

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高職組 農業及生物科技科

佳作

091407

蛋生希望—廢棄蛋殼的再利用

學校名稱：國立中興大學附屬臺中高級農業職業學校

作者： 職二 余佳容 職二 林建宏 職二 謝博任	指導老師： 李瑞倩 賴怡君
---	-----------------------------

關鍵詞：醋酸鈣、蛋殼、豆腐

摘要

利用食醋浸漬蛋殼，蛋殼比例越高，鈣溶出量越多，其 pH 值上升，酸度下降，以 30%蛋殼含量之醋酸鈣的鈣溶出量最多，40%時則降低，另外以 16 及 50 天浸漬蛋殼，16 天的鈣含量較多，因此鈣含量不因時間增加而增加。

利用鈣含量最高之醋酸鈣製作豆腐，鈣含量（3.24%）明顯高於一般豆腐（1.57%），證明添加醋酸鈣可增加豆腐鈣含量，且在水份測定上，仍保有原來水分，且在物性分析中發現鈣含量增加雖使豆腐硬度與咀嚼性略微增加但整體上並無顯著性的差異，而以 SEM 及解剖顯微鏡觀察，內部呈不規則孔洞且表面稍微粗糙。

在感官品評消費者試驗中得知，消費者對因鈣增加而較硬之醋酸鈣豆腐喜好度稍低，但整體喜好上仍可被接受，因此醋酸鈣可取代石膏製成天然豆腐。

壹、研究動機

生活中蛋的使用似乎不可或缺，不管是上實習課還是在早餐店裡，只要使用蛋，就會丟棄大量蛋殼，然而課程中提到蛋殼中含有許多的鈣質，便希望能將蛋殼拿來利用，再加上最近爆發出許多食安問題，添加物成了食品所面臨的難關，因此我們突發奇想，利用醋浸漬蛋殼，探討醋是否能有效地將鈣溶出，且溶出的鈣是否能形成醋酸鈣取代石膏（硫酸鈣）作為凝固劑，應用在豆腐上。

貳、研究目的

- 一、探討醋是否可以有效溶出蛋殼中的鈣
- 二、探討醋中可溶出蛋殼中鈣的最大量
- 三、探討醋中的鈣含量是否隨浸漬時間增加而增加
- 四、蛋殼之廢棄物再利用——以醋酸鈣取代豆腐的凝固劑（石膏）
- 五、探討以醋酸鈣取代石膏所製成之天然豆腐之品質評估

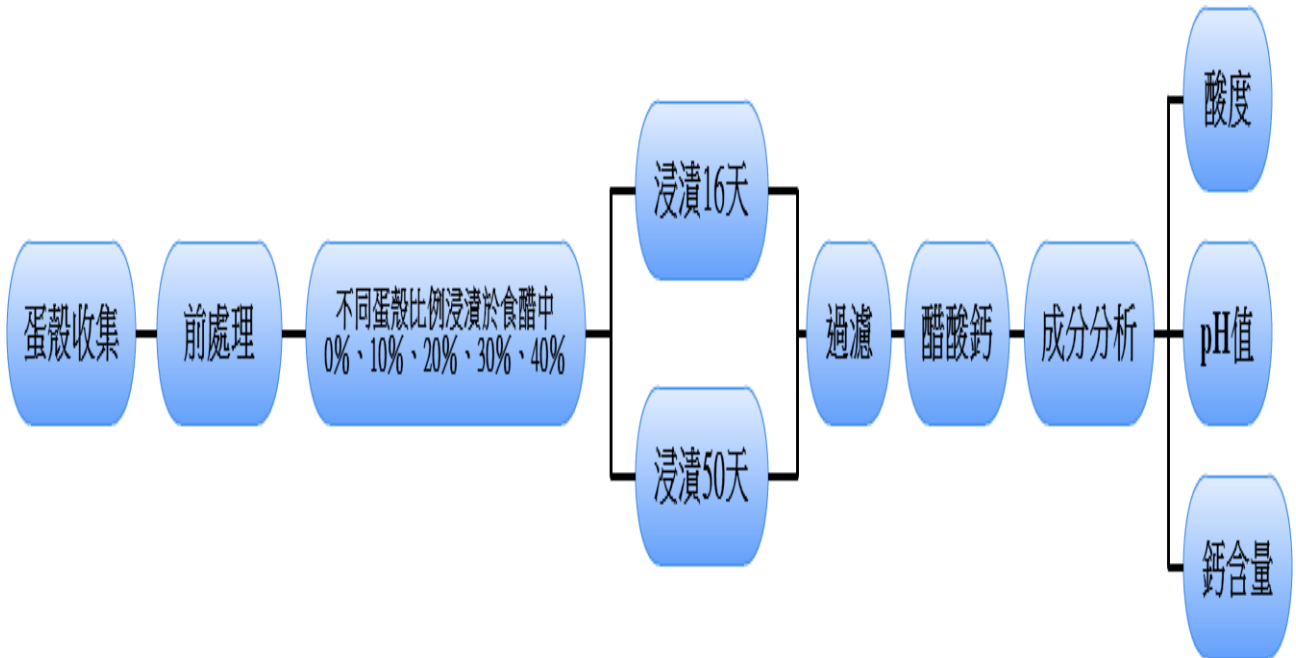
參、研究設備及器材

- 一、豆腐模：台東聖母健康農莊，編號：F1030377
- 二、pH計：上泰儀器股份有限公司，規格：SP-2300
- 三、熱風乾燥機：TF-170
- 四、紅外線水分測定儀：益瀚國際企業股份有限公司，廠牌/規格：日本Kett/FD-610
- 五、組織測定儀：超技儀器有限公司，廠牌/規格：TA-XT2/25
- 六、掃描式電子顯微鏡SEM：ABT-150S, Topon Corp.Japan
- 七、光學解剖顯微鏡：國祥貿易股份有限公司，廠牌/規格：NIKON/SM Z 800

肆、研究過程或方法

一、實驗架構

(一) 醋酸鈣製備與分析



(二) 豆腐之品質評估

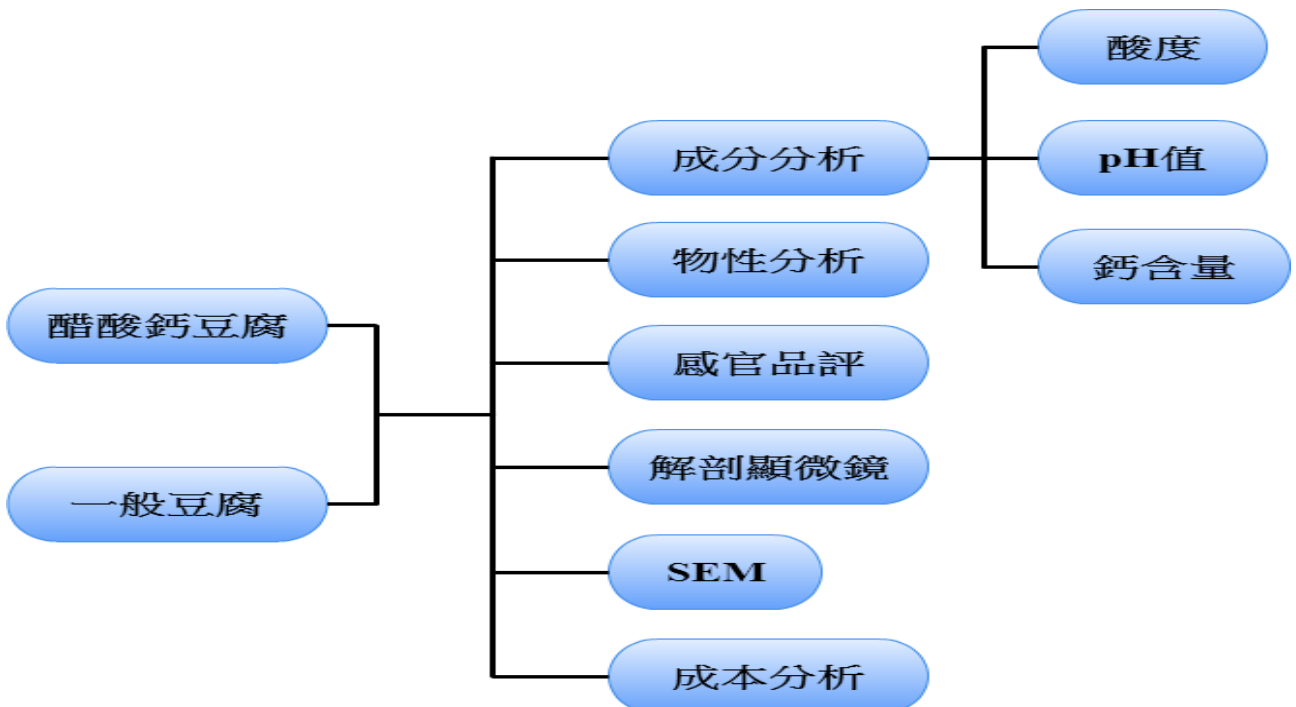


圖1、實驗架構

二、文獻回顧

(一) 蛋殼成分

蛋殼大部分為碳酸鈣組成，平均佔蛋殼重93%，鈣含量約占碳酸鈣之40%，而少部分為碳酸鎂（1.6%）及鹼土元素之磷酸鹽（0.45~1.37%）（林，1979）。

蛋殼之蛋白質是類屬膠蛋白（collagen）之物質，含氮量約16%。蛋殼膜大約佔蛋殼4~5%，其外側膜之外層由角蛋白，而內層由二層類似黏蛋白（mucin）的物質所組成；內側膜有兩層，有角蛋白及黏蛋白所組成。（林，1979）蛋殼膜對細菌的蛋白分解作用抵抗力大而且僅受特定的細菌分解。

