

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程
碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology

Nanhua University

Master Thesis

豆漿濃度對豆腐製程效益之影響

Effects of Soymilk Concentration on Production

Efficiency of Tofu Manufacturing Process

葉坤桐

Kun-Tung Yeh

指導教授：陳柏青 博士

Advisor: Bo-Ching Chen, Ph.D

中華民國 108 年 6 月

June 2019

南華大學
永續綠色科技碩士學位學程
碩士學位論文

論文中文題目：豆漿濃度對豆腐製程效益之影響

論文英文題目：Effects of Soymilk Concentration on
Production Efficiency of Tofu Manufacturing
Process

研究生：葉坤桐

經考試合格特此證明

口試委員：陳柏青

洪耀明
蔡正偉

指導教授：陳柏青

系主任(所長)：洪耀明

口試日期：中華民國 108 年 6 月 22 日

誌 謝

首先要感謝碩士論文指導教授 陳柏青 院長，在寫作過程中用心的指導與鼓勵以及給予我許多的建議及指導方向，同時也要感謝系所主任 洪耀明 主任，提供給我諸多寶貴的意見，使全篇論文更加充實，方能使我的論文順利完成。

從來沒有想過研究所會列入我的人生規劃之一，然而在因緣際會之下，非常感謝榮洲食品股份有限公司董事長 何本源 的推薦栽培，呈潔環保公司董事長 黃其斌以及工業區環保中心組長 邱美華的舉薦向學，因此展開了我的碩士求學之路。

在南華的這兩年裡，很感謝同窗好友吳旻芳、李繼源、邱捷玲、尤伯鯉、陳淑玲和林秉儀同學，能與企業先進共同學習，將各人在不同工作領域的經驗以及心得共同分享，互相切磋，實在是人生中最珍貴的回憶。

最後，感謝我親愛的老婆雅琳的支持，乖巧懂事的寶貝女兒一家馨，在我就讀研究所及論文寫作期間給予我的支持與陪伴，這篇論文是因為有他們才得以完成。

摘 要

豆腐的製程中使用的豆漿濃度不同，會影響經濟效益、時間效益及製程流暢性，因此，建立豆腐製造過程中可獲致最佳效益之豆漿濃度，為豆腐生產成本效益分析之重要參數。本研究採用四種豆漿濃度 10%、11%、12%、13%，進行豆腐的標準生產製程，並分別計算每個製程中能源的損耗率、時間效益、產量效益。研究結果顯示，當豆漿濃度為 10%，能源損耗率最高、工時最長、產量最多；而當豆漿濃度為 13%時，能源損耗最少、工時短，而產量最少。本研究的結果，將可作為節省豆腐生產企業營運成本之重要參考依據。

關鍵詞：豆腐、豆漿濃度、能源效益、時間效益、經濟效益

ABSTRACT

The soymilk concentration used in the process of tofu manufacturing will result in different economic benefits, time efficiency and the fluency of manufacturing process. Therefore, it is necessary to establish optimal soymilk concentration for the cost-benefit analysis in the tofu manufacturing process. In this study, four soymilk concentrations of 10%, 11%, 12%, and 13% were used in the standard tofu manufacturing process. Energy consumption rate, time efficiency, and production efficiency were obtained in each process. Results of the present study showed that the highest energy consumption rate, longest working hours, and highest productivity occurred at the soymilk concentration of 10% however, the lowest energy consumption rate, shortest working hours, and lowest productivity was obtained at the soymilk concentration of 13%. Results of this study can be used as a reference for saving the operating cost of tofu manufacturing enterprise.

Keywords: tofu, soymilk concentration, energy efficiency, time benefit, economic benefit

目錄

誌謝	I
摘要	II
ABSTRACT	III
目錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	VIII
第一章 前言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	2
1.4 本文組織	3
第二章 文獻探討	5
2.1 黃豆簡介	5
2.2 豆腐製作流程	6

2.3 豆腐的凝膠機制	7
2.4 豆腐	9
2.5 凝固劑	10
2.6 影響豆腐品質產量的因素	12
第三章 實驗材料與方法	15
3.1 實驗材料	15
3.2 實驗設備	16
3.3 實驗方法	17
3.3.1 豆腐生產流程	17
3.3.2 豆漿製作方法	19
3.3.3 濃度的測定	19
3.3.4 蒸氣量測定	20
3.3.5 加壓滴水時間測定	22
第四章 結果與討論	23
4.1 蒸氣耗能分析試驗	23

4.2 廢水產出分析	24
4.3 壓榨時間分析	25
4.4 原物料與產品產量統計分析.....	26
4.5 豆漿濃度試驗綜合分析	27
第五章 結論與建議.....	29
5.1 結論	29
5.2 建議	30
參考文獻.....	31
附錄.....	33
附錄一 蒸氣熱值對照表	33
附錄二 天然氣熱值對照表	34

圖目錄

圖 1-1 論文研究架構	4
圖 2-1 黃豆莢	6
圖 2-2 豆腐製作流程圖	7
圖 2-3 豆腐形成原理	10
圖 2-4 影響豆腐產量品質之因素	14
圖 2-5 豆漿濃度對豆腐製程之效益	14
圖 3-1 嫩豆腐製作流程	18
圖 3-2 糖度計刻度	20
圖 3-3 加壓滴水	22
圖 4-1 各濃度豆漿量、蒸氣量、天然氣用量對照	24
圖 4-2 不同豆漿濃度下廢水產生比較圖	25
圖 4-3 不同豆漿濃度下所需壓榨時間及對應工資	26
圖 4-4 不同豆漿濃度下所需原物料與產品量之比較	27
圖 4-5 產量與時間測量值比較圖	28

表目錄

表 2-1 凝固劑種類特性比較表	12
表 3-1 實驗材料表	15
表 3-2 實驗設備表	16
表 4-1 不同濃度蒸氣耗能測量結果	23
表 4-2 產量與時間統計表	28



第一章 前言

1.1 研究背景

豆腐是一種黃豆加工食品，起源於中國，只要有華人的地方就會有豆腐這種食品。豆腐的營養成分有纖維、蛋白質、植物油、鈣質等，與日常食用的肉類養分相似，因此深受一般家庭的喜愛；另在烹調上豆腐可變換多樣的做法及產生不同的口感，如嫩豆腐、豆干、油豆腐、豆包等。由於豆腐具備營養價值高、平價、口感多樣化等特性，因此成為非常受歡迎而普及的食品之一。

製作豆腐之過程非常複雜且耗費工時，從黃豆泡水開始，一直到生產出一板嫩豆腐，所需要的時間約十個小時。豆腐製作的原料為黃豆，而植物性的原料會因品種、種植地點之物候變化等，影響到原料的品質，因此在製作豆腐時有許多變因，影響到豆腐品質及出產量。目前製作豆腐大多是以手工作業而無法完全以機械取代，最主要也是因為植物性原料的變因太多，手工製作過程中可以即時反應處理，而各式突發狀況之處理及應變，必須藉由長年累積的經驗法則而達成，因此豆腐製作者的製造經驗，往往亦成為影響豆腐品質及口感的關鍵之一。

1.2 研究動機

早期農業社會，豆腐的製作以手工作業生產為主，其流程大致為：將磨好的漿以大鍋煮熟後用綿紗布過濾，再將豆漿放置於大桶中，以鍋杓將豆漿上下攪動，再將石膏水加入豆漿內，攪拌均勻後靜置等待豆漿凝固。上述作業大都依靠多年的經驗，包括添加黃豆及水的比例及凝固劑的比例，完全不用靠機械設備去做定量或輔助，更不用儀器去量測濃度，然而這樣憑藉經驗的作業方式，往往造成成本較難控制。而現今的工業社會重視品質與產量的穩定及生產效率的提升，以手工製做豆腐已無法滿足產品質量及生產效率之需求，因此若能以機械作業取代經驗作業，將豆腐製程中各項生產流程、配方、添加物比例等詳加規範，則機械化作業所生產之產品，其品質必然較手工作業穩定，其生產效率也將優於手工作業。

