

17206 W



การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง  
STUDIES ON FACTORS AFFECTING THE YIELD  
AND QUALITY OF SOY-CURD



T095854

นางสาวน้ำทิพย์ วงษ์ประทีป  
MISS NAMTHIP VONGPRATHEEP

อพ.  
พ522ก  
2540

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 95854  
วันเดือนปี..... 20 May 2003

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2540

ISBN 974-622-079-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่เชิงพาณิชย์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b11985503



**STUDIES ON FACTORS AFFECTING THE YIELD  
AND QUALITY OF SOY-CURD**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1997**

**ISBN 974-622-079-9**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง
นักศึกษา	นางสาวน้ำทิพย์ วงษ์ประทีป
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. ยุพร พิชฌามุท
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
ภาควิชา	อุตสาหกรรมเกษตร
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2540

### บทคัดย่อ

เจลเตาหูหลอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลว (semi-solid) ที่เกิดจากการตกตะกอนโปรตีนน้ำนมถั่วเหลืองด้วยตัวตกตะกอนต่าง ๆ ทำให้เกิดการสร้างพันธะเคมีภายในโมเลกุลของโปรตีนเกิดโครงสร้างร่างแหที่เรียกว่า “เจล” การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของเจลเตาหูหลอด

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่ว พบว่าการแช่ถั่วที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้น้ำหนักของถั่วที่อืดตัวเพิ่มเป็น  $2.0 \pm 0.16$  เท่าของน้ำหนักถั่วแห้ง สามารถสกัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด และเจลที่ได้มีความแข็งแรงยืดหยุ่นดี ผลของสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ที่ใช้ในการแช่ถั่ว พบว่าที่ความเข้มข้น 1-3 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้สีและกลิ่นของน้ำนมดีขึ้น แต่น้ำนมที่ได้ไม่เกิดการฟอรัมเจลเมื่อใช้กลูโคโนแลคตาแลคโตน (GDL) 1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใช้  $\text{NaHCO}_3$  ทำให้น้ำนมมีความเป็นด่างสูงขึ้น เป็นการเพิ่มประจุลบทำให้ปริมาณ GDL ที่เติมลงไปไม่เพียงพอ ในการทดลองผลิตเจลเตาหูหลอดโดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 พบว่า น้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 จะมีปริมาณโปรตีนและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าพันธุ์อื่น และที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากัน ทำให้เกิดเจลที่มีความแข็งแรงยืดหยุ่นดีกว่า ผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อการเกิดเจล เมื่อใช้สารตกตะกอน GDL และ  $\text{CaSO}_4$  พบว่าที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส การฟอรัมเจลของน้ำนมถั่วเหลืองจะได้เจลที่มีลักษณะแข็งยืดหยุ่นดี

จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง กับชนิดและปริมาณสารตกตะกอน พบว่าถ้าหากใช้ปริมาณสารตกตะกอน GDL สูงกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ  $\text{CaSO}_4$  สูงกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้งจะทำให้เตาหูหลอดมีรสฝืดหนืด ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อถั่วแห้งน้อยกว่า 4:1 ทำให้การสูญเสียของของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง แต่ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อถั่วแห้งมากกว่า 8:1 ทำให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ไม่เพียงพอต่อการฟอรั่มเจลเมื่อใช้ GDL 1.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ  $\text{CaSO}_4$  2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มข้นของสารตกตะกอนเดียวกัน ถ้าเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อถั่วสูงขึ้นจะทำให้ได้เจลที่อ่อนนุ่ม เจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มเมื่อนำไปถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) จะเห็นโครงสร้างร่างแหประกอบด้วย aggregates ที่มีขนาดเล็ก การจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบและไม่แน่นอน หากเพิ่มปริมาณสารตกตะกอนก็จะทำให้ได้เจลที่แข็งขึ้น เจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งเมื่อนำไปถ่ายภาพ SEM จะเห็นโครงสร้างร่างแหประกอบด้วย aggregates ที่มีขนาดใหญ่ การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบและแน่นอน

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการออกแรงกดเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL 1 เปอร์เซ็นต์ และ  $\text{CaSO}_4$  1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โครงสร้างภายในจากภาพถ่าย SEM ของเจลทั้งสองมีลักษณะใกล้เคียงกัน ผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเจลทั้งสอง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับชนิดและปริมาณของสารตกตะกอนต่อค่าความแข็งของเจลที่หาได้จากการศึกษาครั้งนี้ จะช่วยทำให้สามารถเลือกผลิตเจลที่มีความแข็งยืดหยุ่นตามที่ต้องการได้

<b>Thesis Title</b>	Studies on Factors Affecting the Yield and Quality of Soy-curd
<b>Student</b>	Miss. Namthip Vongpratheep
<b>Thesis Advisor</b>	Dr. Yuporn Puechkamut
<b>Level of Study</b>	Master of Science in Food Science
<b>Department</b>	Agricultural Industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Year</b>	1997

### Abstract

Packaged tofu is soybean protein product and has the characteristic of semi-solid. The curd is obtained by coagulation protein of soymilk with coagulants. The interaction of protein molecule constructs a network structure called 'gel'. This study investigates the factors affecting the yield and quality of packaged tofu.

The first factor was soaking temperature. After soaking at 5° C for 3 hr, the weight of soaked soybean was maintained at  $2.0 \pm 0.16$  times of dry bean weight. The amount of total soluble solid extracted was high and resulting gel was rigid and elastic. The effect of  $\text{NaHCO}_3$  (1-3 %) in the soaking water was studied. The result shows that the soymilk has less bean flavor and good color when soaking water contained  $\text{NaHCO}_3$ . However, gel from those soymilks could not form when using 1 % of gluconodeltalactone (GDL) as coagulant. pH of soymilk was increased when added  $\text{NaHCO}_3$  in soaking water. This causes the excess of anion compared with available protorn from GDL (1 %). Yield and quality of soy-curd from three varieties of soybean (SJ. 4, SJ. 5 and Changmai 60) were studied. The result shows that protein extracted and total soluble solid of soymilk from SJ. 4 were remarkably higher than those of other varieties. Respect to the chemical omposition, the resulting gels from SJ. 4 were stiff and elastic. The effect of heating temperature on gel formation when using GDL or  $\text{CaSO}_4$  as coagulants was examined. The present study found that the optimum

temperature for soymilk contained GDL or  $\text{CaSO}_4$  to form rigid and elastic gel in plastic bag was 90-95° C.

The relationship between water : bean ratio and type or concentration of coagulant on the quality of packaged tofu was elucidated. If coagulant GDL was greater than 1.2 % or  $\text{CaSO}_4$  was greater than 2.5 % (dry bean), the packaged tofu was bitter. If the water : bean ratio was less than 4:1, loss of extracted protein was high. As well as, the water : bean ratio was greater than 8:1, amount of extracted protein was not enough to form gel by 1.2 % GDL or 2.5 %  $\text{CaSO}_4$ . In spite of the same coagulant concentration, if the water : bean ratio increased, the resulting gels became softer. Electron micrograph revealed that network structure of soft gels were composed of small aggregates forming less developed and less compact structure. At the same water : bean ratio, however, the increase of coagulant concentration increased the gel strength. Microstructure of stiff and elastic gel were composed of large aggregates forming developed and compact structure.