(二) 醋之效用

醋含的醋酸、檸檬酸、琥珀酸與蘋果酸等各種有機酸，可以將堆積體內的乳酸直接分解排掉，因此肌肉的疲勞痠痛會消除（楊，2007）另外文獻中指出醋酸與鈣易化合成醋酸鈣，人體易攝取到食物中的鈣質，可預防骨質疏鬆症。

(三) 醋酸鈣的優點

醋能防止鈣、維他命C、E在烹調時被破壞掉，所以能夠使鈣質、維他命C、E很容易被人體吸收（李，2005），另外醋之所以能使鈣易被人體吸收是因鈣質能夠與醋酸化合，變成很容易被人體吸收的「醋酸鈣」的緣故。（李，2005）

(四) 鈣的好處

1、保持細胞的生存

細胞分裂繁殖，數目漸增，與單細胞漸漸改變功能，都需要鈣的幫助（藤，1994）。

2、神經細胞會傳遞情報或者發出命令

鈣進入細胞中，會引起電流的現象，此謂之「神經的興奮」（藤，1994），而經由鈣的活動，才能傳到身體各部位（藤，1994）。

3、當內分泌腺之信差

內分泌腺分泌出賀爾蒙（激素）時，鈣必須經過血液，到器官中傳遞信息（藤，1994）。

4、妨礙脂肪之吸收

鈣在腸內可以阻礙脂質的吸收，所以即使是食物中膽固醇含量太高，但只要能充分攝取鈣膽固醇的吸收就會減少（藤，1994），而不致於有礙健康。

（五） 豆腐

豆腐之作法是將黃豆磨碎煮沸後過濾成豆漿，之後再煮沸一次，冷卻至78°C加入凝固劑，最後倒入模型中，以重物壓20分鐘後脫模製成。

1、 黃豆

黃豆的營養成分主要是36% 的蛋白質、20% 的油脂以及20%的碳水化合物，而大豆蛋白質含有足夠且完整的必需胺基酸，不含膽固醇甚至能夠降低膽固醇，效果一點也不比藥物遜色，還有助於腎臟病的治療，甚至骨質疏鬆症（馬等，1997），黃豆除了是蛋白質最佳來源外，也富含其他養分，例如鈣、鐵、鋅以及維他命B群。此外，它也含大量的食物纖維。

2、 凝固劑

一般豆腐常用的凝固劑有鹽鹵、氯化鈣、生石膏、葡萄糖酸- δ -內酯，而在中國，用石膏（硫酸鈣）來凝固豆腐已經有兩千年了，現在是最廣泛使用於世界各地豆腐店的凝固劑。天然硫酸鈣之所以被普遍接受，主要是由於它能製作出較多量的豆腐（威，2005），且簡單又快速，可作為營利用途。一般豆腐常用的凝固劑如下：

- （1） 硫酸鈣（生石膏）：豆腐產率高，且品質穩定，但風味稍差，有苦味。（林，2009）
- （2） 氯化鈣、氯化鎂：凝固速度快，但製成之豆腐粗糙、粒狀且較硬。（林，2009）
- （3） 葡萄糖酸- δ -內酯：釋出酸性，降低pH值，蛋白質在酸性下產生等電點而凝固（郭等，2009）。

三、製備醋酸鈣

（一） 製作流程

- 1、 於早餐店收集廢棄蛋殼。
- 2、 以清水將蛋殼去膜並洗淨。

- 3、 蛋殼以沸水殺菌。
- 4、 利用熱風乾燥機50°C 4小時將蛋殼烘乾。
- 5、 搗碎蛋殼，秤取各百分比需要之蛋殼量，泡入工研醋中。
- 6、 浸漬16天與50天後，過濾，得到濾液。

		
<p>收集之早餐店</p>	<p>清洗、去膜</p>	<p>100°C 沸水殺菌</p>
		
<p>熱風乾燥機50°C 烘乾</p>	<p>加入工研醋</p>	<p>浸漬情況</p>
		
<p>過濾前</p>	<p>過濾</p>	<p>成品</p>

圖2、蛋殼處理流程圖

四、豆腐製作

(一) 配方

豆漿		
原料名稱	百分比 (%)	
黃豆	100	
水	700	
豆腐		
	一般豆腐	添加醋酸鈣
豆漿	100	100
石膏	4	0
水	17	0
30%蛋殼量浸漬之醋酸鈣	0	2.5

(二) 製作方法

1、豆漿

先稱取黃豆，溫水泡4小時，瀝乾後加入水，一起倒入果汁機中，打成漿後倒於鍋子中，加熱至沸騰，冷卻後使用濾布袋過濾，即為無糖豆漿。

2、豆腐

(1) 一般豆腐

石膏及冷開水拌勻，將無糖豆漿加熱至沸騰，冷卻至78℃左右，快速沖入石膏水中，靜置5分鐘後倒入豆腐模，以5000公克重物壓20分鐘，脫模。

(2) 添加醋酸鈣之豆腐

秤取鈣含量最高之醋酸鈣(利用30%蛋殼浸漬16天)添加豆漿量之2.5%，並將無糖豆漿加熱至沸騰，冷卻至78℃左右，快速沖入醋酸鈣中，靜置5分鐘後倒入豆腐模，以5000公克重物重壓20分鐘，脫模。

		
<p>黃豆泡溫水</p>	<p>將黃豆打成豆漿</p>	<p>加熱至沸騰</p>
		
<p>過濾</p>	<p>將熱豆漿沖入凝固劑中</p>	<p>靜置5分鐘使之凝固</p>
		
<p>將半成品倒入豆腐模中</p>	<p>以5000克重物壓20分鐘</p>	<p>成品</p>

圖3、豆腐製作流程圖

五、成分分析

(一) 酸度測定

稀釋樣品後，取25mL稀釋液，加入50mL蒸餾水及2~3滴酚酞指示劑，以0.1N NaOH滴定至溶液呈粉紅色。

(二) pH值測定

使用pH計測定樣品之pH值。(如圖4)



圖4、以pH計測定pH值

(三) 鈣含量測定

1、KMnO₄測定法

稀釋樣品，吸取25mL稀釋液，加入2N NH₄OH溶液並滴加3%草酸鈉，以電熱板加熱30分鐘，過濾此液體，以蒸餾水洗滌其沉澱物，將濾紙以10mL的6N H₂SO₄溶液沖洗後再用蒸餾水沖洗一次，最後加入20mL的稀H₂SO₄，水浴加熱至70~80℃，以KMnO₄標準溶液滴定至呈微紅色。

2、EDTA測定法

稀釋樣品，取25mL稀釋液加入1mL鉍緩衝液及2滴EBT指示劑，以0.1M EDTA標準溶液滴定，由紅色變為藍色即為終點。

(四) 水分含量測定

以紅外線水分測定儀將定量之樣品105℃，時間設為自動，測定一般及醋酸鈣豆腐之水分含量。(如圖5)



圖5、水分含量測定過程

(五) 物性分析

- 1、將豆腐以組織測定儀 (TPATA-XT2/25) 選擇合適的探頭測定豆腐之硬度 (hardness)、內聚性 (cohesiveness)、彈性 (springiness)、咀嚼性 (chewiness)。測定條件為：force unit：grams，預測定 (pre-test)、測定 (test) 及後測定 (post-test) 之速度分別為2、2及2mm/s (如圖6)。