1.3 研究目的

豆腐生產作業機械化後，作業流程中每個環節中原物料配方及添加物之比例非常重要，如水與黃豆比例會直接影響豆漿濃度高低，更會影響最後的品質及生產量多寡。因此本研究之目的如下：

(1)利用四種不同豆漿濃度製作嫩豆腐，以探討不同豆漿濃度，對嫩

豆腐的生產量、生產效率及能源的損耗量之影響。

(2)依實驗結果，探討不同嫩豆腐生產情境下，在分別考慮產量、生產效率及能源耗損下，能產生最佳生產效益之豆漿濃度值，以使豆腐生產流程能發揮最大效益，使企業得以永續經營。

1.4 本文組織

依研究重點將本文分成五章，如圖 1-1 所示，各章節分成前言、文獻探討、實驗材料與方法、結果與討論、結論與建議。

第一章前言，講述研究背景、動機及目的，並兼論及本論文架構組織。第二章文獻探討，說明黃豆的特性、豆腐製作流程中使用之凝固劑及豆腐凝膠機制、豆腐製造過程中影響豆腐品質產量的因素。第三章實驗材料與方法，說明實驗使用的材料及器材設備，以及相關實驗數據量測及計算方式。第四章結果與討論，以實驗所得之蒸氣耗能及產量與作業工時的數據，比較四種豆漿濃度對製作豆腐流程之影響。第五章結論與建議，將實驗結果綜合歸納說明，並提出使用建議，以作為豆腐製造流程參考依據之一。

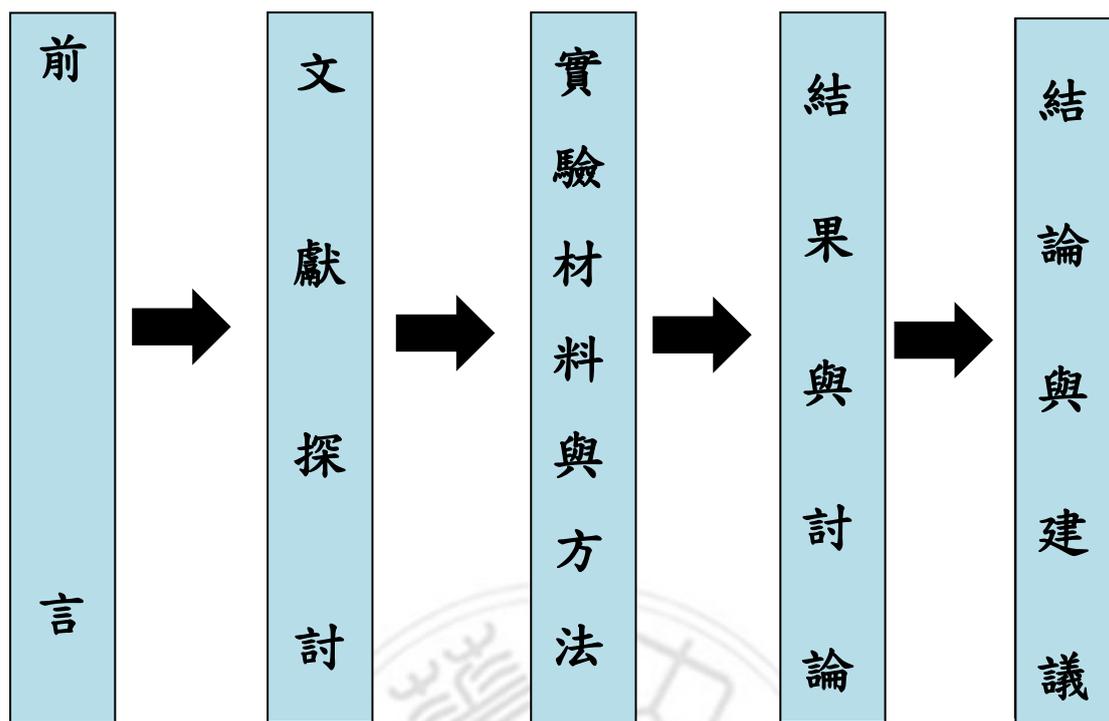


圖 1-1 論文研究架構

第二章 文獻探討

2.1 黃豆簡介

大豆之學名為 *Glycine max*，薛聰賢(2001)提到大豆古稱菽，其形態如圖 2-1 所示，為一種其種子含有豐富的蛋白質的豆科植物。大豆為東亞的原生種植物，種子呈橢圓形或球形，種皮顏色黃色，故別名為黃豆。

黃豆富含植物性蛋白質，有別於一般動物性蛋白質，黃豆較不至造成食用者之膽固醇、脂肪負擔。另黃豆營養成分包括異黃酮素、大豆卵磷脂、維生素 E、維生素 B 群、膳食纖維、鈣、鐵、鋅、不飽和脂肪酸、完整且足夠的胺基酸，具豐富的營養成分與優質蛋白質。黃豆除營養成分多之外，其產品及加工品形態變化也很多。黃豆加工後可變成豆漿、豆腐、豆干、豆包，也可以煉製沙拉油、動物飼料等黃豆製品，也由於黃豆加工品種類繁多，因此可變化出多樣式的菜餚。黃豆之品種及品質，會與所生產出的豆腐生產量會有直接關係，品質好的黃豆蛋白質含量高，凝膠蛋白凝固率也佳，增加對豆腐的生產量，黃豆原料對豆腐的生產量、作業流程及品質皆有影響。



圖 2-1 黃豆莢

(來源:<http://www.nipic.com/show/1/57/6875091kc002a543.html>)

2.2 豆腐製作流程

豆腐製作流程如圖 2-1 所示，首先須將黃豆原料以清水洗淨，接著浸泡約六小時，排水後抽豆研磨成漿體，再利用蒸氣加熱到 97°C 後，進行濾漿使豆渣及豆奶分離，隔離後的豆渣可製成飼料進行再利用，而豆奶定量後，充填添加硫酸鈣(石膏)約千分之二點五至千分之三克，靜置十分鐘等待凝固成形，完成後放入壓台壓榨出多餘的水分，此步驟將產出廢水(豆腐水)，加壓約四小時後即完成一板豆腐的製作。在整個豆腐生產流程中，煮漿程序會產生蒸氣耗能，壓榨過程耗時與壓榨時會產出廢水，這些都是成本耗損的部分。

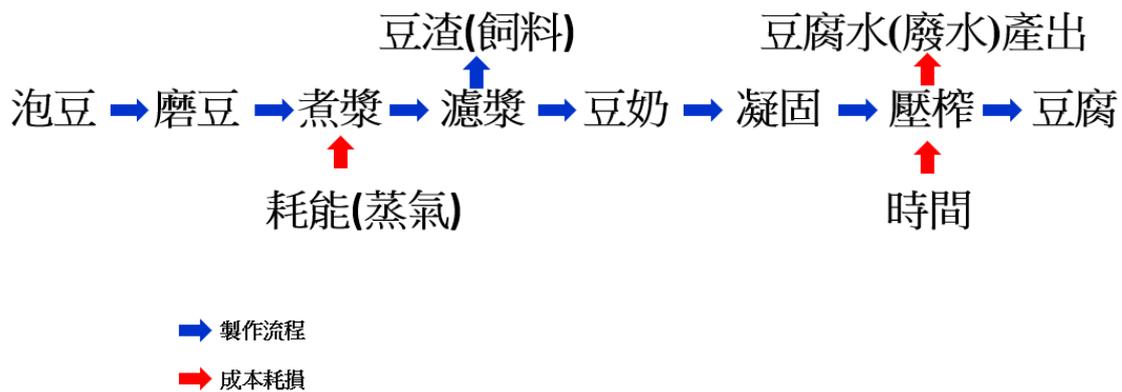


圖 2-2 豆腐製作流程圖

2.3 豆腐的凝膠機制

豆漿要變成豆腐最主要的是要先讓豆漿凝固後再壓榨才能產生出豆腐，要讓豆漿形成豆腐要將豆漿加熱到沸騰，因為熱豆漿加入凝固劑才會容易發生作用，產生凝固效果，若為冷豆漿加入凝固劑則不會產生凝固作用，豆漿會變成稀狀液體，在凝固條件中豆漿裡的凝膠蛋白所含的成分較多時，對於凝固效果最好，若成分多則凝固的速度也會比較快速，凝固劑的添加比例也可以減少。若凝膠蛋白成分較少，在凝固過程比較不容易凝固，凝固劑添加比例也會多，產品的品質會偏硬。