The difference between gels formed by GDL and  $\text{CaSO}_4$  were analyzed by compression test. The texture analysis show that there were no significant difference between gel formed by 1 % GDL and 1.5 %  $\text{CaSO}_4$  when water : bean ratio was 5:1. Microstructure from electron micrographs of both gels were similar. The panelist could not distinguish the difference between GDL and  $\text{CaSO}_4$  gel. From the present study, the desirable gel strength can be achieved by using correlation of water : bean ratio and coagulant concentration.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก ดร. ยุพร พิชกมฺุร ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ตลอดจนได้ให้คำแนะนำแนวทางและข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา ตลอดจนกระทั่งที่ข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านอนุเคราะห์พันธุ์ถั่วเหลือง ขอขอบคุณคุณพิมพ์ใจ ทองคำ และคุณมาลี ทองคำ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านกำลังใจและปฏิบัติการมาโดยตลอด นางนุจรีย์ อินอุดม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำหนังสือและเอกสารต่าง ๆ และนักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ตลอดจนเพื่อน ๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้องที่ได้ช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ เอกสาร และให้กำลังใจต่อข้าพเจ้าอย่างใกล้ชิดตลอดมา

สุดท้ายขอรำลึกถึงพระคุณคุณมารดา และพี่ ๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนและกำลังใจมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	XI
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
ถั่วเหลือง.....	5
เจลโปรตีนถั่วเหลือง.....	7
กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยการใช้สารตกตะกอน.....	8
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง.....	10
เต้าหู้หลอด.....	26
3. อุปกรณ์และวิธีการ.....	29
วัตถุดิบ.....	29
อุปกรณ์ในการผลิต.....	29
อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....	30
สถานที่ทดลอง.....	31
วิธีการ.....	31
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....	31

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเตาหูหลอด.....	31
การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....	31
การตรวจสอบคุณภาพของเจลเตาหูหลอด.....	32
การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเตาหูหลอด.....	36
การศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ตัว.....	36
การศึกษาผลของปริมาณสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ ที่ใช้น้ำแช่ตัวที่ระดับ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	36
การศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล.....	36
การศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการพอร์มเจล.....	37
การศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน.....	37
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	43
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....	43
ผลของการทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล.....	44
ผลของปัจจัยที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเตาหูหลอด.....	48
ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ตัว.....	48
ผลของปริมาณสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ ในน้ำแช่ตัวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....	52
ผลของพันธุ์ถั่วเหลือง.....	53
ผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการพอร์มเจลของเตาหูหลอด.....	59
ผลของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับ ชนิดและปริมาณสารตกตะกอน.....	62
5. สรุปผลการทดลอง.....	85
ข้อเสนอแนะ.....	88
บรรณานุกรม.....	89

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	94
ก. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	95
ข. การวิเคราะห์หาปริมาณ syneresis.....	99
ค. ข้อควรระวังในการผลิตเจลเตาหูหลอด.....	100
ง. แบบทดสอบประสาทสัมผัสของเจลเตาหูหลอด.....	101



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1	พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วเหลือง.....	7
2	องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองและส่วนประกอบของถั่วเหลือง โดยน้ำหนักแห้ง.....	11
3	ส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน).....	11
4	ปริมาณและชนิดของโปรตีนโดยการใช้ Ultracentrifuge แยกจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้.....	12
5	แสดงผลการวิเคราะห์ Silken tofu เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ระดับต่าง ๆ.....	20
6	การตกตะกอนของโปรตีนถั่วเหลือง.....	22
7	ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมซัลเฟตที่มีต่อ ปริมาณผลผลิตของ Silken tofu.....	24
8	อุณหภูมิและปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้ในการเกิดเจลเตาหูชนิดต่าง ๆ .....	25
9	ผลของแรงในการกดทับที่มีผลต่อรูปร่างและคุณสมบัติของ Silken tofu .....	26
10	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพันธุ์ สง.4, สง. 5 และ เชียงใหม่ 60 .....	43
11	ผลการวิเคราะห์ของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้อุณหภูมิในการแช่ ที่ 5, 25 และ 80 องศาเซลเซียส.....	51
12	แสดงผลของสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ ในน้ำแช่ถั่วต่อลักษณะปรากฏ ของเจลเตาหูหลอด .....	52
13	ผลการวิเคราะห์ของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ ในน้ำแช่ถั่ว .....	53
14	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์ สง.4, สง.5 และ เชียงใหม่ 60 .....	56

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

15	ผลการวิเคราะห์ของเจลด่างหลุดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 เมื่อใช้สารตกตะกอน GDL หรือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....	57
16	ผลการวัดค่าสีของเจลด่างหลุดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 เมื่อใช้สารตกตะกอน GDL หรือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....	59
17	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลด่างหลุดเมื่อให้ความร้อน เพื่อเกิดการฟอรัมเจลที่อุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ .....	60
18	ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของเจลด่างหลุดเมื่อให้ความร้อนเพื่อ เกิดการฟอรัมเจลที่อุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ .....	61
19	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมที่อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วที่ระดับต่าง ๆ .....	63
20	แสดงลักษณะปรากฏของเจลด่างหลุดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับ ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ .....	66
21	ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการกดของเจลด่างหลุด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ .....	69
22	ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสีของเจลด่างหลุดระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ .....	73
23	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลด่างหลุดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ .....	97
24	ผลการวิเคราะห์การแยกชั้นของน้ำของเจลด่างหลุดที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 และ 7:1 GDL 1.0 % .....	99

## สารบัญภาพ

หน้า

1	แสดงกลไกการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองเมื่อใช้ แคลเซียมซัลเฟตและกลูโคโนแลคตาแลคโทน.....	9
2	แสดงการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของลิโนเลเอท (linoleate) โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส.....	14
3	แสดงลักษณะของแบบพิมพ์ที่ใช้สำหรับในการกดเจลเตาหูหลอด.....	33
4	แสดงเครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 .....	34
5	แสดงลักษณะของหัววัดเนื้อสัมผัส 75 compression platen.....	35
6	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสีรุ่น CR-300, Japan.....	35
7	แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเตาหูหลอด ในการศึกษาอุณหภูมิในการแช่ถั่ว.....	38
8	แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเตาหูหลอดในการศึกษาผลของ ปริมาณสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ .....	39
9	แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเตาหูหลอดในการศึกษาผลของ พันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล.....	40
10	แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเตาหูหลอดในการศึกษาผลของ อุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอรัมเจล.....	41
11	แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเตาหูหลอดในการศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน.....	42
12	แสดงลักษณะของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 .....	44
13	แสดงลักษณะกราฟ Texture Profile ของเจลเตาหูหลอดที่ทำการวัด โดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2.....	45
14	แสดงลักษณะกราฟ Texture Profile ของเจลเตาหูหลอดที่สุ่มมา จากตัวอย่างเดียวกันที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2; A, B และ C = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 สารตกตะกอน GDL 0.6 %.....	46

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

15	แสดงลักษณะกราฟ Texture Profile ของเจลเตาหุ้หลอดที่มีความแข็งต่างกัน ที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2; A และ B = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 สารตกตะกอน GDL 1 % อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 5° C; C และ D = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 สารตกตะกอน GDL 1 % อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 25° C .....	47
16	แสดงกราฟของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว.....	48
17	ภาพแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ถั่วต่อลักษณะปรากฏของเจลเตาหุ้หลอด.....	50
18	แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเตาหุ้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนแคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์.....	54
19	แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเตาหุ้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์.....	54
20	แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเตาหุ้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนกลูโคโนแลคตาแลคโตน 1 เปอร์เซ็นต์.....	55
21	แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเตาหุ้หลอดที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และเชียงใหม่ 60.....	58
22	แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเตาหุ้หลอดที่ได้จากอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการพอร์มเจลที่ระดับต่าง ๆ.....	62
23	แสดงลักษณะปรากฏของเจลเตาหุ้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 8:1 โดยใช้สารตกตะกอน GDL ที่ระดับความเข้มข้น 1.2 เปอร์เซ็นต์.....	65
24	แสดงลักษณะปรากฏของเจลเตาหุ้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 8:1 โดยใช้สารตกตะกอน CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์.....	65

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

25	แสดงกราฟค่าความแข็งของเจลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อตัว กับความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL.....	68
26	แสดงกราฟค่าความแข็งของเจลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อตัว กับความเข้มข้นของสารตกตะกอน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....	68
27	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้ อัตราส่วนน้ำต่อตัวกับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ .....	71
28	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้ อัตราส่วนน้ำต่อตัวกับปริมาณสารตกตะกอน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ในระดับต่าง ๆ .....	71
29	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้ อัตราส่วนน้ำต่อตัวกับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ .....	72
30	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้ อัตราส่วนน้ำต่อตัวกับปริมาณสารตกตะกอน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ในระดับต่าง ๆ .....	72
31	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อตัว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	77
32	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อตัว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....	78
33	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อตัว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	79

