結情形

# 研究四 不同溫度對豆漿蛋白質凝結的影響

## 實驗結果：

- (1)不同溫度豆漿觀察結果如表4-1-1，如右圖
- (2)不同溫度所產生豆腐產值紀錄如表4-1-2
- (3)不同溫度加入2%氯化鈣所製成的豆腐所得乳清之透光性與水相較下為45°C最高。
- (4)產值為45°C與75°C相同。
- (5)各溫度乳清電阻值相差不大。

## 研究四總結：

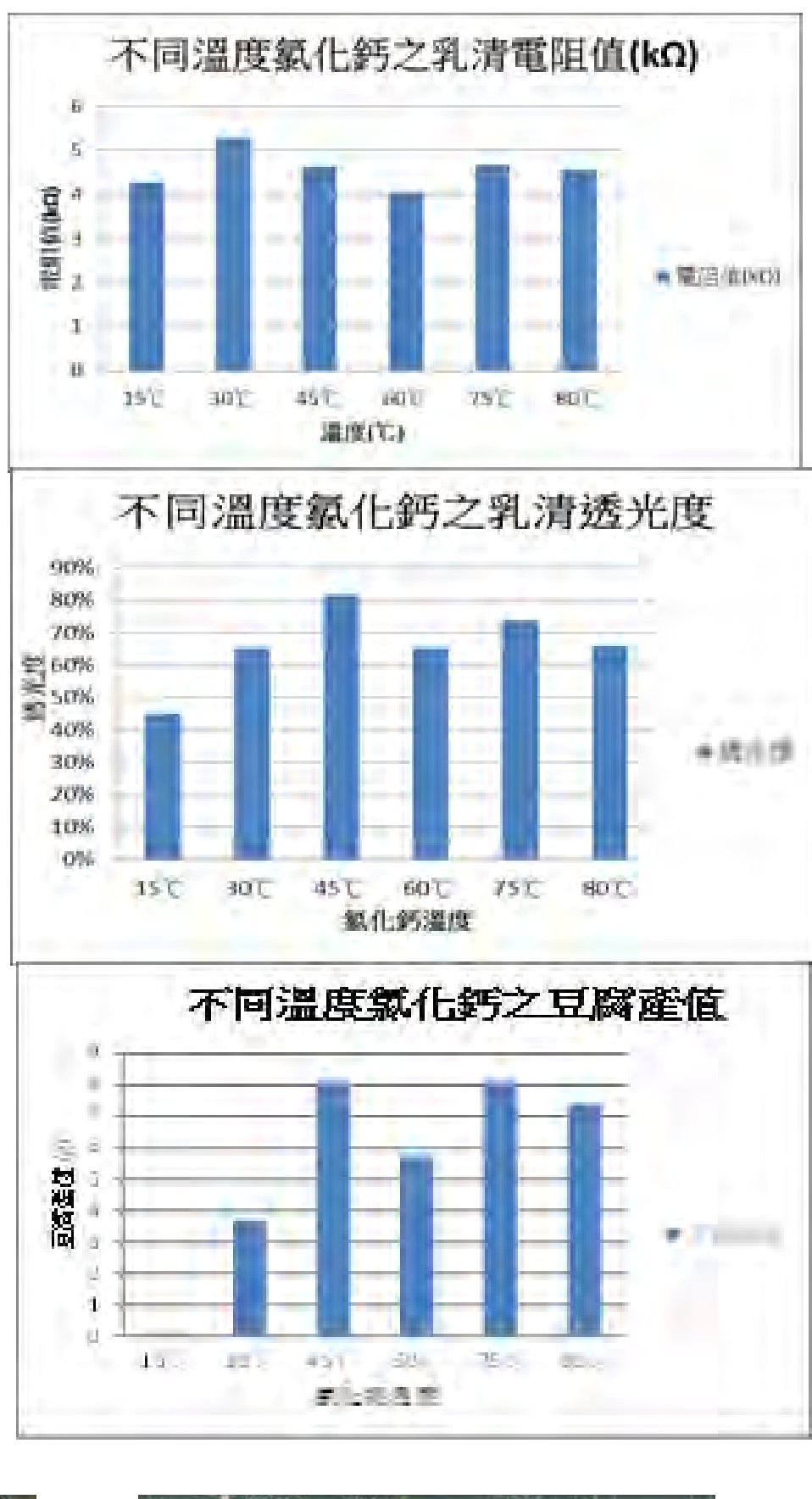
1. 45°C及75°C產值相同、導電度相似且乳清內透光度成為溫度重要選擇依據。
2. 45°C豆漿透光度較佳，表示蛋白質少流失於乳清中，且45°C易加熱，因此我們選擇45°C作為之後實驗控制溫度的依據。