大豆蛋白質主要以大豆球蛋白為主，溶解度分類為清蛋白、球蛋白，清蛋白一般占大豆蛋白質的 5%左右，球蛋白約占 90%。球蛋白可用食鹽溶液萃取，再經反覆透析沉澱而得。這種蛋白質也可溶於水或

鹼溶液，加酸調整 pH 至 4.5 或加硫酸銨可析出沉澱，所以球蛋白又稱為酸沉澱蛋白。再依沉降係數分類又可分為 2S、7S、11S 及 15S 球蛋白。此外，7S 及 11S 是最多的球蛋白，在加工中會影響物理與質地性質。愈多的 7S 會使大豆蛋白中的氫鍵和疏水性增加，促使蛋白質凝膠；愈多的 11S 則會使大豆蛋白中相關的靜電力和雙硫鍵之立體結構提昇，同樣促使蛋白質發生凝膠。(資料來源:中國飼料行業信息網頁資訊(<https://kknews.cc/health/8xlm3zg.html>))

林怡如(2009)指出凝膠是黃豆蛋白質最重要的一種功能，利用此特性才能發展出如豆腐的傳統食品，7S 大豆蛋白與 11S 皆可因熱或因凝固劑的添加而發生凝膠。

Kohvamaetal(1995)則指出，當兩種蛋白質濃度相同時，11S 大豆蛋白之凝膠強度較 7S 大豆蛋白高，11S 大豆蛋白具有較快的凝膠速率，且凝膠強度也較，7S 大豆蛋白高。但若單由 11S 大豆蛋白所凝固之膠體，較 7S 稀薄、多孔洞且易滴水，因此還是需與 7S 大豆蛋白共同凝膠，以提高膠體的保水能力。一般而言，豆漿所含的蛋白質越多，製作豆腐的生產量較多。

李里特(2000)研究了豆漿加熱條件、凝固條件對豆腐凝膠強度和

保水性的影響，提出生豆漿加熱到95~100℃並保溫5分鐘左右，為凝固強度最好、保水性最佳的豆腐膠條件。

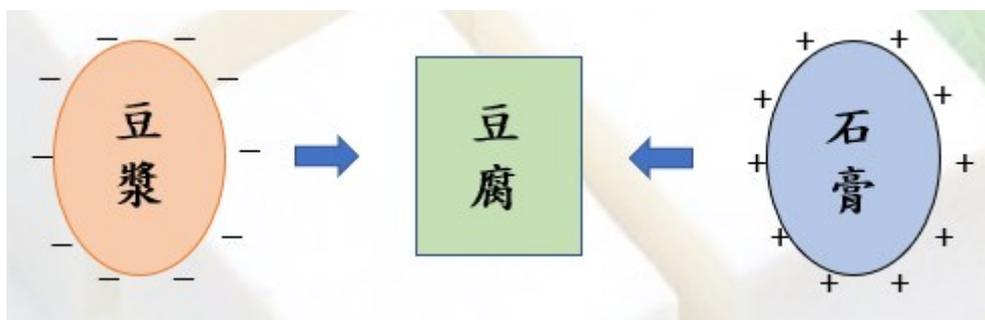
2.4 豆腐

陳文華(1991)文獻中提到豆腐起源自孔子時代，並認為豆腐由西漢淮南王劉安所發明，當中最有利的證據就是朱熹的詩句：「種豆豆苗稀，力竭心已腐，早知淮南術，安坐獲泉布。」而往後的文獻紀載，包括李時珍的《本草綱目》和葉子奇的《草木子》等書，都說明豆腐的製作方法始於淮南王劉安。

金駿培與蓋鈞鎰(1996)以中國南方和黃淮地區黃豆地方品種為材料，研究豆腐產量、品質及有關加工性狀相互間的關係。其研究結果指出豆腐產量與蛋白使用率、蛋白凝固率呈顯著正相關；而蛋白利用率高、殘渣率低、顆粒較大和豆漿蛋白量高的品種可能產生較高的豆腐產量。

含有蛋白質的物質，加入硫酸鈣等電解質後，蛋白質會因電荷被中和掉，分子間缺乏排斥力，因而凝固成顆粒狀；大部分的蛋白質外面都包覆著負電荷。因此，提供適量的正電荷，蛋白質就會正負電抵銷而沉澱，如圖 2-3。而豆腐主要分為兩種，一種是豆腐，另一種為

豆干，豆腐與豆干的差別是在於製作過程中豆干的水分去除比較多，所以壓榨後會較為硬，豆腐因為含水量較多，製作後產品比較軟，所含的蛋白質就比豆干的蛋白質少。豆漿含有豐富的蛋白質，添加含有正電荷的物質就可沉澱。沉澱下來的蛋白質，需要加壓才能形成豆腐，加壓後會產生豆腐水。



(圖片來源:本研究分析整理)

圖 2-3 豆腐形成原理

2.5 凝固劑

豆漿中會產生正電荷的東西都可以讓豆漿變成豆腐，這些物質稱為"凝固劑"。黃豆主要成分是蛋白質，當黃豆磨成豆漿後蛋白質就充分懸浮在水中，外面充滿了負電荷的蛋白質，一旦碰到正電荷就會沉澱形成豆腐腦。會使豆漿形成豆腐腦的物質是凝固劑讓豆漿凝結成固形物，凝固劑將豆漿凝固需要於高溫狀態下添加凝固劑，豆漿中的蛋

白質與凝固劑反應性會更好，反應的速度及成形度也比較好，利用這種方式讓蛋白質沉澱形成固形物。而在豆腐製作中添加的凝固劑包括酸性及鹼性物質，市面中以石膏、葡萄糖酸內酯、鹽滷這三種凝固劑較為普遍使用。

石膏(Gypsum)是種天然的礦物質，適合用來製作口感滑順質地綿密的豆腐，在於使用上容易凝固，製作方便成本較低。葡萄糖酸內酯(Glucono delta-lactone, GDL)成本較高，礦物質成分含量少，醣類萃取的凝固劑，所以沒有很大的營養成分，製作出的豆腐質地偏硬偏脆。鹽滷(Nigari)為提煉鹽而產生出的液體凝固劑，使用技術與經驗值高，不容易添加凝固成形，口感質地較粗糙，含有豐富的鎂及多種礦物質。

凝固劑的濃度對豆腐品質有重要的影響，凝固劑濃度增加除了可以加速凝固外，更會改變膠體的孔隙分部及保水能力。而使用不同凝固劑添加物所產生的豆腐品質也會有差別，一般商業上，不同工廠皆會選用不同的凝固劑種類及使用濃度，表 2-1 綜合整理了三種商業上常使用的凝固劑特性分析。

表 2-1 凝固劑種類特性比較表

凝固劑	成分	成本比較	添加條件	礦物質	用途	豆腐口感
食用石膏 (Gypsum)	硫酸鈣 CaSO ₄	低	容易凝固 條件低	鈣	板豆腐、嫩豆腐、豆花	扎實綿密
葡萄糖酸內脂 GDL Glucono delta-lactone	GLUCONO 8-LACTOIVE C ₆ H ₁₀ O ₆	高	不易凝固、 不易滴水	無(含量低)	盒裝豆腐	滑嫩綿密 口感脆
鹽滷水	氯化鎂 MgCl ₂ · 6H ₂ O	中	多項凝固 受限	鐵、鎂、 鉀、鈣、 錳等多種 礦物質	板豆腐、豆花	質感粗糙、 豆味濃