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

34	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหนูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....	80
35	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหนูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	81
36	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหนูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....	82
37	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหนูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ 2.5 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	83
38	แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหนูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ 2.5 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....	84

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โปรตีนเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกาย นอกจากจะช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โปรตีนยังช่วยให้การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ เป็นไปอย่างปกติ แหล่งของโปรตีนที่สำคัญคือ โปรตีนจากเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อ นม ไข่ เป็นต้น แต่เนื่องจากในปัจจุบันโปรตีนจากเนื้อสัตว์มีราคาสูงมากขึ้น ผู้บริโภคที่มีรายได้น้อยไม่สามารถหาซื้อโปรตีนจากแหล่งดังกล่าวได้ ทำให้ผู้บริโภคกลุ่มนี้ได้รับสารอาหารประเภทโปรตีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ดังนั้นโปรตีนจากแหล่งอื่นที่มีราคาถูกจึงควรได้รับการส่งเสริม ซึ่งโปรตีนจากถั่วถือว่าเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพและราคาถูก โดยเฉพาะถั่วเหลืองจัดว่าเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีโปรตีนอยู่ในปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่น ๆ

ถั่วเหลืองสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลายประเภท อาทิเช่น นมถั่วเหลือง (Soybean milk) อาหารเสริมสุขภาพ ขนมต่าง ๆ เครื่องปรุงรส (ซอส, เต้าเจี้ยว, เทมเป้ เป็นต้น) (สมชาย,2538) แต่อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยการบริโภคถั่วเหลืองหรือผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองยังนับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ ในเอเชีย โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศจีน และ ญี่ปุ่น ในประเทศเหล่านี้ถั่วเหลืองถือได้ว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญที่สุด โดยนิยมนำไปแปรรูปทำผลิตภัณฑ์ เต้าหู้ (Tofu) (Kohyama, Yoshida and Nishinari, 1992)

เต้าหู้จัดเป็นอาหารที่ได้จากการตกตะกอน โปรตีน น้ำนมถั่วเหลืองโดยสารตัวตกตะกอน ลักษณะของโปรตีนที่ได้เป็นลักษณะของแข็งกึ่งของเหลวที่เรียกว่า “เจล” คุณภาพของเจลจะขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีการผลิต ชนิดและปริมาณของสารตัวตกตะกอน และพันธู์ของถั่ว เป็นต้น (Wang and Chang,1995) ความเข้าใจในเรื่องของอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ต่อคุณภาพของเจลจะช่วยทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์เจลจากโปรตีนถั่วเหลือง ให้มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงจะศึกษาผลของปัจจัย อาทิเช่น พันธู์ของถั่วเหลืองที่มีในประเทศไทย ปริมาณโปรตีน อุณหภูมิในการแช่ถั่ว สภาวะในการผลิต ชนิดและความเข้มข้นของสารตกตะกอน ที่มีต่อคุณภาพของเจลทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ เพื่อที่จะสามารถควบคุมการผลิตให้ได้เจลตามลักษณะที่

เอกสารนี้เป็นฉบับร่างที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ อันจะเป็นการช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมการใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง รวมถึงการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองให้เพิ่มมากขึ้น

คุณลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของเจลที่ได้จากการตกตะกอน โปรตีนน้ำนมถั่วเหลือง ด้วยตัวตกตะกอน คือ สี และลักษณะของเนื้อสัมผัส แต่การตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสทำได้ยาก และมีข้อจำกัด โดยเฉพาะลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวของเจล ทำให้ตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสได้ยาก ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย การตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสกระทำโดยวิธีการชิม แทนเครื่องมือการวัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เห็นความสำคัญดังกล่าว จึงจะทำการศึกษาหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลที่เกิดจากโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเครื่องมือตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัส วิธีการเตรียมตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ เพื่อให้การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เจลที่ได้จากถั่วเหลืองมีมาตรฐาน

#### ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการทดลองนี้มีความมุ่งหมายที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างตั้งแต่วัตถุดิบ ตลอดจนกระบวนการแปรรูปโดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาแบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัสที่สามารถใช้เป็นวิธีการในการควบคุมคุณภาพของเจล
2. เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตของเจลเตาหุ้ตลอด และศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ที่มีต่อคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของเจล

#### ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการวิจัยนี้จะครอบคลุมเนื้อหาที่สำคัญของกระบวนการแปรรูปเจลเตาหุ้ตลอด รวมถึงการศึกษาวิธีการและเครื่องมือที่จะใช้วัดลักษณะเนื้อสัมผัสในการควบคุมคุณภาพเจลโดยประกอบด้วย

1. ทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเตาหุ้ตลอด โดยทำการทดสอบวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเตาหุ้ตามท้องตลาด เพื่อให้ทราบถึงขอบกพร่องและประสิทธิภาพของวิธีการและเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส แล้วจึงนำข้อมูลมาปรับปรุงวิธีการ และเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเตาหู่หลอด ซึ่งประกอบด้วย

2.1 ศึกษาถึงอุณหภูมิและเวลาในการแช่ตัว อุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิที่ระดับ 5, 25 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาขึ้นอยู่กับความอืดตัวของถั่ว

2.2 ศึกษาน้ำที่ใส่แช่ตัวเหลือง โดยใช้สารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์

2.3 ศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลือง โดยจะทำการศึกษาพันธุ์ถั่วเหลือง 3 พันธุ์ คือ สจ. 4 , สจ. 5 และ เขียวใหม่ 60 ใช้สารตกตะกอน 3 ชนิด คือ GDL ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์,  $\text{CaSO}_4$  ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ และ  $\text{CaCl}_2$  ที่ระดับความเข้มข้น 3.0 เปอร์เซ็นต์

2.4 ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอรัมเจล โดยจะทำการศึกษา 4 ระดับ คือ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียส

2.5 ศึกษาถึงอัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลืองร่วมกับชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน โดยจะทำการศึกษา 8 อัตราส่วน คือ น้ำต่อถั่วเหลือง 3:1 , 4:1 , 5:1 , 6:1 , 7:1 , 8:1 , 9:1 และ 10:1 และ ทำการศึกษาชนิดของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ GDL ที่ระดับความเข้มข้น 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง และ  $\text{CaSO}_4$  ที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง

3. การวิเคราะห์ทางกายภาพ และเคมี

3.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพประกอบด้วย

3.1.1 การตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้วิธีการ Compression test

3.1.2 การตรวจวัดสี (color meter)

3.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเจลเตาหู่หลอดโดยใช้ Scanning Electron

Microscope

3.2 การวิเคราะห์ทางเคมีประกอบด้วย

3.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

3.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

3.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็ง

4. การตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ใช้วิธี Triangle-test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มประสิทธิภาพทางด้านคุณภาพและปริมาณในการผลิตเจลจาก โปรตีนถั่วเหลือง
2. ช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์และการรับประทาน โปรตีนจากถั่วเหลือง
3. ช่วยส่งเสริมแหล่งของอาหารโปรตีนที่มีคุณภาพและราคาถูก
4. เป็นแนวทางในการใช้ความรู้ทางด้านการใช้ประโยชน์จากถั่วเหลืองต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดอยู่ใน Family leguminosae และ Subfamily Papilioideae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้กันเป็นทางการในปัจจุบัน คือ *Glycine max* (L.) Merrill ส่วนชื่อสามัญก็เรียกต่างๆ กันไปเช่น Soja bean, Soya bean, Chinese pea, Manchum bean และ Soybean ซึ่งชื่อ Soybean เป็นที่ยอมรับกันมากที่สุด (กองส่งเสริมพืชพันธุ์, 2531)

พันธุ์ของถั่วเหลือง (ศุภชัย, 2537) (ตารางที่ 1)