豆漿溫度	豆漿凝結情形	豆腐成品情形	乳清外觀	乳清沉澱量	口感	電阻讀數(轉換 kΩ)	光敏讀數	與水比較之透光度
15°C	不凝結豆漿狀	不成形	呈豆花	整管內都是豆花	無豆腐可吃	117 (43kΩ)	454	45 %
30°C	豆糊狀	不成形	淡青黃	2.8cm	有點苦	141 (5.7kΩ)	658	65.3%
45°C	豆花	成形	不透明檸檬黃	1.1cm	最好吃	126 (4.6kΩ)	824	81.8%
60°C	豆花比45好	成型	亮白黃	3.2cm	帶點苦味	112 (4.1kΩ)	656	65.1%
75°C	凝結比60好	成型	暗沉檸檬黃	1cm	第二好吃	127 (4.7kΩ)	742.5	73.7%
80°C	快速凝結不易滑動	成型	亮淡黃	0cm	初吃苦吞下甘	124 (4.6kΩ)	662.5	65.7%

表4-1-1 不同溫度的豆漿蛋白質凝結及乳清測定情形

溫度	15°C	30°C	45°C	60°C	75°C	80°C
陰乾重量	0.6g	9.3g	18.2g	15.2g	15.8g	17.5g
脫水重量	0.1(g)	3.7(g)	8.1(g)	5.7(g)	8.1(g)	7.4(g)

表4-1-2不同溫度所產生豆腐產值



## 五、研究五、豆漿蛋白質凝結時導電性的觀察

### 實驗五-0：校正自製溫敏、電阻感應器。

#### 實驗結果：

1. 探討純水不同溫度下對其導電性的影響，是利用溫度感測器及電阻感測器配合Arduino板測量每秒溫度變化量對導電性影響的結果。水的導電性及溫度所繪製成如圖5-0-3。
2. 三用電表測水之電阻讀數：25°C時60kΩ與自製電阻感測器所得數與之分壓公式轉換後的數值相同，無誤