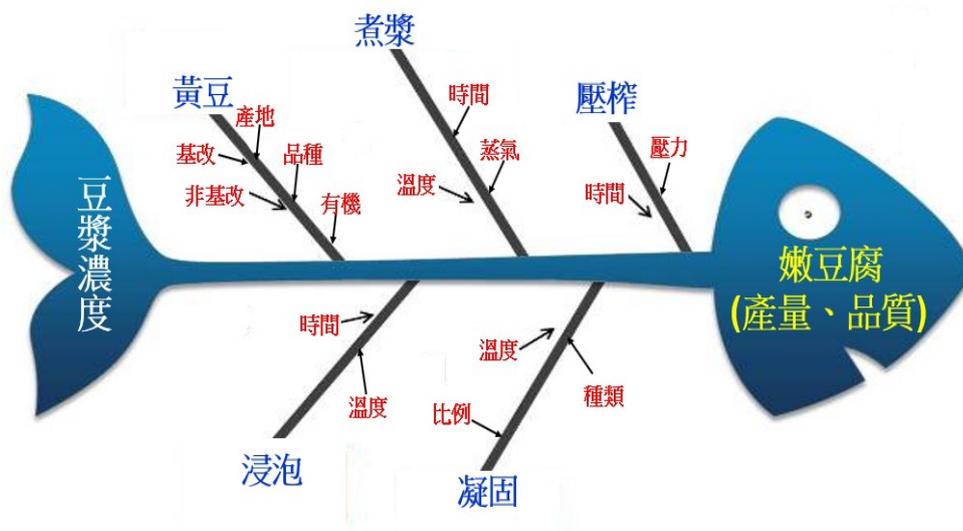
(資料來源：台灣好食材網頁資訊(<https://www.fooding.com.tw/article-content.php?aid=104499>)及本研究整理)

2.6 影響豆腐品質產量的因素

製作豆腐過程中，每個環節中的每個因素都會影響到最終的豆腐品質及產量，如圖 2-4，在製程中黃豆的蛋白質含量及營養成分差異

會因黃豆產地及品種不同有所差異。在製程中所使用的黃豆品種及產地的不同，黃豆本身的蛋白質含量及營養成分也會有差異。李里特與曹薇(1998)提到大豆浸泡溫度對豆腐加工的影響，指出黃豆在磨漿前以 20°C 左右浸泡溫度浸泡黃豆，固形物和蛋白質損失率較少，製作豆腐的凝膠蛋白強度和保水性高。其主要原因為黃豆在浸泡時會發酵產生熱量，水溫會升高，溫度升高會讓生菌數提高，產生浸泡在水中的黃豆酸敗，所以黃豆浸泡水溫在 20°C 左右且水溫穩定下黃豆品質較好。另煮漿過程時間越長，會產生蛋白質及凝膠蛋白的焦化，進而使豆腐口感偏硬。

豆腐凝固劑的比例及種類不同會直接對豆腐口感的改變，凝固劑添加比例太多，豆腐本身水分減少，出產量降低、豆腐會偏硬；添加比例過少，豆腐無法凝固成形過於軟嫩。而最後的壓榨時間長短由豆腐本身水分多寡而定，水分多時壓的時間較久，但壓榨時間太久會使豆腐變硬，理想的豆腐的品質則應帶有彈性、軟硬適中、口感滑順。而濃度改變也會直接影響能源的耗損及工時成本的增加，產品產出量與廢水產出量，因此在製作豆腐過程中選用豆漿濃度對經濟效益有很大的影響，如圖 2-5 所示，



資料來源:本研究整理

圖 2-4 影響豆腐產量品質之因素

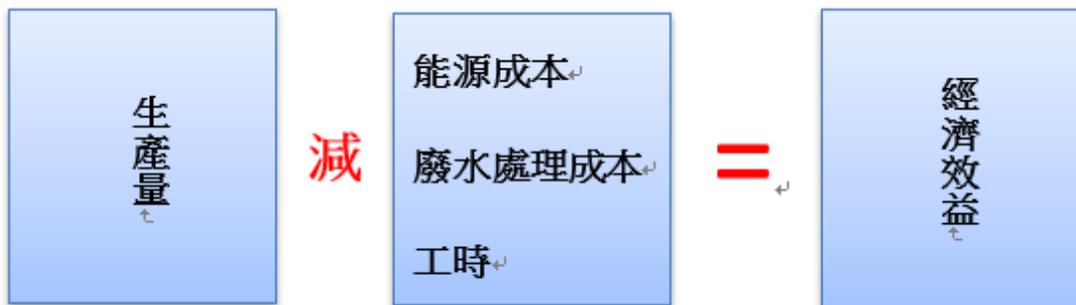


圖 2-5 豆漿濃度對豆腐製程之效益

第三章 實驗材料與方法

3.1 實驗材料

本研究實驗製作豆腐所使用材料有水、非基因改造黃豆、凝固劑及消泡劑，材料成分、產地說明如表 3-1 所示，

表 3-1 實驗材料表

材料名稱	產地	成分	圖片
黃豆	美國	油脂:19.5% 水份:10.7% 蛋白質:43.3%	
凝固劑	中國河北省	硫酸鈣	
消泡劑	馬來西亞	單酸甘油、二酸甘油酯、碳酸鈣、卵磷脂、碳酸鎂、矽樹脂	

(資料來源：本研究分析整理)

(圖片來源：引用自 CATANIA OILS 網站)

3.2 實驗設備

本研究之實驗地點位於台中工業區某處豆腐食品加工廠，豆腐製作設備乃使用該廠內的豆腐生產設備，基本的製作設備有蒸汽鍋爐、磨豆機、煮漿機設備、濾漿機、充填凝固機、壓台及濃度測量器，設備之規格及型號說明如表 3-2 所示，

表 3-2 實驗設備表

設備	型號	特性、規格	製造商	圖片
蒸氣鍋爐	EL2000	燃料-天然氣蒸氣 產出快鍋爐效率佳。	三浦工業	
煮漿設備	CSC-300	產量 300kg 乾豆，前三段遇熱後四段煮沸方式，節省時間及燃料，蛋白質分離量高，連續式烹煮設計。	大地興機械	
凝固充填設備	ST-150	產能每小時 150 板豆腐，豆漿及凝固劑直接沖填模具內，產品品質穩定。	嘉展機械	
糖度計	Master BX/S28M	測量範圍-Brix 0.0... 33.0%，最小刻度-Brix0.2%	日本	

設備	型號	特性、規格	製造商	圖片
蝶磨機	KGM-200F	產量一小時五包乾豆，避免磨石混入豆漿內，減少機械消耗及蛋白質破壞之困擾。	大地興機械	
壓水設備	SAP-100-2L	容量-單邊 2 板豆腐，特性-可調式壓力，作業方便。	新峻機械	
濾漿機	DSF-300	產能一小時六包乾豆，濾渣效果佳、清洗容易，封閉濾漿安全衛生。	大地興機械	

(資料來源：本研究分析整理)

3.3 實驗方法

3.3.1 豆腐生產流程

實驗流程於上述豆腐加工食品廠內進行，挑選 LP59 非基因改造黃豆做為實驗的主要材料，將黃豆清洗後浸泡在水中六小時，浸豆水溫為 22°C，將吸飽水份的黃豆經過蝶磨機研磨成漿體，再由連續式煮漿機加熱至 95°C~100°C 的溫度，出漿經由濾漿機過濾豆漿將豆渣及豆奶分離，過濾後的豆奶抽至定量桶添加凝固劑，充填至模框凝固，