1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 1 (SJ. 1) ต้นอ่อนอยู่เหนือพื้นดิน มีสีม่วง ใบเลี้ยงสีเขียว ลำต้นตั้งตรงลักษณะทอดยอด ใบมีลักษณะกว้าง ใบบาง มีขนสีน้ำตาลอ่อน ดอกสีม่วง ฝักจะมีสีน้ำตาลอ่อนแตกง่าย เมื่อแก่เปลือกเมล็ดมีสีเหลือง ตา (hilum) สีดำ เมล็ดค่อนข้างกลมหรือลักษณะรูปไข่ ผิวมัน ขนาดค่อนข้างเล็ก คือน้ำหนัก 100 เมล็ดหนัก 11-12.5 กรัม

1.2 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 2 (SJ. 2) ต้นอ่อนโคนต้นมีสีม่วง ใบเลี้ยงมีสีเขียว ลำต้นมีลักษณะไม่ทอดยอด ใบกว้าง ปลายใบมน ใบบางสีเขียวขนมีสีน้ำตาล ดอกสีม่วง ฝักแก่มีสีน้ำตาล เหนียวและแตกยาก เปลือกเมล็ดมีสีเหลืองซีด ตาใหญ่สีน้ำตาลแดง เมล็ดค่อนข้างกลมลักษณะรูปไข่ผิวค่อนข้างมัน ขนาดเมล็ดค่อนข้างเล็กคือน้ำหนัก 100 เมล็ดเพียง 11-13 กรัม

1.3 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 (SJ. 4) ต้นอ่อนมีสีม่วง ใบเลี้ยงมีสีเขียว ลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด ใบย่อยแต่ละใบเป็นชนิดกว้าง คือ ตรงฐานใบกว้างและจะค่อย ๆ เรียวแหลมที่ปลายใบ ใบค่อนข้างหนา สีเข้ม มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วไป และขนมีลักษณะตั้ง ดอกมีสีม่วง เมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะแก่ฝักจะเปลี่ยนจากสีเขียว เป็นสีเหลือง และฝักเมื่อแก่จะเป็นสีน้ำตาลเข้ม เมล็ดมีลักษณะค่อนข้างกลม ผิวสีเหลืองค่อนข้างจะดำน ตาสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดใหญ่ คือ มีน้ำหนัก 100 เมล็ด หนัก 14-15 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (S.J. 5) ลักษณะต้นอ่อนมีสีม่วง ส่วนใบเลี้ยงมีสีเขียว และค้อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองแล้วหลุดร่วงในที่สุด ลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด ใบจริงเป็นชนิดใบกว้าง คือ ฐานใบกว้าง ปลายใบแหลม ใบหนาสีเขียวเข้ม มีขนสีน้ำตาลค่อนข้างอ่อน ดอกมีสีม่วง ผักถั่วเหลืองจะเปลี่ยนสีของฝักจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและเมื่อถึงระยะแก่เต็มที่ฝักจะเป็นสีน้ำตาล เมล็ดค่อนข้างแบนไม่เป็นผิวมัน ตามเมล็ดสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดใหญ่ปานกลาง คือ น้ำหนัก 100 เมล็ด 14-15.5 กรัม

1.5 ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย 1 (Sukhothai 1 : ST. 1) ต้นอ่อนมีสีม่วง ใบเลี้ยงมีสีเขียว เมื่อต้นกล้าเจริญเติบโตและแตกใบจริงใบเลี้ยงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและหลุดร่วงในที่สุด ลำต้นตั้งตรงลักษณะทอดยอด ใบย่อยแต่ละใบมีลักษณะเป็นใบแคบ และใบยาวคล้ายใบผักบุ้ง ใบค่อนข้างหนาสีเขียว ลำต้นและฝักมีขนสีเทา ดอกสีม่วง ฝักจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ เมล็ดลักษณะกลมสีเหลือง ผิวเมล็ดเป็นมัน ตามีขนาดเล็ก สีเทา ขนาดเมล็ดค่อนข้างใหญ่ คือ มีน้ำหนัก 100 เมล็ด ตั้งแต่ 15-17 กรัม

1.6 ถั่วเหลืองพันธุ์นครสวรรค์ 1 (Nakhon Sawan 1 : NS. 1) ต้นอ่อนมีสีม่วง และใบเลี้ยงมีสีเขียว ลำต้นใหญ่แข็งแรง ไม่ล้ม ลักษณะของต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด รูปร่างใบย่อยแต่ละใบเป็นแบบใบกว้าง ปลายใบแหลม ก้านใบสั้น ใบหนาสีเขียว ขนสีน้ำตาลอ่อน ดอกสีม่วง ฝักเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลโตนสีเหลืองทอง เปลือกเมล็ดมีสีเหลืองนวล ผิวค่อนข้างเป็นมัน ตาสีเหลืองอ่อน เมล็ดใหญ่ คือ น้ำหนัก 100 เมล็ดหนักตั้งแต่ 17-19 กรัม

1.7 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (Chiangmai 60 : CM. 60) ต้นอ่อนมีสีเขียว ใบเลี้ยงมีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองก่อนที่จะหลุดร่วง ลำต้นแข็งแรงไม่ล้ม ลักษณะไม่ทอดยอด สูงปานกลาง รูปร่างใบเป็นชนิดใบกว้างมีขนาดใบเล็ก ขนขึ้นอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของลำต้นมีสีน้ำตาล ความหนาแน่นของขนปานกลาง และเป็นแบบขนตั้ง ดอกมีสีขาว ฝักเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม เมล็ดมีลักษณะกลม ผิวเมล็ดเป็นผิวมัน ขนาดเมล็ดปานกลางแต่มีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์ สจ. ต่าง ๆ เล็กน้อย คือ น้ำหนัก 100 เมล็ด 15.0-15.5 กรัม

ตารางที่ 1  
พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วเหลือง

	สจ. 1	สจ.2	สจ. 4	สจ. 5	ชม. 60	นคร สวรรค์ 1	สุโขทัย (ฝักบุง)
ลำต้น	ทอดยอด	ไม่ทอด ยอด	ไม่ทอดยอด	ไม่ทอดยอด	ไม่ทอด ยอด	ปาน กลาง	กิ่งทอด ยอด
ความสูง	82	67	65(121)	57(132)	61	50	108
อายุเก็บเกี่ยว	91	95	90(99)	92(96)	97	74-78	96
ฝัก/ต้น	42	60	60(46)	(38)	-	16-36	27
จำนวนเมล็ดต่อ ฝัก wt./100 เมล็ด	13.7	12.2	15.5(15.6)	14.1(15.2)	14.5	19.6	17.2 g
ผลผลิต	228	264	310(230)	242.8(236)	252	172	198 kg/rai
	226	240	311(285)	283.3(236)	236	320	293 ฝ่น
	253	-	308(258)	269.4(236)	246	-	246
ความสูงของฝัก จากโคนต้น	-	-	-	7.33	11.63	10.82	12.03 cm. (เชียงใหม่)
เส้นผ่านศูนย์กลาง กลางลำต้น	-	-	-	6.58	6.4	4.89	5.9 cm. (เชียงใหม่)

หมายเหตุ : จากตารางจะเห็นว่าความสูงของต้นถั่วอยู่ระหว่าง 50-108 เซนติเมตร

ที่มา : เอกสารวิชาการ เรื่องผลการจัดงานแสดงผลิตภัณฑ์ ถั่วเหลือง กลุ่มพืชน้ำมัน กองส่งเสริมพืชพันธุ์ (2523) กรมส่งเสริมการเกษตร (160 หน้า)