圖6、物性分析測定儀

2、參數定義解釋：

以質地測定儀 (rheometer 或 texturometer) 皆以各種活塞 (plunger)，對食品進行上下兩次等速壓縮變形試驗，如圖七所示對力與時間作圖 (forc-time curve)(王等，2002)

- (1) 硬度 (Hardness)：表示將固體樣品壓縮至變形所需的力，為第一次壓縮時的最大峰值。
- (2) 彈性 (Springiness)：是經過壓縮後的變形樣品恢復到變形前的條件下的高度或體積比率。彈性是用第二次壓縮中所檢測到的樣品恢復高度 (長度2) 和第一次的壓縮變形量 (長度1) 之比值 ($\text{Length2}/\text{Length1}$) 來表示。
- (3) 咀嚼性 (Chewiness)：表示將固體樣品咀嚼成吞嚥時的穩定狀態所需的能量。數值上用黏聚性和彈性的乘積表示 (硬度 \times 黏聚性 \times 彈性)。
- (4) 內聚性 (又稱黏聚性) (Cohesiveness)：表示將固體樣品咬斷所需的力。在

曲線上表現為兩次壓縮所做正功之比（Area2 / Area1）。

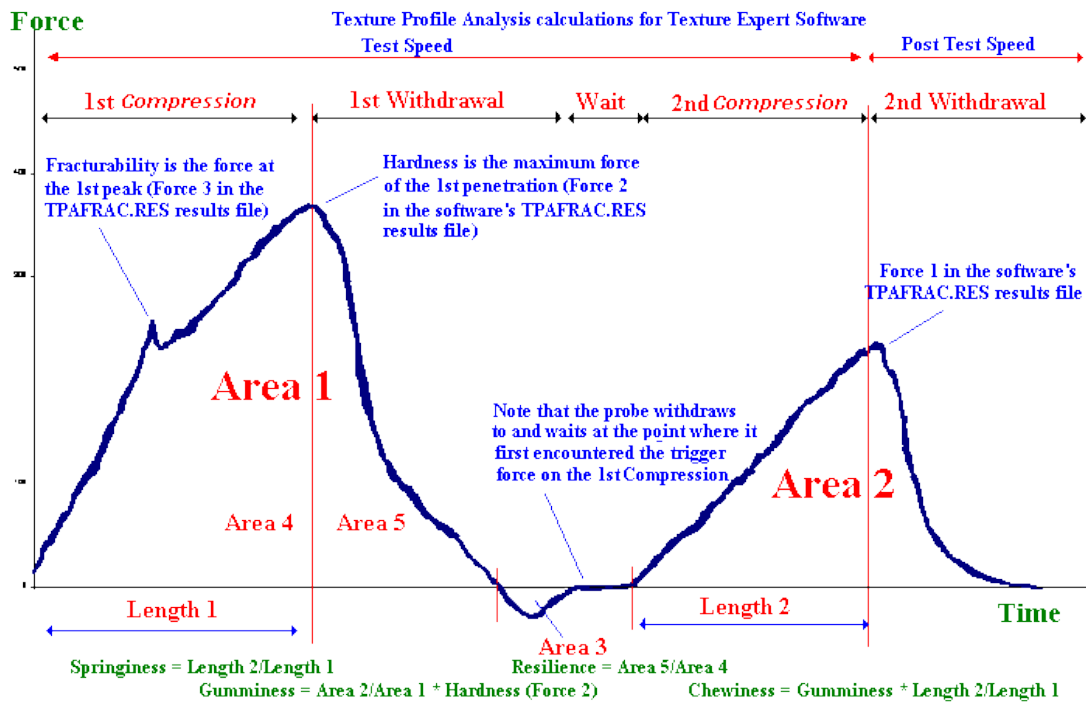


圖7、TPA參數定義解釋圖

(六) SEM (掃描式電子顯微鏡)

將雙面膠黏於鋁檯 (aluminum stab, Topon corp, Japan) 上，把乾燥後成形之晶球樣品平鋪在膠上，於覆膜儀 (ion sputter coater, JBS-ES 150 model, Japan) 中抽真空並覆上金膜 (gold coating) 90秒，然後以掃描式電子顯微鏡 (ABT-150S, Topon Corp., Japan) 放大500倍觀察表面型態並照相。

(七) 光學解剖顯微鏡拍攝

挑選較具代表性之樣品，將之放置於載玻片上，以解剖顯微鏡 (stereomicroscope, Nikon, SMZ 800, Japan) 並配合數位單眼相機 (digital single lens reflex camera, Canon, EOS 450D, Japan) 進行拍攝，並以軟體 Helicon Focus (Helicon soft Ltd, version 5.1.6. X64, Ukraine) 進行照片的疊圖。

(八) 感官品評

採用五分法，以 70 位未受過訓練之消費者對一般豆腐與醋酸鈣豆腐之質地、顏色、味道、軟硬度與整體喜好進行喜好性品評，分數越高則喜好度越高，品評表如下：

一般豆腐與天然豆腐之消費者喜好性品評問卷

你好！ ██████████ 請您品嚐並品評以下兩種產品，並依您個人喜好的程度對產品的質地、顏色、味道、軟硬度及整體喜好在下列適當的空格中打「✓」。

在品嚐不同的產品時請您用開水漱口並稍作休息，以清洗口中不同的味道，謝謝您的合作！

性別：男 女

對豆腐喜好程度（1~5分）：_____

	非常 不 喜 歡	不 喜 歡	尚 可	喜 歡	非 常 喜 歡
產品代號 <u>257</u>					
質地	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
顏色	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
味道	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
軟硬度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
整體喜好	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
產品代號 <u>882</u>					
質地	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
顏色	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
味道	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
軟硬度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
整體喜好	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

請寫下您對兩種豆腐的喜好排名：_____

若您有任何建議，請寫下您寶貴的意見：

(九) 成本分析

以市售黃豆、醋和食用石膏之價格，換算製成 13.5cm×13.5cm×4cm 之一般豆腐和醋酸鈣豆腐所需之價格。

(十) 統計分析

本研究之實驗數值均為三重複，所得之數據以 Statistical Analysis System 軟體進行統計分析，以 ANOVA 程序作變異分析，並且以鄧肯氏多變域試驗法(Duncan's multiple range tests)作平均值顯著性差異之比較。

伍、研究結果

一、醋酸鈣之成分分析

蛋殼中主要成分為碳酸鈣，因此利用醋浸漬蛋殼，會產生大量氣體 (CO₂) 及醋酸鈣，其反應式如下：



故利用食醋浸漬不同比例 (0%、10%、20%、30%、40%) 蛋殼，並以浸漬16天與50天所得之醋酸鈣進行以下分析：

(一) 酸度

經酸度分析，醋的酸度為4.36%，添加不同比例之蛋殼浸漬16天後，隨蛋殼比例增加會因鈣溶出酸度則有顯著性的減少 (如表1)，其中以添加40%蛋殼之醋酸鈣酸度為最低 (0.34%)，推測因蛋殼中碳酸鈣之溶出量愈多，使其酸度愈低，但在30%蛋殼之醋酸鈣酸度分析中差異性變小 (如表1)，與文獻中鈣最大溶出量約在30%左右 (劉，1997) 之結果相符。

另外依相同比例將蛋殼放入食醋中，浸漬50天後，進行儲藏性試驗，蛋殼比例10%、20%、30%、40%之醋酸鈣酸度分別為0.40%、0.32%、0.26%、0.22%，皆與浸漬16天之醋酸鈣所測之酸度有顯著性差異，所以由結果顯示酸度會隨蛋殼含量及浸漬時間的增加，溶出的鈣愈多，其酸度也有顯著性的降低 (如圖8)。

表1、不同蛋殼比例浸漬16天與50天之酸度分析

蛋殼比例 浸漬時間	0%	10%	20%	30%	40%
浸漬16天	4.36±0.04 ^a _A	0.46±0.03 ^b _A	0.39±0.01 ^c _A	0.35±0.03 ^{cd} _A	0.34±0.01 ^d _A
浸漬50天	4.36±0.04 ^a _A	0.40±0.01 ^b _B	0.32±0.01 ^c _B	0.26±0.00 ^d _B	0.22±0.02 ^e _B

Each value is expressed as mean ±SD (n=3). Means within different capital letters (A~B) are significantly different (p<0.05). Means within different small letters (a~e) are significantly different (p<0.05).