成形完後包模將豆腐疊入壓台壓榨 4~5 小時，瀉水完成放上盛器，將模及豆腐一起翻面，把模子及豆腐巾取出後則是一板完整嫩豆腐，如圖 3-1 所示，

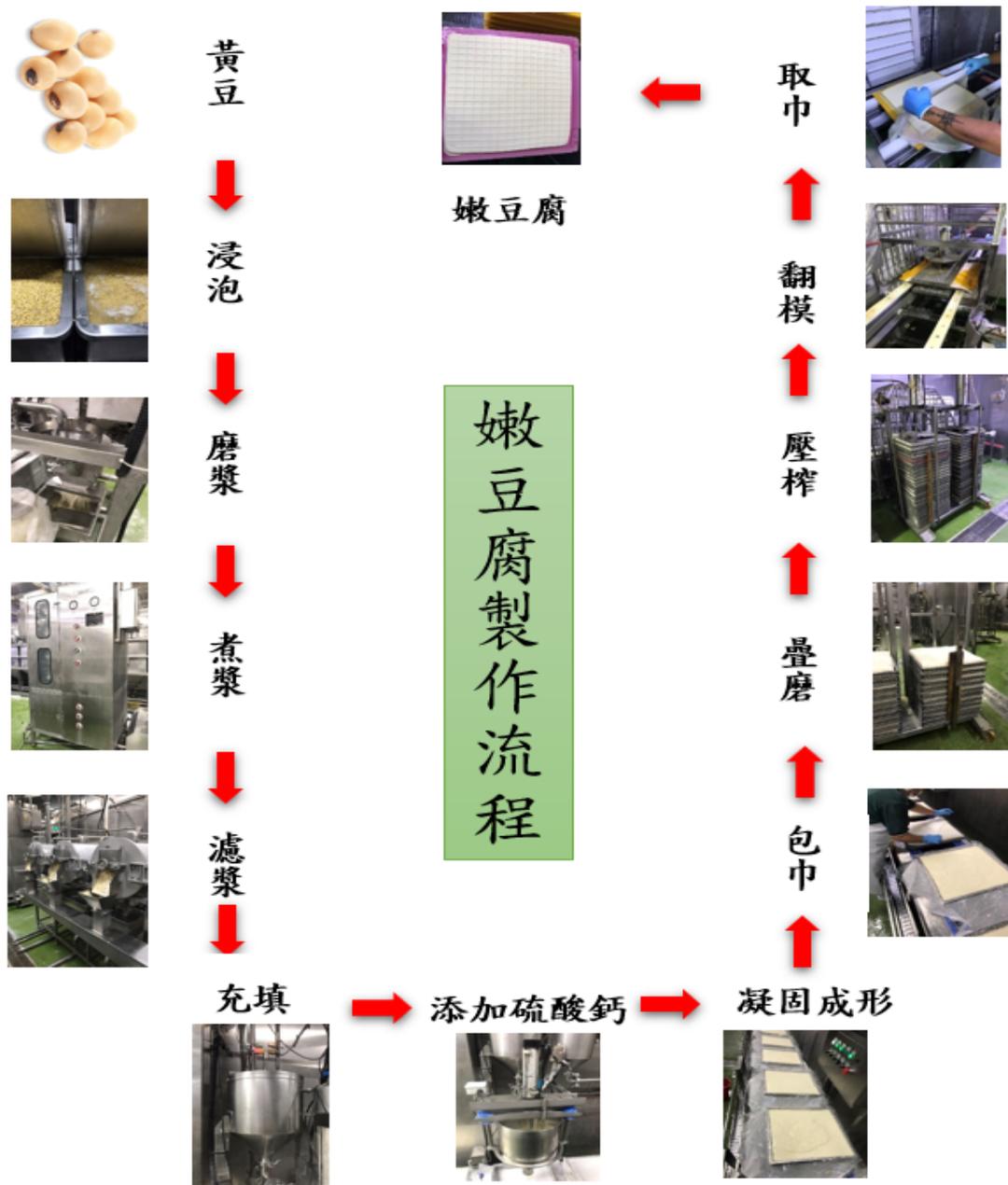


圖 3-1 嫩豆腐製作流程

3.3.2 豆漿製作方法

選取非基因改造黃豆一包 60 公斤裝，乾黃豆清洗乾淨，實驗操作水溫 22°C 浸泡六小時，黃豆吸水飽滿將多餘水排掉，添加不同水量以調整黃豆:水的比例到所設計的濃度值。10%的豆漿水與黃豆的比例為黃豆 1kg、水 6.5kg；11%比例為黃豆 1kg、水 5.9kg；12%為黃豆 1kg、水 5.3kg；13%為黃豆 1kg、水 4.8kg 的比例。黃豆經由磨豆機研磨再經蒸氣直接加熱煮漿，熟漿溫度需達 95°C~100°C 以上出漿，豆漿用 100 目(孔徑約 0.15mm)白鐵網過濾豆渣及豆漿，取得豆漿用糖度計測得其可溶性固形物含量可得知濃度值。

3.3.3 濃度的測定

本研究中豆漿濃度的測定乃以成安知(2016)所提出之方法，以糖度計進行。糖度計是以光線折射角度原理顯示豆漿濃度，糖度計測驗的物質體需要是水溶性才能依據不同濃度做成標準曲線後，作為後來測定的標準。在光線照射下，糖度計會對不同的豆漿濃度顯示出不同的折射度，再在糖度計上反射後，在不同位置形成一個藍白的分界線。

豆漿與飲料不同，豆漿是由小顆粒乳化狀的蛋白質，在水中以布

朗運動型態前後上下左右互相撞擊而漂浮在水中，因而形成白色乳狀。所以，豆漿濃度就不會像其他溶液在糖度計中顯示清楚的一條藍白分界線，如圖 3-2，



圖 3-2 糖度計刻度

(圖片來源：全華精密網站 <https://www.chuanhua.com.tw/>)

3.3.4 蒸氣量測定

研磨黃豆時摩擦生溫漿體溫度 36°C ，經過連續煮漿，以蒸氣直接加溫到 97°C 出漿，其溫差為 61°C 。在計算所需燃料量時，首先使質量一公克的物質上升 1°C 所需要的熱量即為物質的比熱，水的比熱為 $1(\text{cal}/(\text{公克}\cdot^{\circ}\text{C}))$ 。由於本研究所使用之豆漿濃度不高，因此假設其比熱亦為 $1(\text{cal}/(\text{公克}\cdot^{\circ}\text{C}))$ ，也就是使質量 1 公克的豆漿，溫度上升或下降 1°C 所吸收或放出的熱量為一卡。又假設豆漿與水具有

相同的氣化熱，亦即 539cal/克。因此所需蒸氣的熱量為 0°C 的 1kg 豆漿加上 100kcal 的熱量就變成 100°C 的水，再加上 539kcal(附錄一)熱量就變成 100°C 的豆漿蒸汽，這樣 1kg 的豆漿蒸氣裡就儲存著 639kcal 的熱量，再把 100°C 的蒸氣回復到 100°C 的水時可以得到 539kcal 的熱量。而實驗加熱鍋爐使用燃料是天然氣，天然氣的熱值為 8,900kcal(附錄二)。因此將豆漿量乘以 1,000kcal 再乘以溫度差除以蒸氣熱值就等於蒸氣量(V_s)。然後再將蒸氣量乘以蒸氣熱值後，除以天然氣熱值，再乘以鍋爐效率，就可以得到燃料使用量(C_f)，公式如下：

$$\text{蒸氣量 } V_s = (V_b \times \Delta T) / C_s \dots\dots\dots(1)$$

V_b ：豆漿量

ΔT ：加溫之溫度差

C_s ：蒸氣熱值(539kcal)

$$\text{燃料量 } C_f = (v_s \times C_s \times C_g) \times C_b \dots\dots\dots(2)$$

C_g ：瓦斯熱值(8,900kcal)

C_b ：鍋爐效率(96%)