## 2. เจลโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนในถั่วเหลืองมีคุณสมบัติทางด้านหน้าที่ (Functional property) ที่สามารถเกิดการฟอรัมเจล การเกิดเจลสามารถทำได้โดยการให้ความร้อน (Heat-induced gel) หรือการใช้สารตกตะกอนโปรตีน (Coagulant) เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จากสารตกตะกอนที่รู้จักกันดี คือ เต้าหู้หรือที่คนญี่ปุ่นเรียก โตฟู (Tofu) คนเวียดนามเรียก แคนฟู (Dan fu) คนจีนเรียกเต้าฟู (Teou fu) หรือ เต้าฟูโฮ (Tou fu ho) และฝรั่งเรียก Soybean curd (Smith, 1895)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต้าหู้ได้ทำขึ้นครั้งแรก ในราชวงศ์ฮาน (Han) สมัยไฮยอนานวาง (Huai Nan Wang) คริสต์ศักราชที่ 22 ที่เมือง Luian (Shih,1918) เต้าหู้หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่า เนื้อไม่มีกระดูก “The Meat without a Bone” มีสีครีมขาว อ่อนนุ่ม อุ่มน้ำและย่อยง่าย มีโปรตีนสูง (50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) สามารถใช้แทนเนื้อสัตว์ต่าง ๆ เช่น เนื้อวัว หมู ไก่ หรือปลาก็ได้ และยังสามารถใช้ประกอบอาหารได้หลายอย่าง เช่น แกงจืดเต้าหู้ เต้าหู้ทอด เต้าหู้ยี้ เป็นต้น (สมชาย, 2538)

ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการบริโภคเต้าหู้ หรือโตฟูในปริมาณมาก จนถือได้ว่าเป็นอาหารหลักอย่างหนึ่ง ได้มีการแบ่งชนิดของโตฟูออกเป็น 2 ชนิดคือ Momen Tofu ซึ่งเป็นโตฟูที่มีการกำจัดน้ำเวย์ (whey) ออกจากตะกอนของโปรตีน และ Kinugoshi-Tofu เป็นโตฟูที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนกว่า เนื่องจากไม่มีการกำจัดน้ำเวย์ออกจากตะกอนของโปรตีน

ในประเทศไทย ลักษณะเต้าหู้สดที่ขายตามท้องตลาดมี 3 ชนิด คือ เต้าหู้แข็ง หรือเต้าหู้เหลือง เต้าหู้อ่อน และ เต้าหู้ยี้ เต้าหู้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในเรื่องสารที่ใส่ตกตะกอนให้ เป็นเจลาเต้าหู้ ซึ่งทำให้เต้าหู้มีลักษณะแข็งอ่อนแตกต่างกัน สารที่ใส่ตกตะกอนเต้าหู้ได้ เช่น  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ,  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  และ Glucono- $\delta$ -Lactone ส่วนรูปร่างลักษณะเฉพาะของเต้าหู้แต่ละชนิด ก็มีลักษณะแตกต่างกันตามแม่พิมพ์ หรือภาชนะที่ใช้ใส่ หรือประเพณีนิยมของผู้บริโภค เต้าหู้สดที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีกลิ่น รสจืด และมีสีขาวนวล (อุดม และ สมชาย , 2519)

### 3. กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยการใช้สารตกตะกอน

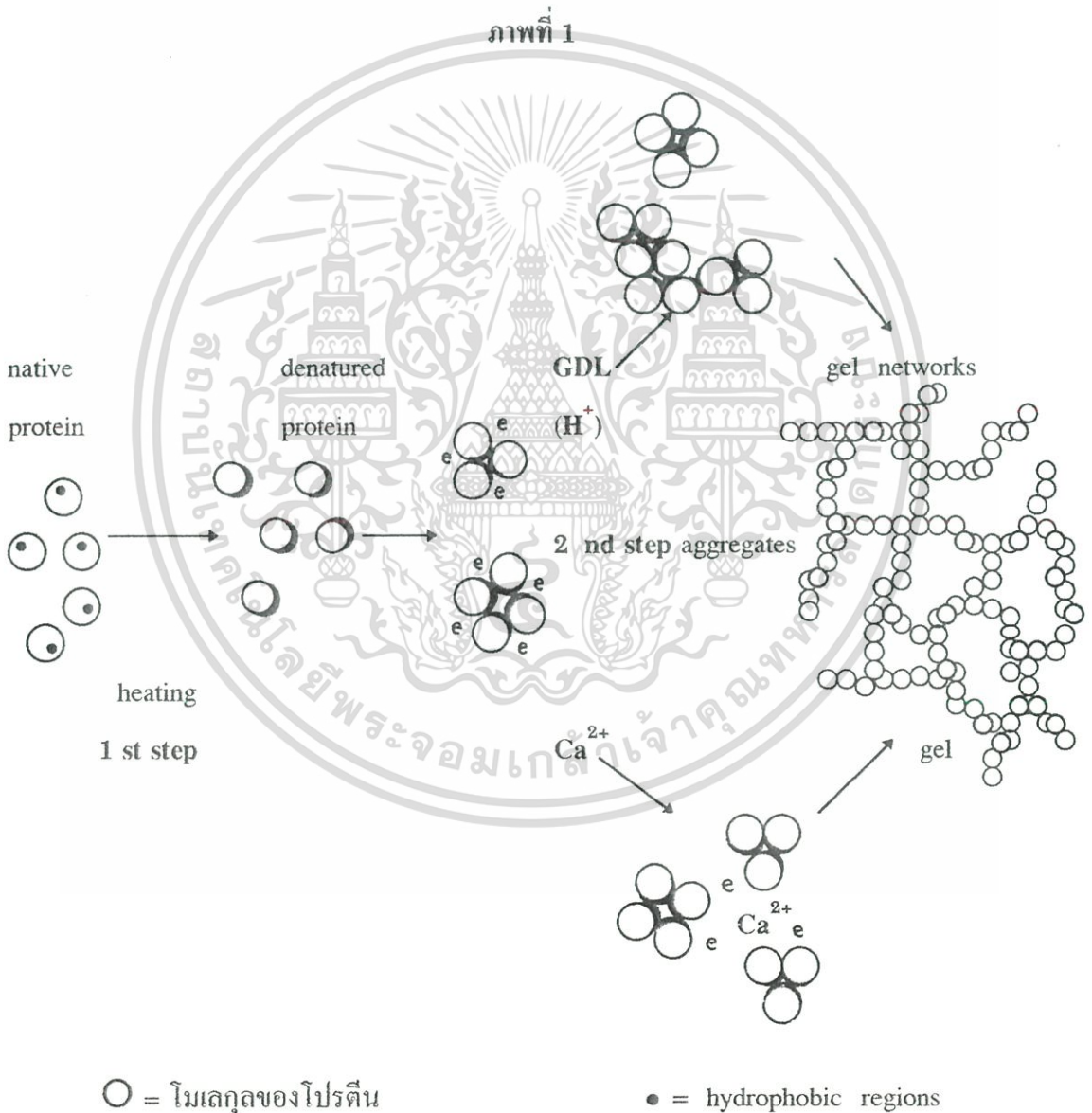
Kohyama และคณะ (1995) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงกลไกการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองโดยการใช้สารตกตะกอน และได้สรุปว่ากลไกการเกิดเจลมีลักษณะดังภาพที่ 1 โดยการเกิดเจลประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่หนึ่ง :- โมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งปกติมีลักษณะทรงกลม (globular protein) เมื่อถูกความร้อนจะทำให้ถูกทำลายสภาพธรรมชาติ (denaturation) ทำให้โมเลกุลที่เคยอัดแน่น (compact) มีการคลายตัวออก เป็นผลให้ส่วนของโปรตีนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มีโอกาสที่จะกระจายตัวออกมาด้านนอกโมเลกุลเกิดการสร้าง Hydrophobic bonding ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน

ขั้นตอนที่สอง :- เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนที่ถูกทำลายสภาพธรรมชาติ (denatured protein) มีประจุรวมเป็นลบ (Kohyama และ Nishinari, 1993) ประจุบวกที่ได้จากโปรตอนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า  
GDL หรือแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งเป็นสารตกตะกอนที่เติมลงไปจะทำให้โปรตีนเหล่านี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสภาพเป็นกลาง (neutral) เป็นผลทำให้เกิดการเหนียวทำให้มีการสร้าง Hydrophobic bonding ระหว่างโมเลกุลที่เป็นกลางเหล่านี้เกิดการฟอร์มของ aggregate เกิดโครงสร้างร่างแห (network structure) ที่สามารถเก็บกักน้ำเอาไว้ได้ อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วกรดอะมิโน หรือ side chain ที่มีค่า Isoelectric point ต่างกัน การเกิดพันธะระหว่างประจุ-ประจุ (charge-charge interaction) อาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องบ้างกับการเกิดเจล