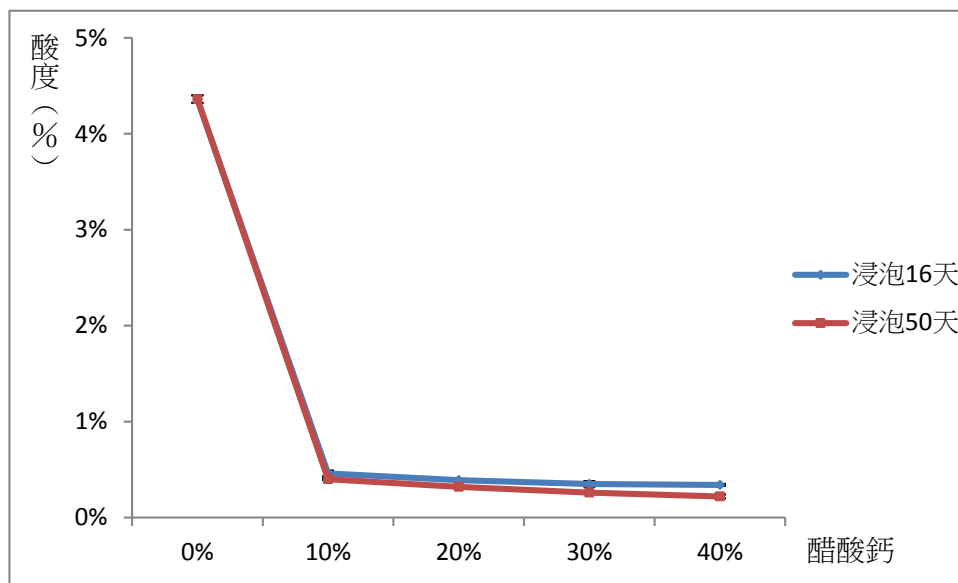


圖8、不同蛋殼比例浸漬16天與50天之酸度比較圖

(二) pH值

利用pH計測定醋酸鈣之pH值，並與酸度做比對，由表2可知，不同蛋殼比例浸漬16天後之pH值，浸漬0%蛋殼之pH值(2.698) < 10%(5.304) < 20%(5.399) < 30%(5.440) < 40%(5.484)，得出溶出鈣之醋酸pH值會因鈣溶出量愈多而使pH值明顯提高。

相同比例下(0%、20%、30%、40%)浸漬50天之pH值分別由2.698增加到5.701，對比浸漬16天之pH值有明顯上升之趨勢，且由表2及圖9可知蛋殼含量越多，儲藏時間越長，其pH值越高，推測蛋殼中的鈣溶出使pH值明顯增加，同時也與酸度

試驗所得之結果相符。

pH與酸度隨浸漬蛋殼含量及浸漬時間的長短而改變，蛋殼含量愈高，浸漬時間愈久，蛋殼溶出的鈣也愈多，而使pH值上升，酸度下降，但到了40%浸漬液中，酸度與pH值的改變皆有減緩的趨勢（如圖9）。

表2、不同蛋殼比例浸漬16天與50天之pH值分析

	0%	10%	20%	30%	40%
浸漬16天	2.698 ^e _A	5.304 ^d _B	5.399 ^c _B	5.440 ^b _B	5.484 ^a _B
浸漬50天	2.698 ^e _A	5.403 ^d _A	5.525 ^c _A	5.606 ^b _A	5.701 ^a _A

Each value is expressed as mean ±SD (n=3). Means within different capital letters (A~B) are significantly different (p<0.05). Means within different small letters (a~e) are significantly different (p<0.05).

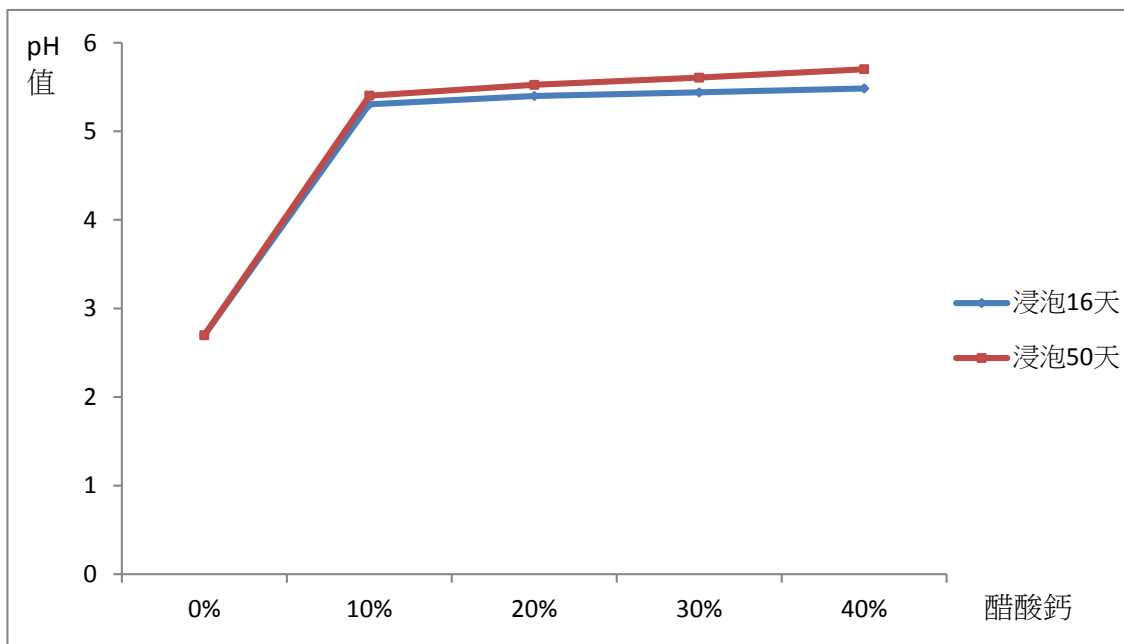


圖9、不同蛋殼比例浸漬16天與50天之pH值比較圖

(三) 鈣含量

利用KMnO₄與EDTA測定法進行鈣含量分析，添加蛋殼於醋液中確實可增加鈣的溶出，且隨蛋殼含量比例愈多，則鈣含量愈高。在浸漬16天時，以EDTA與KMnO₄測定鈣含量，30%蛋殼量浸漬之醋酸鈣的鈣皆溶出最多（劉，1997），以KMnO₄法測得30%蛋殼鈣溶出量具顯著性差異，但以EDTA法測的10%~40%之鈣含量卻無顯著性差異，原因為EDTA法是測定鈣、鎂之總量（馬，2011），所測得的數值不完全為鈣，但在鈣的分析上與KMnO₄相較，卻有較穩定的結果。在浸漬50天之鈣含量仍以30%之溶出率最高（KMnO₄法 0.97%），但與浸漬16天相較，相同蛋殼比例下浸漬50天之鈣含量雖無顯著性差異，但所測得之數值仍有下降之趨勢，所以浸漬時間愈久溶出量不一定愈多（如圖10、11）。

表3、不同蛋殼比例浸漬16天與50天之鈣含量分析

方法	蛋殼比例	0%	10%	20%	30%	40%
	浸漬天數					
KMnO ₄	浸漬16天	0.01±0.00 ^c _A	0.75±0.05 ^b _A	0.78±0.06 ^b _A	1.03±0.06 ^a _A	0.81±0.02 ^b _A
	浸漬50天	0.01±0.00 ^c _A	0.03±0.01 ^c _B	0.91±0.05 ^a _A	0.97±0.03 ^{ab} _A	0.62±0.01 ^b _B
EDTA	浸漬16天	0.20±0.01 ^b _A	1.53±0.03 ^a _A	1.60±0.06 ^a _A	1.62±0.03 ^a _A	1.58±0.11 ^a _A
	浸漬50天	0.20±0.01 ^b _A	1.46±0.01 ^a _B	1.47±0.01 ^a _B	1.41±0.05 ^a _A	1.38±0.01 ^a _B

Each value is expressed as mean ±SD (n=3). Means within different capital letters (A~B) are significantly different (p<0.05). Means within different small letters (a~c) are significantly different (p<0.05).