3.3.5 加壓滴水時間測定

四種實驗豆漿濃度充填凝固後秤重，再加壓滴水將多餘水份流出（如圖 3-3），壓榨後每個板豆腐再秤重紀錄成品重量及滴水所耗時間。

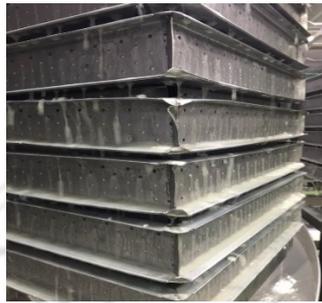


圖 3-3 加壓滴水

第四章 結果與討論

4.1 蒸氣耗能分析試驗

黃豆磨成漿時摩擦會產生溫度，黃豆生漿產生溫度為 36°C，不同試驗濃度再以瓦斯蒸氣鍋爐產生之蒸氣直接加熱生漿達溫度 95°C ~100°C 成熟漿，加熱結果計算出蒸氣耗量及天然氣用量，一 kg 黃豆 10% 豆漿濃度蒸氣使用量為 0.735kg，換算天然氣使用量為 0.042Nm³，以 2019 年三月份天然氣單價 1Nm³=16.48 元計算 10% 的豆漿濃度，一 kg 黃豆生產豆漿所需燃料費為 0.69 元，11% 為 0.62 元，12% 為 0.59 元及 13% 為 0.52 元的燃料使用費，如蒸氣量每使用 1kg，天然氣燃料費需 1.039 元，得出在於濃度低所使用的蒸氣耗量與能源使用都比濃度高的使用量多，如表 4-1 測量結果。

表 4-1 不同濃度蒸氣耗能測量結果

豆漿濃度 (%)	1kg 黃豆產生豆漿量 (kg)	蒸氣使用量 (kg)	天然氣使用量 (Nm ³)	燃料費 (元)
10	6.5	0.735	0.042	0.69
11	5.9	0.667	0.038	0.62
12	5.3	0.599	0.036	0.59
13	4.8	0.543	0.032	0.52

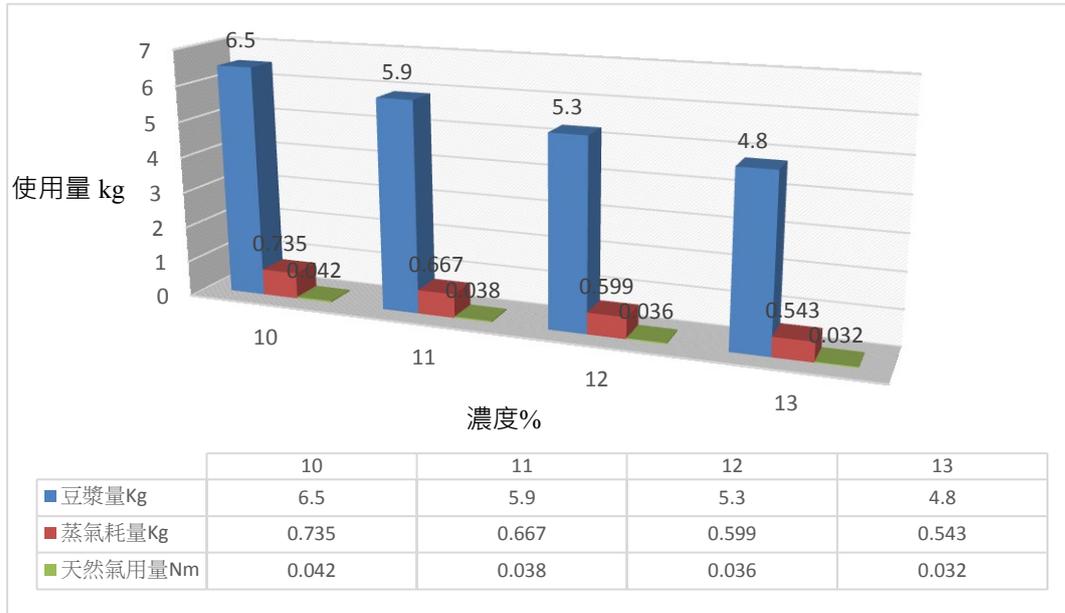


圖 4-1 各濃度豆漿量、蒸氣量、天然氣用量對照

4.2 廢水產出分析

豆腐生產過程中會產生出廢水，依照不同的豆漿濃度所產出的廢水會有所差異，本研究所得結果如圖 4-2 所示。結果顯示 10%豆漿濃度 1kg 的黃豆會產出 3.07kg 的廢水量，11%產出 2.73kg，12%產出 2.43kg 及 13%產出 2.11kg 的廢水，豆漿濃度每增加 1%廢水的產生量也會隨之減少，減少之比例約 11%。由於現今環保意識高漲，廢水需要經過化學處理及生物分解過後達到汙水排放標準才能進行排放，如此將會加重成本上的負擔，所以在豆腐廢水產出分析數據中，可以選擇適中的豆漿濃度，作為豆腐製程中濃度的參考。

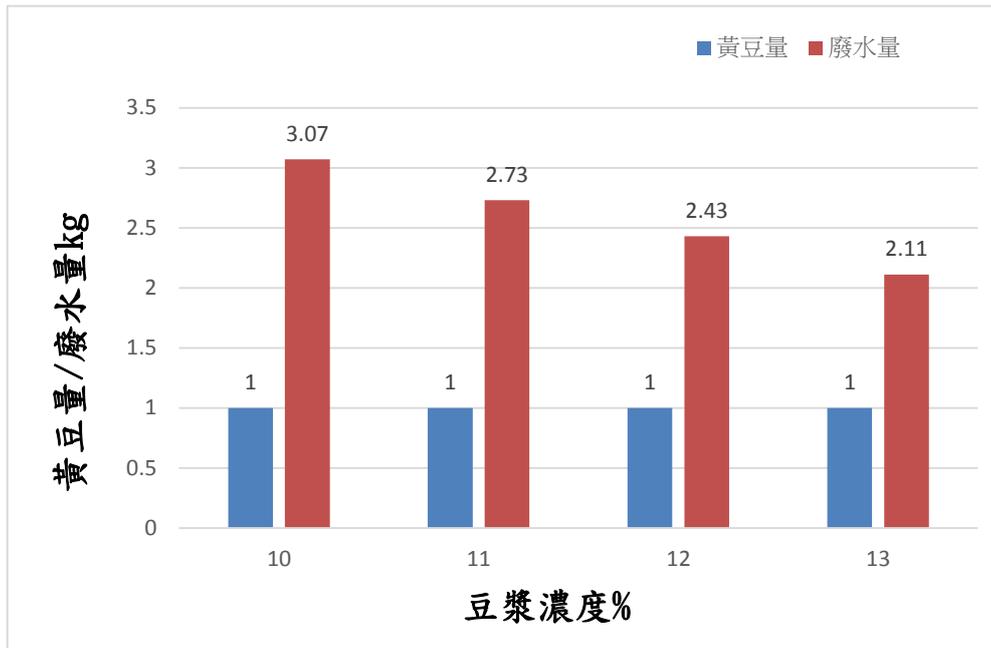


圖 4-2 不同豆漿濃度下廢水產生比較圖

4.3 壓榨時間分析

嫩豆腐的製作流程中從泡豆直到豆腐充填凝固所耗的工時相同，如果改變了豆漿濃度，工時會在豆腐壓榨這個程序產生變化，如圖 4-3 所示。因為豆漿濃度的增減直接影響蛋白質及水的比例，依數據顯示濃度低所含的水分越多，再壓榨時的工時相對較久，若以 1 小時 150 元時薪計算，豆漿濃度 10% 時所需之工資為 800 元，11% 為 725 元，12% 為 675 元及 13% 為 600 元，工資成本隨濃度的增加而降低。