○ = โมเลกุลของโปรตีน

● = hydrophobic regions

แสดงกลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง

เมื่อใช้แคลเซียมซัลเฟตและกลูโคโน-

เคลตาแลคโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ที่มา : Kohyama, Sano และ Doi, (1995)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง

การทำเจลโปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือการเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง และการตกตะกอนโปรตีนน้ำนมถั่วเหลืองโดยสารตกตะกอน สารตกตะกอนจะทำให้เกิดการสร้างพันธะเคมีภายในโมเลกุลของโปรตีนเกิดโครงสร้างร่างแห ลักษณะของโปรตีนที่ได้เป็นลักษณะของแข็งกึ่งของเหลวที่เรียกว่า “เจล” คุณภาพของเจลจะขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีการผลิต เช่น เวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว (Hsu และคณะ, 1983) อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำนม (Beddows และ Wong, 1987b) ความเร็วในการกวนในช่วงของการผสมระหว่างน้ำนมถั่วเหลืองกับสารตกตะกอน (Beddows และ Wong, 1987b) น้ำหนักและเวลาของการกดให้น้ำออก (Beddows และ Wong, 1987c) และขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ เช่น ชนิดของตัวตกตะกอน (Lu และคณะ, 1980 ; Tsai และคณะ, 1981) ความเข้มข้นของตัวตกตะกอน (Beddows และ Wong, 1987c) อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลืองของน้ำนมถั่วเหลือง (Beddows และ Wong, 1987a ; Shurtleff และ Aoyagi, 1979) และ พันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้ (Sun และ Breene, 1991) เป็นต้น

##### 4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเจลโปรตีนถั่วเหลือง

4.1.1. ถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ จะมีรูปร่างกลมไปจนถึงเป็นรูปกลมรีหรือแบน มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 10-20 กรัม ต่อเมล็ดถั่วเหลือง 100 เมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองทั้งเมล็ด และส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเหลืองได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงในเรื่ององค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวมีสาเหตุมาจากพันธุ์ของถั่วเหลือง สภาพของสิ่งแวดล้อม และดินที่ใช้เพาะปลูกถั่วเหลือง (สมชาย, 2535)

โปรตีนของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน 35-40 เปอร์เซ็นต์ แต่จะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์ คือ มีปริมาณของกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (Sulfur containing amino acid) ที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ กรดอะมิโน เมทิลโอนีน+ซิสตีน (Methionine + Cystine) น้อย แต่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (Lysine) สูง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 (วรรณ, 2522)

## ตารางที่ 2

องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง และส่วนประกอบของถั่วเหลืองโดยน้ำหนักแห้ง

รายการส่วนประกอบ	ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	คาร์โบไฮเดรต* (เปอร์เซ็นต์)
ถั่วเหลืองทั้งหมด	100.0	40.3	21.0	4.9	33.8
ใบเลี้ยง	90.3	42.8	22.8	5.0	29.4
เปลือก	7.3	8.8	1.0	4.3	85.9
ส่วนของยอดอ่อน	2.4	40.8	11.4	4.4	43.4

\* คำนวณโดยค่าแตกต่าง 100 - (โปรตีน + ไขมัน + เถ้า) ประกอบด้วย เส้นใย  
ที่มา : Kawamura (1967)

## ตารางที่ 3

ส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน)

กรดอะมิโน	ถั่วเหลือง	เดาหมู	ไข่ไก่	FAO/WHO (1973) requirement pattern
ile	4.8	5.0	5.6	4.0
leu	7.8	7.9	8.5	7.0
lys	6.5	5.7	7.0	5.5
met & cys	3.0	2.3	5.7	3.5
phe & tyr	9.0	10.5	10.0	6.0
thr	4.2	4.0	5.2	4.0
trp	1.3	1.0	1.6	1.0
val	5.0	5.2	7.3	5.0

ที่มา : วรรณ (2522)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของโปรตีน โปรตีนในถั่วเหลืองจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ของเนื้อถั่วเหลือง โดยสะสมกันเป็นที่เรียกว่า Protein bodies หรือ Storage Proteins ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-20 ไมครอน แต่ส่วนใหญ่มีขนาด 5-8 ไมครอน และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงของ 200,000 - 600,000 ในสภาวะธรรมชาติ โมเลกุลของโปรตีนขนาดใหญ่เหล่านี้ยังสามารถจับตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ได้อีกด้วยการเชื่อมกันของ disulfide linkage

ในการเรียกชื่อของโปรตีนในปัจจุบันนั้นยังไม่มีระบบการเรียกชื่อที่ใช้กัน แต่เนื่องจากได้มีการวิจัยค้นคว้าและกำหนดชื่อเรียกกันตามลักษณะต่าง ๆ เช่น ใช้บรรทัดฐานของ Sedimentation Coefficient (S) ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของโมเลกุลของโปรตีนโดยค่าของ Sedimentation properties จะขึ้นอยู่กับสภาพของ buffer condition, pH และปัจจัยอื่น ๆ เช่น ionic strength เป็นต้น ในส่วนของ Protein bodies นั้น โปรตีนส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่ชื่อว่า globulin ซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายเกลือเจือจาง globulin ในถั่วเหลืองประกอบด้วย fraction ของ 2S, 7S, 11S และ 15S โดยมี fraction ของ 7S และ 11S เป็นองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 4) การฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลืองจะเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับโมเลกุลของ 7S และ 11S globulin การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใด ๆ ของโมเลกุลทั้งสองจะมีผลต่อการเกิดเจล

ตารางที่ 4

ปริมาณและชนิดของโปรตีนโดยการใช้ Ultracentrifuge แยกจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้

Fraction	เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด	ชนิดของโปรตีน	น้ำหนักโมเลกุล
2S	22	-Trypsin Inhibitor -Cytochrome C	8,000-21,500 12,000
7S	37	-Hemagglutinins -Lipoxygenases - $\beta$ -Amylase -7S-Globulin	110,000 102,000 61,700 180,000-210,000
11S	31	-11S-Globulin	350,000
15S	11	-	600,000

ที่มา : วันชัย (2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

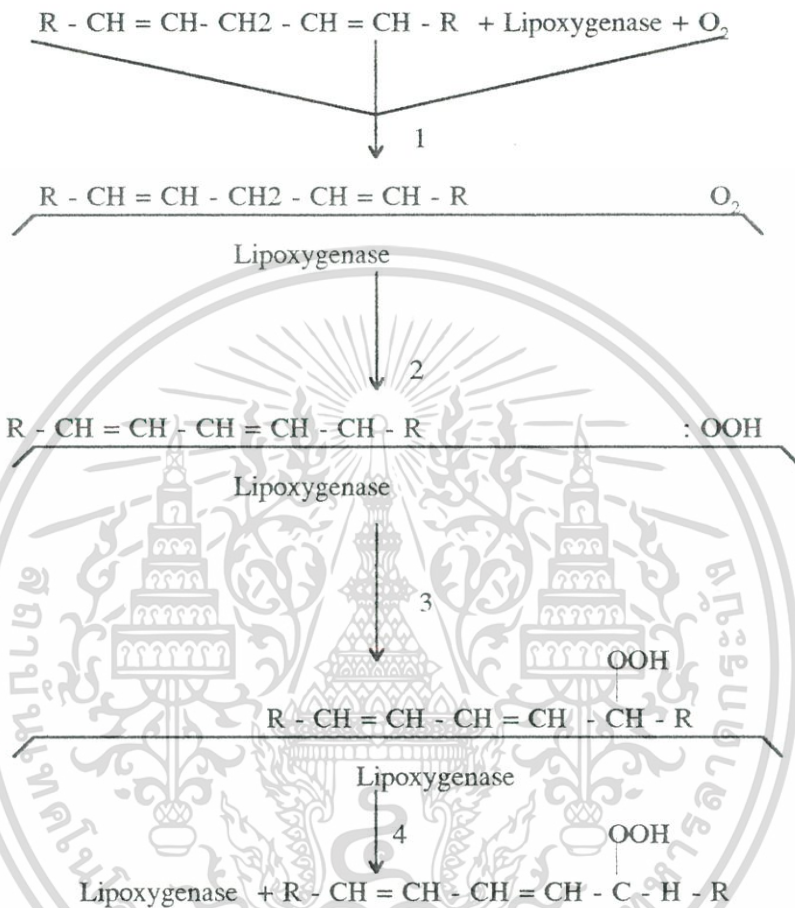
ไขมันของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองประกอบด้วยไขมัน 21 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันถั่วเหลืองมีความสำคัญมากต่อโภชนาการของมนุษย์ คุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองสูงกว่าสัตว์ และสูงกว่ามันเนย เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ กรด Linoleic 25.0-64.8 % และ กรด Linolenic 0.3-12.1 % เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะช่วยทำให้ร่างกายทำงานเป็นปกติ และเลซิทีนที่มีอยู่ในถั่วเหลืองมีประโยชน์ต่อร่างกายมาก คือ ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant แต่อย่างไรก็ตามกรดไขมันที่มีอยู่ในถั่วเหลืองก็จะมีผลต่อกลิ่นถั่วและรสขม