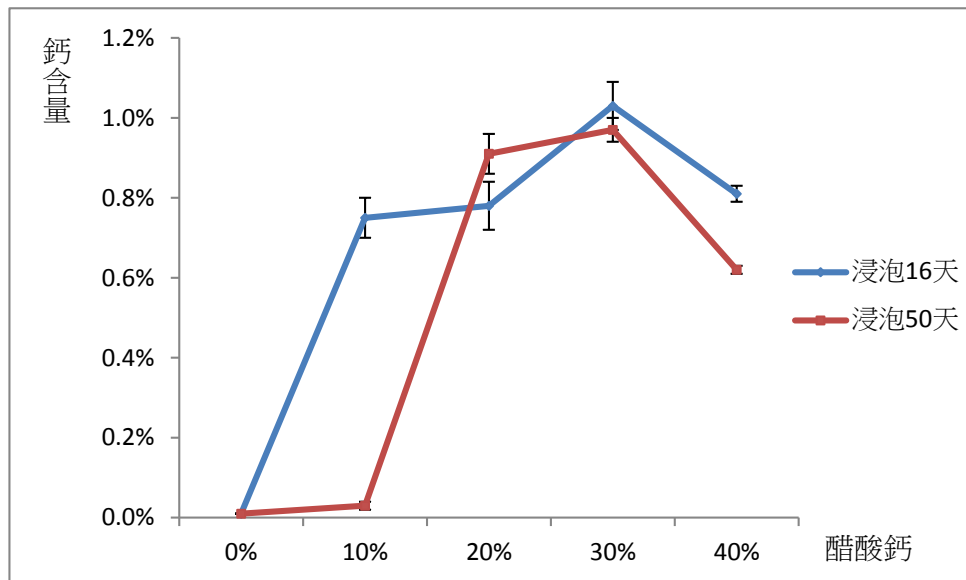


圖10、 KMnO_4 測定不同蛋殼比例之醋酸鈣鈣含量比較圖

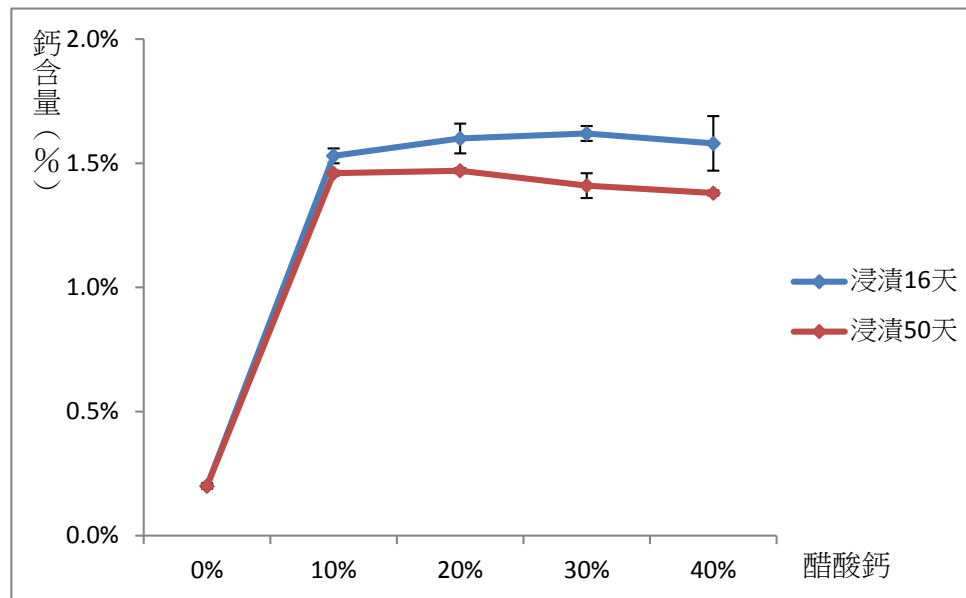


圖11、EDTA測定不同蛋殼比例之醋酸鈣鈣含量比較圖

二、豆腐之成分分析

(一) 原料之酸度、pH值及鈣含量

一般豆腐製作大多使用石膏（硫酸鈣），而醋酸鈣與石膏均含有酸及鈣，因此利用醋酸鈣取代石膏（硫酸鈣），故在實驗設計上，先將原料進行酸度、pH值及鈣含量分析，經分析後豆漿、石膏水與30%醋酸鈣相比較，以石膏水之酸度（0.06%）最低，pH 7.765最高。

接著利用鈣溶出最多浸漬16天30%蛋殼濾液，分別以豆漿量之不同比例（0%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、4%、5%）進行杯子試驗（如圖12），發現使用豆漿量之2.5%醋酸鈣即可成功將豆腐凝固成豆腐，並製作出與豆腐相似之口感。

表4、豆腐原料之酸度、pH值、鈣含量分析

		豆漿	石膏水
酸度（%）		0.18±0.03	0.06±0.00
pH值		6.533	7.765
鈣含量	KMnO ₄	1.16±0.09	1.24±0.17
	EDTA	0.07±0.01	1.93±0.05



圖12、杯子試驗



圖13、醋酸鈣豆腐

（二）豆腐之酸度、pH值及鈣含量分析

豆腐的酸度及pH值也會受到鈣含量的影響，未添加醋酸鈣之豆腐酸度為0.43%，pH值為5.835，而有添加醋酸鈣之豆腐酸度為0.15%，pH值為6.056（如表5）皆有顯著性差異，另外由實驗中得知，含鈣量愈多之豆腐其酸度愈低，pH值愈高。另外以KMnO₄法分析鈣含量發現，石膏水鈣含量（1.24%）（如表4）皆比醋酸鈣（1.03%）（如表3）略高，以醋酸鈣當凝固劑的醋酸鈣豆腐，鈣含量（3.24%），比石膏製成的豆腐鈣含量（1.57%），明顯增加許多（如表5、圖16），所以醋酸鈣不僅可以取代石膏還可以增加鈣含量，也不會因醋酸鈣添加而使酸度增加。

表5、豆腐之酸度、pH值、鈣含量分析

		一般豆腐	醋酸鈣豆腐
酸度 (%)		0.43±0.05 ^A	0.15±0.01 ^B
pH值		5.835 ^B	6.056 ^A
鈣含量	KMnO ₄	1.57±0.09 ^B	3.24±0.11 ^A
	EDTA	0.11±0.01 ^A	0.04±0.00 ^B

Each value is expressed as mean ±SD (n=3). Means within different capital letters (A~B) are significantly different (p<0.05).