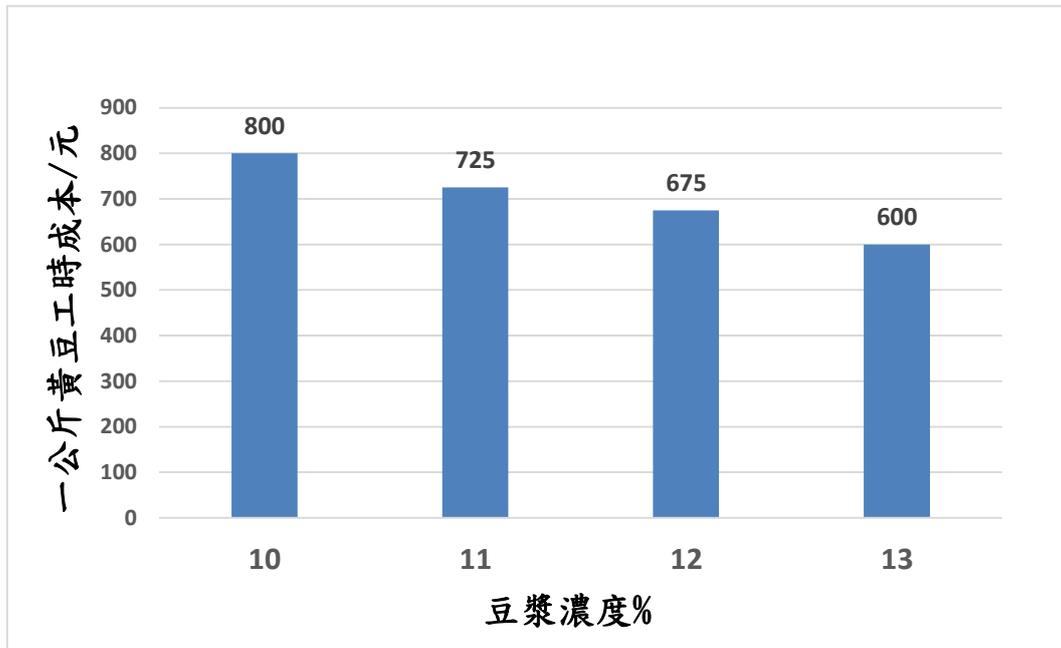


圖 4-3 不同豆漿濃度下所需壓榨時間及對應工資

4.4 原物料與產品產量統計分析

嫩豆腐生產時若豆漿濃度不一樣，則所需之原物料量及豆腐產出量也將不同，實驗結果如圖 4-4 所示。每個濃度值皆假設以 1kg 黃豆生產豆腐進行比較，10%豆漿濃度下豆奶產量為 6.5kg、產品量為 3.42kg；11%豆漿濃度下豆奶量 5.9kg、產品量為 3.16kg；12%豆漿濃度下豆奶量 5.3kg、產品量為 2.86kg；13%豆漿濃度下豆奶量為 4.8kg 而產品量為 2.68kg。依研究結果顯示，豆漿濃度 10%時，豆奶量及產品量最多，而隨豆漿濃度的增加，豆奶量及產品量也隨之減少，以這四種濃度值比較，濃度較低所產出的量較高，對於經濟效益來說是最

佳的，產量的增加等於應加了利潤，而濃度提升則會降低產品量、降低經濟效益。

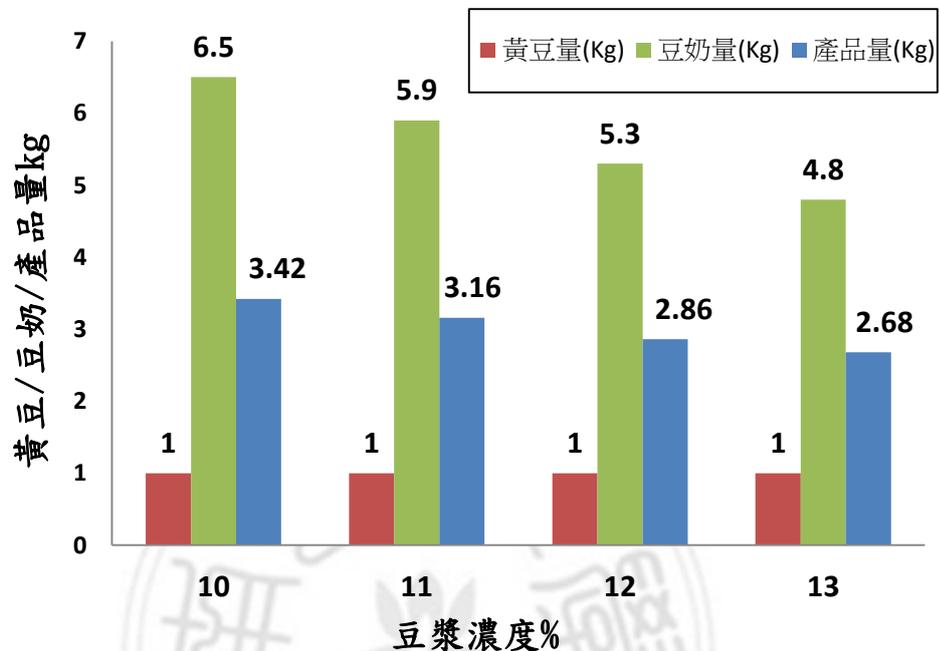


圖 4-4 不同豆漿濃度下所需原物料與產品量之比較

4.5 豆漿濃度試驗綜合分析

實驗數據分析(表 4-2)顯示在豆腐作業流程中改變濃度，對豆漿的產量每增加 1%約減少 10%的豆漿量，成品的產量每增加一度減少 8%的生產量，廢水的排出每增加豆漿濃度一度，排出量會減少 10%的離水量，而製作時間會因豆腐含水量較高、壓榨的時間需較久。根據結果分析豆漿濃度較低生產量較高，而廢水量隨豆漿濃度降低而增加，時間會與濃度增加而減少壓榨時間，如圖 4-5，

表 4-2 產量與時間統計表

濃度 值 %	一包 豆 奶 量 Kg	一板豆 腐充 填 量 Kg	成 品 重 量 Kg	滴 水 量 Kg	一包 豆 板 數 板	黃 豆 1kg 豆 腐 重 量 Kg	廢 水 量 %	製 作 時 間 hr:min
10	390	9.5	5	4.5	41.05	3.42	47.3	5:20
11	354	9.7	5.2	4.5	36.49	3.16	46.3	4:50
12	318	9.9	5.35	4.55	32.12	2.86	45.9	4:30
13	288	10.1	5.65	4.45	28.51	2.68	44	4