圖5-0-1電阻溫度感測紀錄情形 圖5-0-2三用電表感測水的電阻之情形 圖5-1-1自製電阻溫度感測裝置實驗裝置圖 圖5-1-2電阻溫度感測紀錄情形

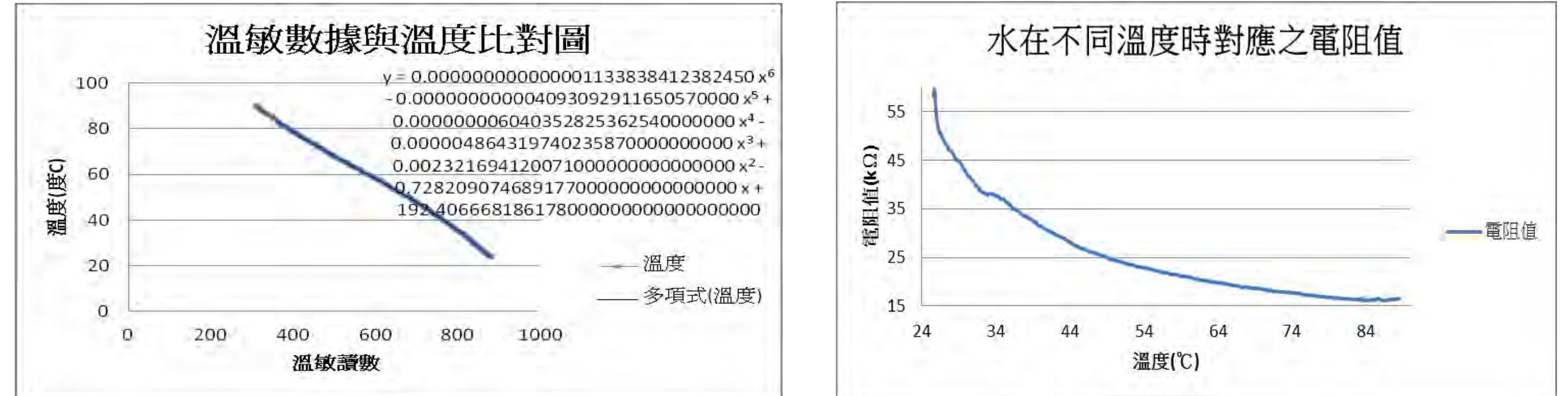


圖5-0-3水不同的溫度對導電性的影響 圖5-1-3水在不同溫度時對應之電阻值

### 實驗五-1：觀察水在不同溫度下之導電性。

#### 實驗結果：

1. 探討利用電阻溫度感測器配合Arduino板測量每秒溫度變化量及其對導電性的變化結果，水的導電性及溫度所繪製成如圖5-1-3。
2. 得出方程式為 $y=0.0115x^2-1.7823x+85.601$ 。

### 實驗五-2：觀察豆漿在不同溫度下的導電性

#### 實驗結果：

1. 探討以每秒測量繪製圖形。豆漿的導電性及溫度所繪製成如圖5-2-2。
2. 實驗五中豆漿導電性的趨勢，電阻值會隨著溫度變化緩緩下降，得出方程式為 $y=0.0001x^2-0.0397x+7.885$ 。

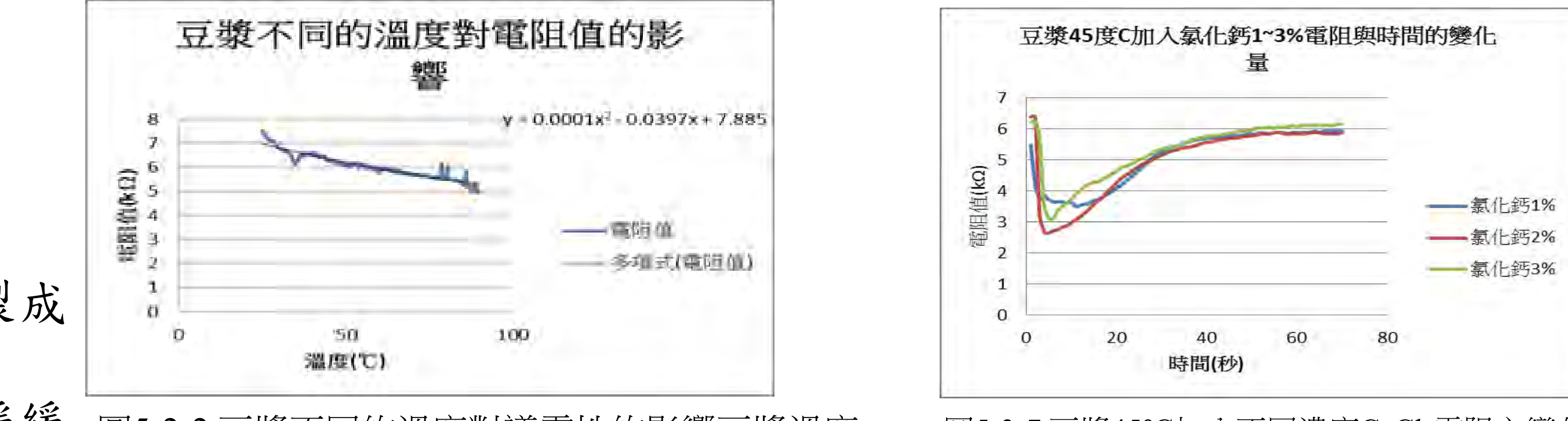


圖5-2-2 豆漿不同的溫度對導電性的影響 圖5-3-7 豆漿45°C加入不同濃度CaCl<sub>2</sub>電阻之變化

### 實驗五-3：觀察豆漿在沖入凝結劑時電阻值及溫度變化情形

#### 實驗結果：

1. 用1%、2%CaCl<sub>2</sub>溶液加入45°C豆漿中，導電感測器及溫度感測器每秒讀數繪圖，如圖5-3-1、圖5-3-2、圖5-3-3、圖5-3-4、圖5-3-5、圖5-3-6。
2. 1%、2%、3%凝結蛋白質後，放置30分鐘、2小時、3小時之電阻值比較，如表5-3-1。