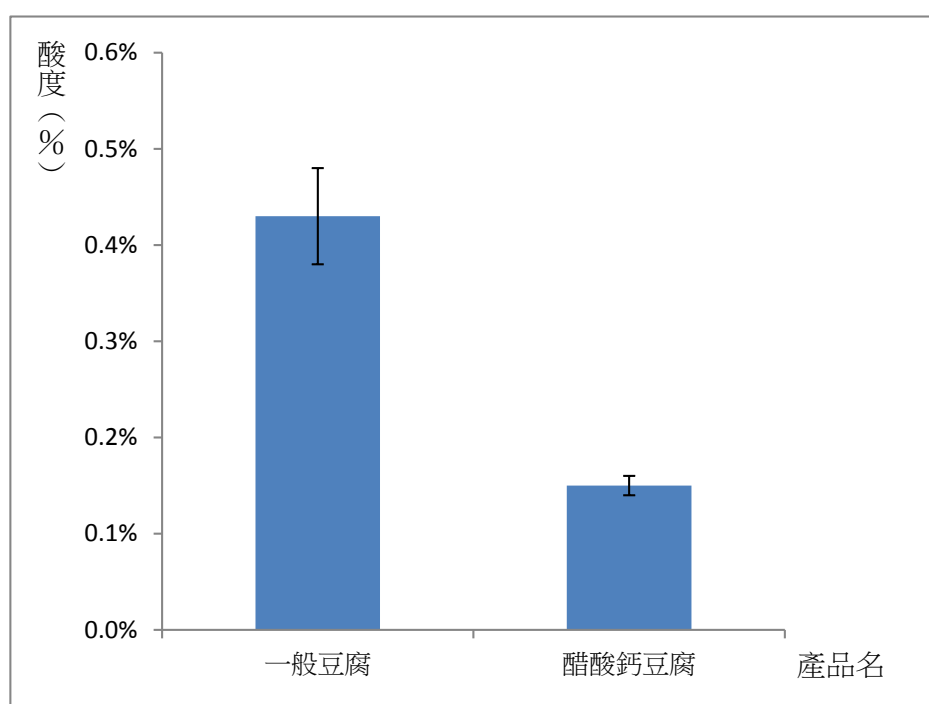


圖14、豆腐之酸度對比圖

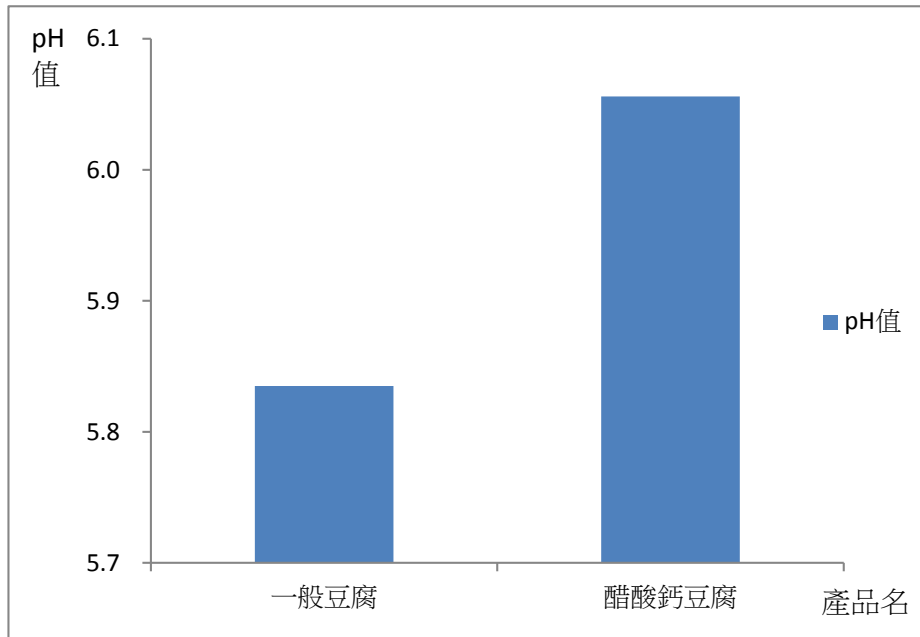


圖15、豆腐之pH值對比圖

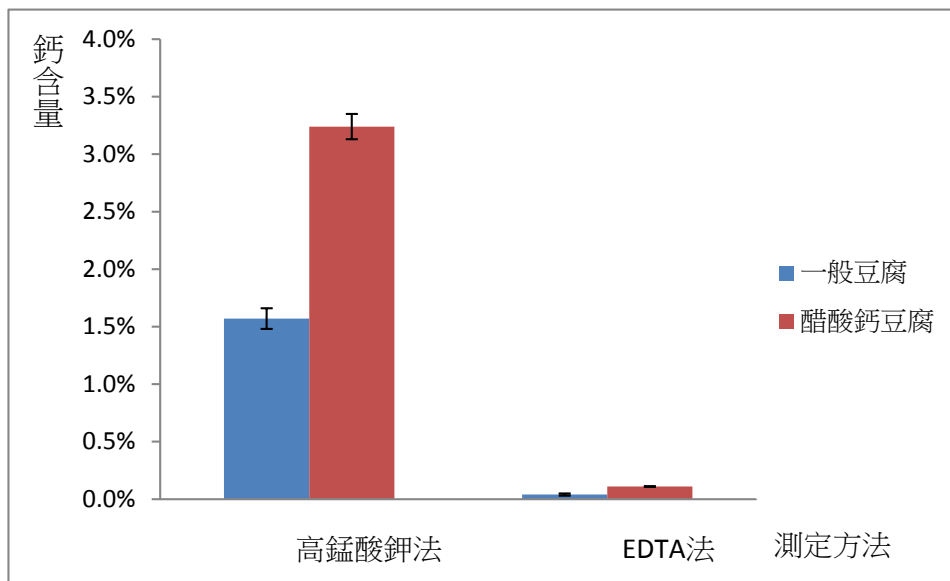


圖16、豆腐之鈣含量對比圖

(三) 水分含量分析

使用紅外線水分測定儀進行豆腐之水分含量測定，得到醋酸鈣豆腐之水分含量（78.73%）與一般豆腐之水分含量（79.13%）少，但無顯著性差異（如表 6、

圖 17)，表示添加醋酸鈣所製得之醋酸鈣豆腐仍保有豆腐的水分，不因醋酸鈣的添加而使豆腐中水分流失。

表 6、豆腐之含水量分析

	一般豆腐	醋酸鈣豆腐
含水量 (%)	79.33±0.55 ^A	78.73±2.25 ^A

Each value is expressed as mean ±SD (n=3). Means within different capital letters (A~B) are significantly different (p<0.05).

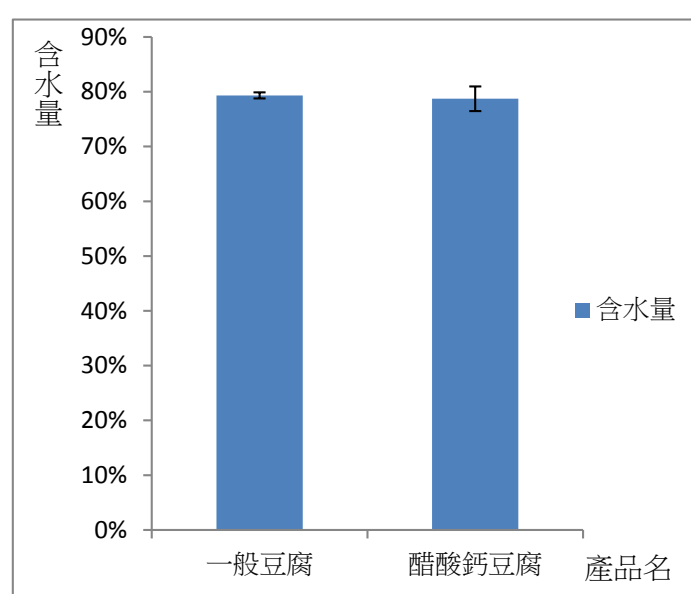


圖 17、豆腐之含水量對比圖

三、物性分析

利用物性分析儀對豆腐進行一系列之物性測定，包含硬度、彈性、耐咀性等，而由表 7 可發現醋酸鈣豆腐的硬度為 769.3 m.l.t⁻²，與一般豆腐的 630.99 m.l.t⁻² 並無顯著性差異，而其咀嚼性 450.73 m.l.t⁻² 也與一般豆腐的 392.94 m.l.t⁻² 差異不大，所以經實驗得知，在添加醋酸鈣後相較於傳統豆腐，雖因鈣含量增加，其組織略微增強，彈性 (0.88)、內聚性 (0.70) 等較於傳統豆腐的彈性 0.91、內聚性：0.72 稍有減少，但四項測定結果皆無顯著性差異，表示醋酸鈣確實可取代石膏製成豆腐。

表 7、豆腐之物性分析

	一般豆腐	醋酸鈣豆腐
硬度 (hardness)	630.99±265.86 m.l.t ^{-2A}	769.30±305.99 m.l.t ^{-2 A}
咀嚼性 (chewiness)	392.94±98.48 m.l.t ^{-2 A}	450.73±106.24 m.l.t ^{-2 A}
彈性 (springiness)	0.91±0.01 ^A	0.88 ±0.06 ^A
內聚性 (cohesiveness)	0.72±0.13 ^A	0.70±0.14 ^A

Each value is expressed as mean ±SD (n=3). Means within different capital letters (A~B) are significantly different (p<0.05).