กลิ่นถั่วและรสขม กลิ่นถั่วเหลืองเกิดจากสารประกอบที่ระเหยได้ อันมีสาเหตุสำคัญมาจากเอนไซม์ Lipoyxygenase ซึ่งมีอยู่ในถั่วเหลืองตามธรรมชาติ เอนไซม์ Lipoyxygenase เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Oxidoreductase หรือที่เรียกว่า linoleate : oxygen oxidoreductase เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการ Oxidation ของกรดไขมันหรือน้ำมันที่ไม่อิ่มตัว Substrate ที่ดีที่สุดของเอนไซม์พวกนี้คือ กรดลิโนเลอิก ลิโนเลนิก ออราซิโคนิก และพวกลิโนเลอเอท หรือลิโนลิเนท ในภาพที่ 2 เป็นตัวอย่างแสดงปฏิกิริยาการเกิด oxidation ของลิโนเลอเอทโดยเอนไซม์ lipoyxygenase โดย

ขั้นตอนที่ 1 Substrate อยู่ที่ผิวของเอนไซม์และเริ่มทำปฏิกิริยากับ Oxygen  
 ขั้นตอนที่ 2 เคลื่อนย้าย electron และ  $H^+$  จาก Substrate ให้แก่ Oxygen เพื่อสร้าง radicle ที่ผิวของเอนไซม์  
 ขั้นตอนที่ 3 biradicle ทำปฏิกิริยากันให้ Conjugated diene hydroperoxide  
 ขั้นตอนที่ 4 Conjugated diene hydroperoxide แตกตัวออกจากเอนไซม์

สาร Conjugated diene hydroperoxide จะสลายตัวต่อไปให้สารประกอบที่ระเหยได้ และทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเขียวขึ้นในผลิตภัณฑ์ สารประกอบเหล่านี้ ได้แก่ อัลดีไฮด์ คีโตน และแอลกอฮอล์ สารประกอบที่ใหญ่กลิ่นถั่วเหลืองแรงที่สุดคือ ไวนิลคีโตน

ภาพที่ 2



แสดง การเกิดปฏิกิริยา oxidation ของลิโนเลอิก (linoleate) โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส  
ที่มา : Tappel และ คณะ(1952)

คุณภาพของถั่วเหลือง การเลือกเมล็ดถั่วเหลืองเพื่อการใช้เป็นอาหารนั้นอาจพิจารณาได้จากหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. ค่าของความชื้น (Moisture) ควรมีความชื้นของเมล็ดต่ำ หรือถั่วเหลืองที่มีลักษณะแห้ง หลักการสังเกตอาจทำได้โดย เวลาใช้ปากกัดเมล็ดเพื่อให้แตกเป็น 2 ซีก ได้โดยง่าย หรือใช้มือกำเมล็ดถั่วเหลืองไว้สักครู่จะรู้สึกร้อนขึ้น ถ้าเป็นถั่วเหลืองใหม่อาจดูลักษณะทั่วไป ว่ามีเมล็ดอ่อนอยู่มากหรือไม่ หรือมีเมล็ดลีบ สีดำ มากหรือไม่ เป็นต้น ถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดเป็นถั่วเหลืองแห้งพอเหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลักษณะทั่วไปของเมล็ด ควรมีลักษณะเมล็ดเต่งตึง ผิวไม่เหี่ยวย่น ขนาดเมล็ดใหญ่ มีเมล็ดอ่อน (สีเขียว) เมล็ดคลิบเสียหรือมีเชื้อราเกาะกันเป็นก้อนอยู่น้อย หรือไม่มีเลย เป็นถั่วเหลืองที่มีเปลือกบาง สีเปลือกเหลือง จมูกอาจเป็นชนิดสีน้ำตาลหรือสีขาว ปราศจากแมลงเจาะ และเนื้อถั่วเหลืองมีสีอ่อน แทนที่จะเป็นสีเหลืองเข้ม (เนื้อถั่วเหลืองที่มีสีเข้มจะเป็นถั่วเหลืองที่เก็บไว้เป็นเวลานาน)

### 3. ปราศจากสารพิษ

4. อายุการเก็บ ควรเป็นถั่วเหลืองที่มีอายุการเก็บไม่นานเกินไป คืออยู่ในช่วง 1 ปี จะพอเหมาะ การเก็บนานเกินไปจะทำให้ได้คุณภาพของอาหารในถั่วเหลืองเสื่อมสภาพลง โดยเฉพาะคุณสมบัติการละลายตัวของโปรตีน และคุณภาพของไขมัน

5. คุณภาพทางเคมี คำนวณประกอบของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่จะนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารควรเป็นถั่วเหลืองที่มีองค์ประกอบทางเคมีค่านสารอาหารต่าง ๆ สูง

6. สิ่งเจือปนอื่น ๆ สิ่งเจือปนนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียของเครื่องจักรทางอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างมาก

แนวทางหลีกเลี่ยงสิ่งเจือปนนั้น อาจทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีทันสมัยเข้าช่วยในการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้รถนวด เครื่องอบเมล็ดให้แห้ง เป็นต้น หรือ ผ่านขั้นตอนในการทำความสะอาดถั่วเหลืองก่อน เช่น เขาเครื่องคัดขนาด เครื่องร่อน เครื่องแยกหิน ดิน ทราย และฝุ่น เป็นต้น

7. ขอฟีรณาอื่น ๆ เช่น ถั่วเหลืองนั้นควรเป็นถั่วเหลืองที่มีความแก่เต็มที่ของเมล็ดทั้งนี้ เพราะถั่วเหลืองที่ไม่แก่จัดย่อมมีความชื้นสูง

Smith และคณะ (1960) พบว่า ถั่วเหลืองที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของพันธุ์จะทำให้ลักษณะความแข็งของเมล็ดที่ได้ออกแตกต่างกันไป การเลือกถั่วเหลืองที่จะนำมาใช้ ทำแต่หูเพื่อที่จะให้เตาหุ้มีผลผลิตสูง (yield) และได้เนื้อเตาหุ้ที่เหมาะสมจะต้องเลือกถั่วเหลืองที่ไม่เก็บไว้นานหลายเดือน หรือเป็นถั่วเก่าเก็บ และควรเป็นถั่วเหลืองที่เก็บไว้ในสภาวะที่พอเหมาะ กล่าวคือ อุณหภูมิและความชื้นต่ำ (วันชัย, 2527) ทั้งนี้เนื่องจากถั่วเหลืองที่เก็บไว้นานเกินไป หรือเก็บไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะมีค่าของ Nitrogen Solubility Index (NSI) ต่ำลงทำให้การสกัดเอาโปรตีนออกมาในนมถั่วเหลืองน้อยลง ฃรจค์ (2528) กล่าวว่า ถั่วเหลืองที่ใช้ในการผลิตเตาหุ้ควรมีขนาดใหญ่ เปลือกบาง ขั้วเมล็ดไม่มีสีดำ อายุไม่เกิน 6 เดือน ถั่วเก่ามากจะให้เตาหุ้ น้อย ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมาก เป็นที่ให้สารละลายโปรตีน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเนื้อเตาหุ้ภายหลังการ