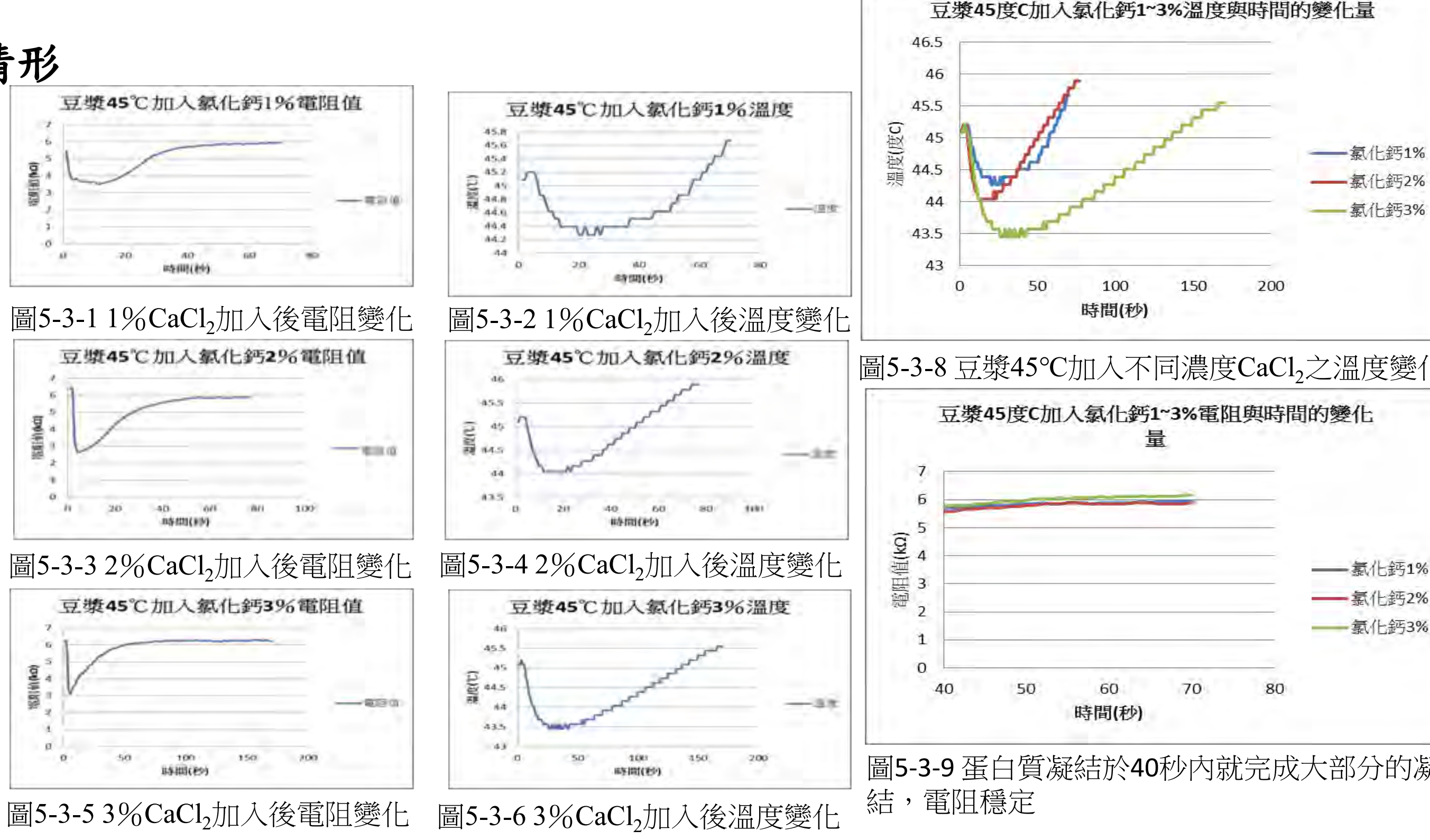


圖5-3-1 1%CaCl<sub>2</sub>加入後電阻變化 圖5-3-2 1%CaCl<sub>2</sub>加入後溫度變化 圖5-3-3 2%CaCl<sub>2</sub>加入後電阻變化 圖5-3-4 2%CaCl<sub>2</sub>加入後溫度變化 圖5-3-5 3%CaCl<sub>2</sub>加入後電阻變化 圖5-3-6 3%CaCl<sub>2</sub>加入後溫度變化

	30分鐘	2小時	3小時
1%CaCl <sub>2</sub>	6.8kΩ	7.14kΩ	6.81kΩ
2%CaCl <sub>2</sub>	6.39kΩ	6.39kΩ	6.86kΩ
3%CaCl <sub>2</sub>	6.07kΩ	6.44kΩ	6.86kΩ