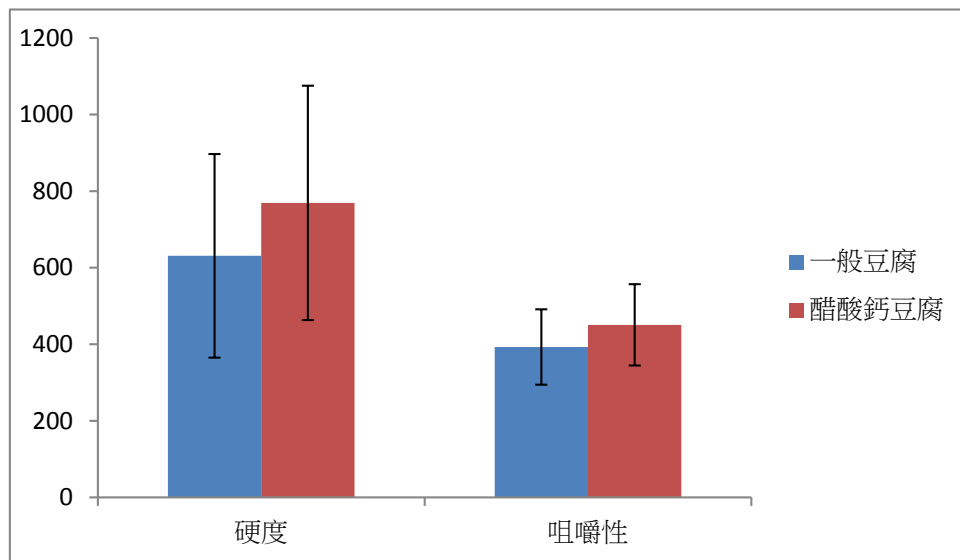


圖 18、豆腐之硬度、咀嚼性對比圖

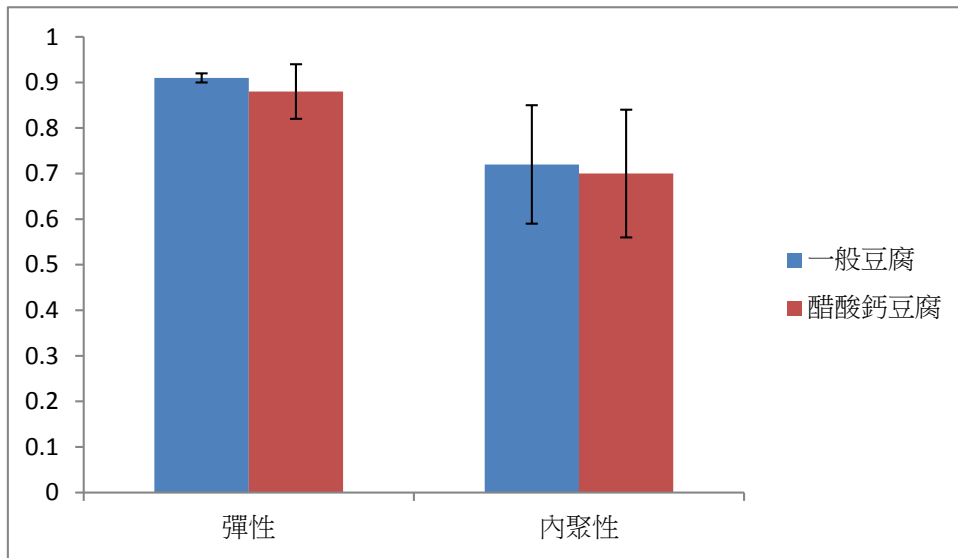


圖 19、豆腐之彈性、內聚性對比圖

四、 掃描式電子顯微鏡 (SEM)

使用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 放大500倍觀察豆腐內部組織，由圖20、21可看出，醋酸鈣豆腐之內部結構比一般豆腐要來的緊密、結實，由此可知，若鈣含量增加，將會造成豆腐內部結構之改變，在物性分析中硬度測定雖無顯著性差異，但所測得之數據中醋酸鈣豆腐硬度 769.3 m.l.t^2 確實較一般豆腐 630.99 m.l.t^2 高，此一結果也可說明醋酸鈣豆腐硬度增加。

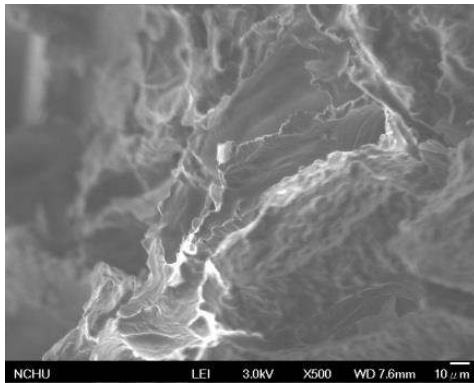


圖20、一般豆腐

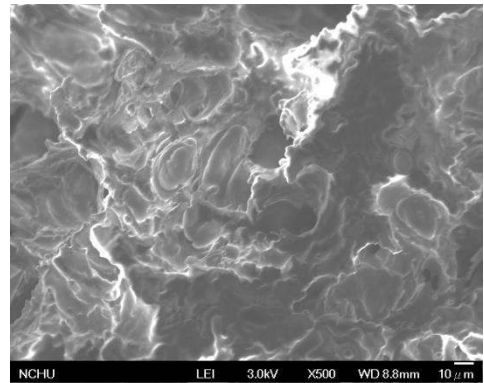


圖21、醋酸鈣豆腐

五、 解剖顯微鏡拍攝

使用解剖顯微鏡進行細部拍攝以觀察豆腐表面之差異，由圖22、23可看出，醋酸鈣豆腐表面之孔洞對比一般豆腐之孔洞較細小、緊實，且表面較為不平整。對照SEM之結果，推測因鈣含量增加，使內部組織改變，也造成豆腐表面紮實、不規則之變化。

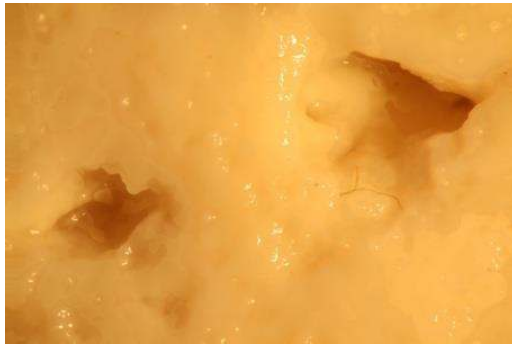


圖22、一般豆腐



圖23、醋酸鈣豆腐

六、 感官品評

感官品評採用五分法，以70位未受過訓練之消費者對一般豆腐與醋酸鈣豆腐依喜好程度進行喜好性感官品評，分數越高則喜好度越高。經品評結果得知，消費者在味道部份對兩種豆腐之喜好性沒有明顯差異，表示醋酸鈣豆腐並不因添加了醋酸鈣而殘留酸味，但在質地、軟硬度之喜好上，一般豆腐的質地（3.89分）及軟硬度（3.61分）與醋酸鈣豆腐的質地（3.16分）及軟硬度（3.03分）有顯著性的差異且對兩種豆腐的顏色喜好上也有明顯的差別，所以推測消費者的喜好度受豆腐的質地、軟硬度以及顏色的影響而降低。另外對照解剖顯微鏡之圖片，可看出醋酸鈣豆腐表面較為凹凸不平，質地顯得較粗糙，此也可能是消費者喜好度較低之原因，但在數據結果分析上仍可發現，利用醋酸鈣豆腐之各項喜好度都在三分以上（如表8），即說明其醋酸鈣豆腐也能被消費者所接受。

表8、感官品評結果分析

	一般豆腐	醋酸鈣豆腐
質地	3.89±0.59 ^a	3.16±0.81 ^b
顏色	3.85±0.66 ^a	3.45±0.76 ^b
味道	3.60±0.79 ^a	3.47±0.95 ^a
軟硬度	3.61±0.87 ^a	3.03±0.99 ^b
整體喜好	3.75±0.71 ^a	3.19±0.92 ^b

Each value is expressed as mean ±SD (n=70). Means within different small letters(a~b) are significantly different(p<0.05).

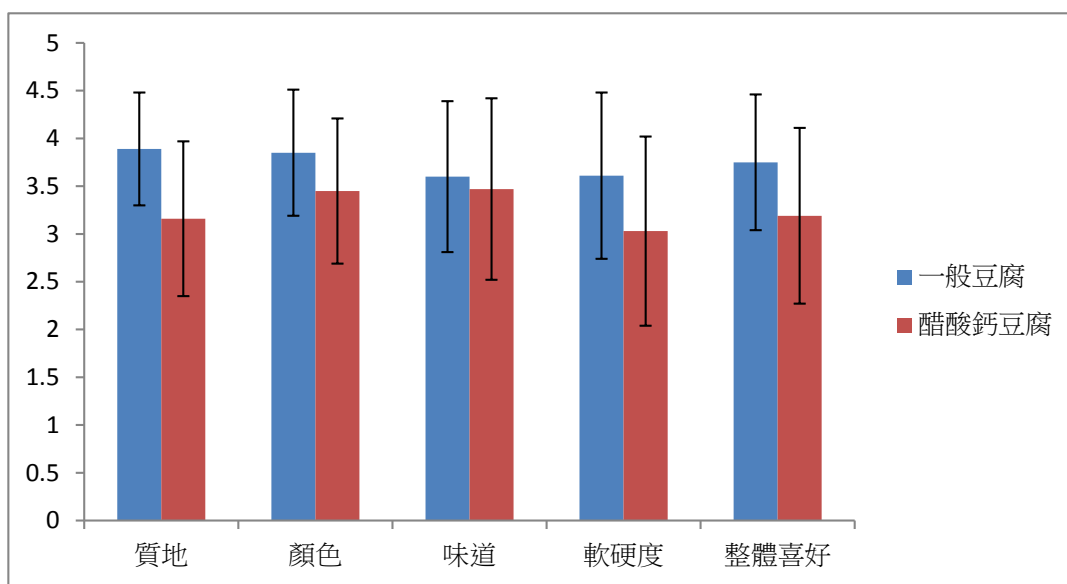


圖24、感官品評結果對照圖

七、 成本分析

(一) 一般豆腐

原料	百分比%	重量 (g)	單價 (元/kg)	小計 (元/kg)
黃豆	100	400	40	27
食用石膏	4	16	100	2
合計	104	416	140	29