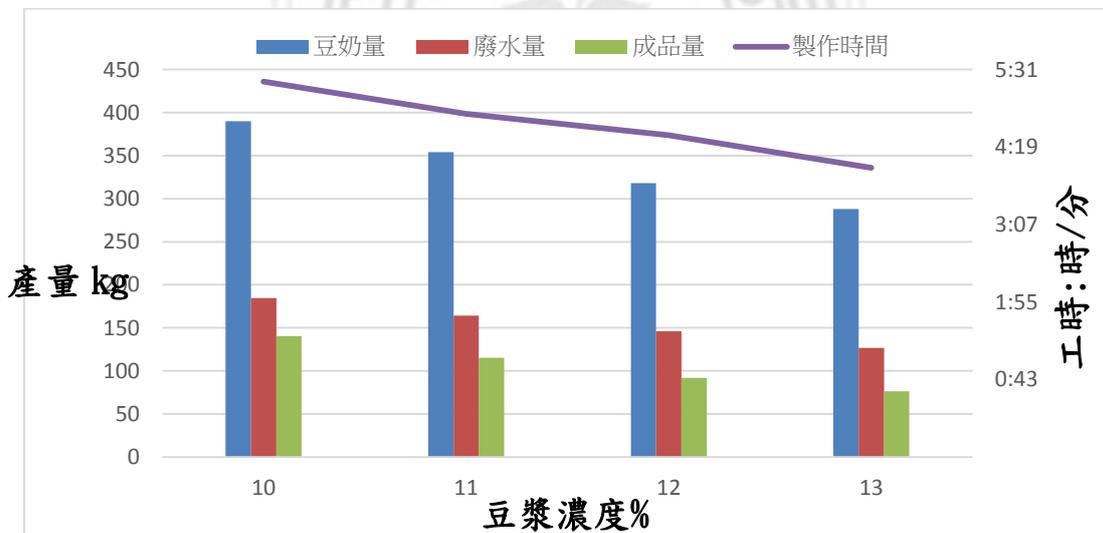


圖 4-5 產量與時間測量值比較圖

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 豆漿濃度在 10%時能源耗損使用量都明顯比 11%、12%、13%以上的濃度高，而豆漿濃度越高耗能使用量越低，因為濃度越高黃豆:水的比例水減少，蛋白質含量增加，水份減少，產量也就減少。
2. 豆漿濃度每增加 1%，豆漿會減少 8%~10%的豆漿量，同樣的定量充填濃度高的比濃度低的重，所以一板嫩豆腐同樣的豆漿量製作完成豆腐後，濃度高的重量比濃度低的重量重。由於豆漿濃度低所產生的豆漿量多，板數產量及成品總重量都較高濃度的生產量多。
3. 豆漿濃度低時所產生的廢水量較多，而每增加 1%豆漿濃度廢水量減少 11%，濃度越高廢水量越少。壓榨工時濃度高所壓榨時間比低濃度短，濃度越低壓榨工時越長，因為濃度低所含的水份較多，每減少 1%濃度壓榨時間會增加 10%工時。
4. 豆漿濃度不同在製作過程中會影響到能源耗損的增減、廢水量的多寡及工時長短，這些因素皆會影響經濟效益及生產利潤。本研究結果顯示若選擇較低的豆漿濃度進行豆腐生產，則其產量增加，且經濟效益遠大於損耗，因此利潤會增加，即以增加產量平衡成本的耗損。

5.2 建議

本研究所探討四種不同的豆漿濃度中，以10%的濃度生產量最佳，如果僅考量生產成本則以13%的濃度最佳。如果要平衡成本問題，可以增加製作豆腐模子利用生產器具來均衡工時，出產量可大於成本損耗，這時可選擇10%的豆漿濃度。濃度越低所產生的豆腐口感也就越滑嫩順口，而濃度越高產生的豆腐會較為紮實口感濃郁，產品品質的特性也需因市場的需求而做調整，以因應市場要求，生產較適合的豆腐。本研究的分析可作豆類加工食品廠選用豆漿濃度作參考依據，未來研究建議可增加如官能品評或豆腐產品之物理化學特行量測等，以進行更進一步之評估。

參考文獻

1. 李里特、曹薇(1998)。大豆浸泡溫度對豆腐加工的影響。食品科學期刊，19(6)，29-32。
2. 李里特(2000)。加工條件對豆腐凝膠物性品質的影響。食品科學期刊，21(5)，26-29。
3. 林怡如(2009)。利用不同分子量幾丁聚糖為凝固劑製豆腐及以水合劑改善其保水性之研究。東海大學食品科學系碩士論文。
4. 金駿培、蓋鈞鎰(1996)。大豆地方品種豆腐產量，品質及有關加工性狀的相關。中國農業科學期刊，29(2)，28-33。
5. 陳文華(1991)。豆腐起源於何時?農業考古期刊，1，22-24。
6. Kohyama K., Murata M., Tani F., Sano Y., and Doi E. (1995). Effects of protein composition on gelation of mixtures containing soybean 7S and 11S globulins. *Biosci Biotech Biochem*, 59:240-245。
7. 中國飼料行業信息網頁資(2017)，檢自 <https://kknews.cc/health/8xlm3zg.html>。

8. 台灣好食材(2017)，檢自 <https://www.fooding.com.tw/article-content.php?aid=104499>。
9. 成安知(2016)，豆漿濃度的測定。川武食品股份有限公司，檢自 http://dahantofu.com/knowledge_index.php?id=16。
10. 全華精密網站，檢自 <https://www.chuanhua.com.tw/>。
11. 昵圖網網站(2012) 檢自 <http://www.nipic.com/show/1/57/6875091kc002a543.html>。
12. 薛聰賢(2001)，大豆。台灣蔬果實用百科(第二輯)。台灣普綠出版社，台北，台灣。
13. CATANIA OILS 網站(2018)，檢自 <https://cataniaoils.com/soybean-oil/soybean-oil-clear-fry/>。

附錄

附錄一 蒸氣熱值對照表

飽和蒸氣表

蒸氣錶 壓力 kg/ cm ² G	絕對壓 力 kg/ cm ² A	飽和溫 度 ℃	比容積 m ³ / kg	顯熱量 kcal / kg	潛熱量 kcal / kg	全熱 kcal / kg
	0.50	80.86	3.30001	80.855	550.94	631.79
	0.80	92.99	2.12544	93.034	543.48	636.51
0.0	1.03323	100.00	1.67300	100.092	539.06	639.15
1.0	2.033	120.13	0.898089	120.445	525.90	646.35
2.0	3.033	133.25	0.610505	133.796	516.88	650.68
3.0	4.033	143.22	0.467181	144.005	509.74	653.75
4.0	5.033	151.36	0.381516	152.386	503.71	656.10
5.0	6.033	158.29	0.319704	159.559	498.43	657.99
6.0	7.033	164.19	0.277617	165.696	493.80	659.50
7.0	8.033	169.78	0.243796	171.526	489.32	660.85
8.0	9.033	174.69	0.218080	176.671	485.29	661.95
9.0	10.033	179.18	0.197334	181.401	481.77	662.93
10.0	11.033	183.33	0.180218	185.793	477.98	663.77
11.0	12.033	187.20	0.165853	189.897	474.60	664.50

資料來源：翰寧股份有限公司(2011)。

<https://wenku.baidu.com/view/6b1088553c1ec5da50e2701b.html>

附錄二 天然氣熱值對照表

能源熱值表

燃料別		原始單位	淨熱值(千卡 Kcal)
煙煤-燃料煤	發電業	公斤(kg)	5,700
	鋼鐵業		6,800
	其他		6,100
煙煤-煉焦煤	鋼鐵業	公斤(kg)	7,380
	其他		6,800
亞煙煤	鋼鐵業	公斤(kg)	4,900
	其他		5,600
無煙煤		公斤(kg)	7,100
焦炭		公斤(kg)	7,000
煤球		公斤(kg)	3,800
焦爐氣		立方公尺(M ³)	4,200
高爐氣		立方公尺(M ³)	777
轉爐氣		立方公尺(M ³)	1,869
原油		公升(liter)	9,000
添加劑		公升(liter)	9,000
液化油		公升(liter)	8,900
煤油氣		立方公尺	9,000
液化石油氣		公升(liter)	6,635
石油腦		公升(liter)	7,800
車用汽油		公升(liter)	7,500
航空汽油		公升(liter)	8,000
航空燃油		公升(liter)	8,500
煤油		公升(liter)	8,400
柴油		公升(liter)	9,600
燃料油		公升(liter)	9,000
白精油		公升(liter)	10,000
潤滑油		公升(liter)	8,300
柏油		公升(liter)	9,000
溶劑油		公升(liter)	8,200
石蠟		公升(liter)	9,000

石油焦	公升(liter)	8,200
其他石油產品	公升(liter)	9,000
天然氣	立方公尺(M ³)	8,000
液化天然氣	立方公尺(M ³)	9,000
一般廢棄物	公斤(kg)	
廢輪胎	公斤(kg)	7,685

資料來源：經濟部能源局(2012)，能源統計手冊。

http://unfccc.saveoursky.org.tw/2014nir/uploads/files_table/Table-3.2.6.pdf