表5-3-1 室溫30度放置30分鐘、2小時、3小時之電阻值比較

項目	電阻值	溫度
水	58kΩ~16.5 kΩ	24°C~86°C
豆漿	7.5kΩ~5.5kΩ	24°C~74°C
凝結蛋白質	6kΩ左右	室溫27~29°C

表5-3-2 水、豆漿、凝結蛋白質之導電性及溫度比較

## 伍、結論

- 一、豆腐含有豐富的營養素，是亞洲地區重要傳統食品之一。傳統豆腐的主要組成除水之外就是蛋白質了，豆漿其中的蛋白質凝結作用是為傳統豆腐製作過程中的最重要程序，對於豆腐產品的產率及品質有著重要而直接的影響。
- 二、由研究二我們發現豆花粉及鹽滷中可使豆漿中的蛋白質凝結之成分為CaSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub>、CaCl<sub>2</sub>，其中又以Ca<sup>2+</sup>及Mg<sup>2+</sup>為凝結的主因。
- 三、運用不同的凝結劑及濃度探討對豆漿蛋白質凝結之影響，由研究三可知要製作出良好豆腐的科學數據，必須考慮以下兩點：
  - (一)豆腐產量大。乳清透光度高，表示蛋白質大量凝結成豆腐。
  - (二)豆腐口感好(表示CaCl<sub>2</sub>不過量，否則易有苦澀味)。故乳清的電阻要大，表示導電性低，凝結劑不過量。
- 四、不同溫度對豆漿蛋白質凝結所造成之影響，是45°C產值與75°C相同，但加入2%CaCl<sub>2</sub>加入45°C豆漿凝結效果比75°C豆漿結果好，75°C豆漿的乳清導電性大於45°C的乳清導電性，表示45°C蛋白質有效凝結，45°C的乳清中CaCl<sub>2</sub>較少，豆腐口感較佳。
- 五、綜合以上幾點，我們選擇用濃度2%的CaCl<sub>2</sub>並加熱至45°C為條件，最能滿足製作傳統豆腐時之科學數據可達最佳蛋白質凝結條件。
- 六、最後我們想探討加入凝結劑豆漿蛋白質凝結時導電性的觀察，並測定豆漿在不同溫度下的導電性。得知在水浴中加入凝結劑之凝結蛋白質，因凝結劑濃度越大，溫度上升越慢。而45°C豆漿加入濃度2%凝結劑，電阻由2.65kΩ(第5秒)再度回升到5.89kΩ(第55秒)只需花50秒，在短短50秒完全再次回到未加入凝固劑前之電阻值，導電性不再改變。
- 七、利用自製儀器可精準穩定測量蛋白質凝結時導電度及透光度來探討製作傳統豆腐時蛋白質凝結關鍵之有趣結果，不僅可以供後人參考，倘若可以配合現代化的電腦設備，對於豆腐之生產製作將會有相當的幫助。

## 柒、建議：

- 一、製作傳統豆腐時，豆漿濃度對導電度之影響，也值得下次進一步探討。
- 二、我們測量溫度變化對導電度之影響之實驗時，發現Arduino板的USB線資料回傳給電腦供的功能必須與供應電源之功能分開，以免回傳的數據出現干擾，故建議使用外接5V的穩定電源。
- 三、研究二是以鹽滷及豆花粉中的成分探討到底是什麼成分可使豆漿中蛋白質凝結，而還有沒有其他架數的金屬離子可使蛋白質凝結，值得再探討。

## 捌、參考資料：

- 一、史家瑩(2013)•國民中學自然與生活科技二下•台南市：翰林。
- 二、史家瑩(2013)•國民中學自然與生活科技三上•台南市：翰林。
- 三、郭文玉、劉發勇、邱宗甫(2009)•食品加工I•台南市：復文。
- 四、沈盈如(2008)•硫酸鈣豆腐蛋白質和水分子狀態之研究(未出版之碩士論文)•新北市：天主教輔仁大學。
- 五、陳淑怡(2010)•浸漬與磨漿加工條件對豆漿和豆腐品質之影響(未出版之碩士論文)•台北市：中國文化大學。
- 六、張獻瑞、劉登城、賴茲漢(2011)•食品加工實習•台中市：富林。