(二) 醋酸鈣豆腐

原料	百分比%	重量 (g)	單價 (元/kg)		小計 (元/kg)	
黃豆	100	400	40		27	
醋酸鈣	2.5	約70	食醋	60	食醋	8
			蛋殼	0	蛋殼	0
合計	102.5	約470	100		35	

陸、討論

- 1、以醋酸浸漬不同比例蛋殼中因蛋殼中的鈣溶入醋中之最大比例為30%（劉，1997），故40%蛋殼比例浸漬出之醋酸鈣，酸度、pH值、鈣含量改變皆有趨緩，另外儲藏性試驗中隨浸漬時間增加，鈣溶出量反而減少，與酸度及pH值之分析結果並不完全相符。在赫美，2011文獻中指出，因醋酸為揮發性溶液，會因加熱、儲藏等因素而使鈣溶出量減少。
- 2、鈣的分析上以KMnO₄與EDTA兩種方法所得的鈣含量明顯不同，EDTA法所測得之含量明顯高於KMnO₄法，原因在於EDTA為測定鈣及鎂的總含量（馬，2011），而KMnO₄法在測定上較不穩定，但適用於鈣的分析，不過兩種方法在鈣的分析上都能呈現出相關性，隨蛋殼浸漬比例增加，鈣含量亦隨之增加，到40%時皆有減少趨勢。
- 3、鈣含量的增加會導致醋酸鈣豆腐較一般豆腐稍硬、彈性也較差，且從物性分析、水分含量、SEM、解剖顯微鏡之結果也可看出醋酸鈣豆腐水分含量略低，而由統計結果可知，各項都未有顯著性之差異，但從品評結果中可看出消費者對醋酸鈣豆腐的質地及軟硬度喜好程度較低，整體喜好而言醋酸鈣豆腐與一般豆腐也有較大差距，而品評結果與物性測定之結果不相符，可能因消費者在品評中有著主觀意識，所以得知機器與人的感覺仍有些許不同，但品評結果中各項評分也都在三分之上，口感也能被消費者所接受，對照物性分析之結果，醋酸鈣豆腐之組織與一般豆腐無顯著性差異，亦表示醋酸鈣豆腐確實能取代石膏製成豆腐。
- 4、在成本分析上，製作一般豆腐所需原料成本為29元，而醋酸鈣豆腐為35元，製作醋酸鈣豆腐成本略高於一般豆腐，但醋具有消除肌肉疲勞的功效，而鈣具有保持細胞的生存、妨礙脂肪吸收等功效，而所製成的醋酸鈣之鈣質更易使人體吸收，因此醋酸鈣豆腐不僅能具備營養價值，還能取代一般豆腐內的石膏，讓豆腐更為天然，也具有其商品價值。

柒、結論

- 1、收集廢棄蛋殼並用不同蛋殼比例（0%、10%、20%、30%、40%）以醋浸漬，將蛋殼中溶出的鈣形成醋酸鈣，且過濾後之醋酸鈣經分析後發現，隨著蛋殼含量愈多，鈣溶出量愈多，而以30%蛋殼浸漬之醋酸鈣的鈣溶出量（1.03%）最多，且鈣的溶出量愈多，酸度隨之降低，pH值亦會上升，更進一步說明，可利用鈣由pH值及酸度的改變，粗略了解鈣溶出的多寡。
- 2、以儲藏性試驗分析得知，鈣含量雖隨蛋殼比例及浸漬時間增加而增加，但並非浸漬越久越好，在16天與50天之儲藏性試驗中，反而是浸漬16天之鈣含量較高。
- 3、以鈣溶出最高的30%醋酸鈣，取豆漿量的2.5%添加能成功取代石膏製成豆腐。在鈣含量測定中，測出一般豆腐鈣含量為1.57%，而添加醋酸鈣之鈣含量為3.24%，其證明醋酸鈣的添加的確可增加其鈣質，另外一般豆腐酸度為0.43%，pH值為5.835而添加醋酸鈣之豆腐酸度為0.15%，pH值為6.056，因此在酸度及pH值的測定上也可看出鈣質的增加，因此將醋酸鈣應用在豆腐，可使豆腐增加營養價值，且可將醋酸鈣取代豆腐的凝固劑（石膏），以天然添加物製造食品。
- 4、在物性測定中，可看出醋酸鈣豆腐與一般豆腐之硬度、彈性、內聚性以及咀嚼性無明顯差異，所以經實驗得知，雖然醋酸鈣豆腐因鈣含量增加，組織得到了略微的增強，但整體上，一般豆腐與醋酸鈣豆腐並無太大差異。
- 5、利用掃描式電子顯微鏡（SEM）進行觀察，醋酸鈣豆腐之內部結構比一般豆腐要來的緊密、結實，使用解剖顯微鏡進行細部拍攝，醋酸鈣豆腐表面之孔洞比一般豆腐之孔洞顯得細小規則，且不平整，由此可知，鈣含量增加會造成豆腐內部結構改變，豆腐表面也隨之變化，此結果也可說明醋酸鈣豆腐硬度、彈性、內聚性、咀嚼性、及水分含量雖無太大改變，但仍對其組織造成些許影響。
- 6、經感官品評後得知，消費者對一般豆腐之喜好度高於醋酸鈣豆腐，其中在味道上之喜好度差異不大，但質地、軟硬度等組織性差異則由一般豆腐與醋酸鈣豆腐之質地（3.89分 > 3.16分）與軟硬度（3.61分 > 3.03分）可看出有較大的差別，且在顏色上一般豆腐也較醋酸鈣豆腐受消費者喜愛，但也因鈣含量增加使整體硬度增加，組織更紮實，且表面較為不平整，

而影響消費者之喜好度，但整體喜好上，消費者都給予三分以上，證明醋酸鈣豆腐可取代石膏，且仍可被消費者所接受。

7、利用食醋浸漬不同比例蛋殼（0%、10%、20%、30%、40%）確實能溶出蛋殼中的鈣，且蛋殼含量愈多，鈣溶出量則愈多，其所得之醋酸鈣可取代石膏製成豆腐，並增加營養價值，且更為天然，另外利用醋浸漬蛋殼所製成之醋酸鈣還可使人體更能吸收，同時還能將廢棄物的蛋殼更進一步地利用。

捌、參考資料與其他

- 一、王進崑、柯文慶、宏端良、陳重文、盧榮錦、賴茲漢（2002）。食品、營養儀器分析。富林出版社。
- 二、李常傳（2005）。吃醋。宇科文化出版有限公司。
- 三、林怡如（2009）。利用不同分子量幾丁聚醣為凝固劑製備豆腐及以水合劑改善其保水性之研究。東海大學碩士論文。台中，台灣。
- 四、林慶文（1979）。蛋之化學與利用。華香園出版社。
- 五、威廉·夏利夫（2005）。豆腐之書。柿子文化事業有限公司。
- 六、馬克·莫西納、維吉娜·莫西納、肯恩·薩契爾（1997）。黃豆食療新革命。生活醫學書房。
- 七、馬宗能（2011）。食品化學與分析實習 I。復文圖書有限公司。
- 八、郭文玉、劉發勇、邱宗甫（2009）。食品加工 I。復文圖書有限公司。
- 九、楊綠茵（2007）。天天吃醋：楊綠茵教你釀醋、喝醋、料理醋。腳丫文化出版事業有限公司。
- 十、赫美（2011）。21食醋对鱼骨中钙溶出的影响。現代食品科技。Vol.27，No.1。
- 十一、劉敏（1997）。醋酸鈣的製備及應用研究[J]。適用技術市場。1：10-20。
- 十二、藤田拓男（1994）。神奇的鈣。國際村文庫書店。

【評語】 091407

1. 本研究利用食醋浸漬蛋殼以製備醋酸鈣製作豆腐，結果顯示醋酸鈣可取代石膏製作天然豆腐，具有環保及實際應用之價值。
2. 能以實驗驗證理論，並具有創意。
3. 團隊分工及成果表達可加強。