เอกสาคักตะกอนแล้ว ถั่วเหลืองที่ดีจะต้องมีของแข็ง (โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ต่าง ๆ) คร่ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายออกมา และให้กลิ่นฉุนน้อย ไม่มีรสขม ให้นมสีขาว ถั่วเหลืองที่ดีควรมีขนาดเมล็ดใหญ่ สีของตา (hilum) ถั่วเหลืองควรจะใกล้เคียงกับสีของเมล็ดถั่วเหลือง และมีการละลายดี นอกจากนี้ไม่ควรมีเมล็ดเน่าเสีย ก้อนหิน ก้อนดิน ปะปนอยู่ ขนาดของเมล็ดมีความสำคัญมาก ถั่วเหลืองที่มีเมล็ดขนาดใหญ่จะให้ส่วนที่เป็นเนื้อมาก สีของเมล็ดมีผลต่อสีของนํ้านมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้มาก ถั่วเหลืองที่ตาสีดำหรือสีที่เข้มกว่าเปลือกมาก จะทำให้นมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้มีสีคล้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตรียมนํ้านมถั่วเหลืองโดยไม่เอาเปลือกถั่วเหลืองออกก่อน ถั่วเหลืองที่มีของแข็งละลายน้ำได้มากจะให้ผลผลิตสูง

4.1.2. น้ำ น้ำที่เหมาะสมควรมีอุณหภูมิต่ำ สะอาด รสดี และมีราคาไม่แพง น้ำที่ใช้ อาจมาจากแหล่งใดก็ได้ แต่ถ้าเป็นน้ำบ่อจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำประปา ทั้งนี้เพราะว่าน้ำประปามี อุณหภูมิสูงและมักจะมีคลอรีนผสมอยู่ระหว่าง 0.025-2.00 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งอาจจะทำให้เต้าหู้มี กลิ่นผิดปกติและมีเนื้อนุ่มกว่าปกติ ถ้าจำเป็นต้องใช้น้ำประปาควรผ่านกระบวนการกำจัดคลอรีน เสียก่อน โดยนำไปกรองผ่านผงถ่าน นอกจากนี้ถ้าจำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งอื่น ควรมีการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ก่อน (ณรงค์, 2528)

4.1.3. สารตกตะกอน ในกระบวนการผลิตเจลเต้าหู้ขั้นตอนที่สำคัญ คือ การเติม สารตกตะกอนเพื่อให้เกิดเจล Watanabe และคณะ (1964) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารตก ตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่มีอยู่ในนํ้านม สารเคมีที่ใช้กันอยู่มีหลายชนิด คือ สารประกอบคลอไรด์ ไคโอแล แมกนีเซียมคลอไรด์ ( $MgCl_2 \cdot 2H_2O$ ) แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) น้ำทะเล สารพวกนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสหอมหวาน เนื้อแข็ง เหมาะในการทำเต้าหู้ ทอด (Aburage Tofu) (สมจิตและเพลินใจ, 2538)

สารประกอบซัลเฟต สารประกอบแคลเซียมซัลเฟต เป็นสารประกอบที่อยู่ในรูป ของยิปซัม ชาวจีนส่วนใหญ่ใช้ในรูปของปูนพลาสติก ซึ่งได้จากการเผาที่ยิปซัมที่อุณหภูมิสูงกว่า 46 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสูญเสียน้ำไปเป็นผลึก คนจีนเรียกสารประกอบชนิดนี้ว่า “เจียะกอ” สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมักจะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วถ้าสัมผัสกับอากาศ ไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 ปี วันชัย (2527) พบว่า แคลเซียมซัลเฟต เป็นสารตกตะกอนที่ให้เต้าหู้มีลักษณะที่ดี และแคลเซียมซัลเฟตเองก็มีราคาถูกหาได้ง่าย การใช้แคลเซียมซัลเฟตในอัตราที่น้อย คือน้อยกว่า 0.008 โมลาร์ จะไม่เกิดการจับตัวเป็นเต้าหู้ แต่อาจจะทำให้ได้นํ้ามนั้นมีลักษณะขุ่นขึ้นมาบ้าง และถ้าใช้ปริมาณ 0.01 โมลาร์ของแคลเซียมซัลเฟตจะเกิดเป็นตะกอนบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ โดยที่

ไม่สามารรถนำมาคดเป็นเต้าหู้ได้ ระดับการใช้ที่ควรจะใช้คืออยู่ในช่วง 0.02-0.04 โมลาร์ ในการรค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมทำเตาหลอมจะต้องนำสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมาละลายน้ำก่อน และต้องระมัดระวังไม่ให้สัมผัสกับน้ำเกิน 30 วินาที มิฉะนั้นปฏิกิริยาจะลดลงอย่างรวดเร็ว (ณรงค์, 2528) นอกจากนี้สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตจะทำให้เตาหลอมที่ได้นุ่มขึ้นซึ่งเหมาะในการทำเตาหลอม เตาสวาย ปริมาณที่ใช่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง สารอีกตัวหนึ่ง คือ แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) หรือดีเกลือ เป็นสารสีขาว รสขมฝืด เหมาะในการทำเตาหลอมแข็ง (สมจิตและเพลินใจ, 2538)

สารกลูโคโนแลคตาแลคโทน (GDL) จะนำไปผสมกับนมถั่วเหลืองที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วนำไปต้มให้ร้อน สารประกอบชนิดนี้จะเปลี่ยนไปเป็นกรดกลูโคนิก ซึ่งอาจทำให้นมถั่วเหลืองตกตะกอน เป็นกระบวนการตกตะกอน ที่คล้าย ๆ กับกรดที่เกิดจากจุลินทรีย์ สารกลูโคโนแลคตาแลคโทนเป็นผลึกสีขาว ละเอียด ไม่มีกลิ่นรส เตรียมจากแป้งข้าวโพดโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์ การทำงานของสารกลูโคโนแลคตาแลคโทนแตกต่างไปจากการทำงานของสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมาก กล่าวคือ สารแลคโทนจะให้โปรตีนซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน ในขณะที่สารประกอบซัลเฟตนั้นตัวอ่อนของแคลเซียมทำให้โปรตีนตกตะกอน โดยปกติจะนิยมใช้สารกลูโคโนแลคตาแลคโทนกับการผลิตเตาหลอม ไม่นิยมใช้กับเตาหลอมแข็งกับเตาสวาย เตาหลอมที่ได้นุ่ม มีลักษณะเหมือนเจลลี่ นุ่ม ไม่มีกลิ่นรส ปริมาณที่ใช่ประมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง หรือ 0.33 เปอร์เซ็นต์ของนมถั่วเหลือง ก่อนใช้ควรละลายในน้ำเย็นเล็กน้อยก่อนใส่ลงในนมถั่วเหลือง แต่ไม่ควรทิ้งไว้นานเกิน 10 นาที ในปัจจุบันนิยมที่จะใช้สารแลคโทนผสมกับแคลเซียมซัลเฟตในอัตราส่วน 8 ต่อ 2 กล่าวกันว่าของผสมนี้จะทำให้เตาหลอมมีรสดีว่าการใช้สารแลคโทนแต่เพียงอย่างเดียว (ณรงค์, 2528)

กรด ที่นิยมใช้มีทั้งกรดอินทรีย์ และกรดแร่ เช่น กรดแลคติก น้ำส้ม กรดเกลือ กรดมะนาว เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำผลไม้ในการตกตะกอนด้วย เช่น น้ำส้มคั้น น้ำมะนาว น้ำส้มปรด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกรอบ หักง่าย มีรสฝืดเล็กน้อย (สมจิตและเพลินใจ, 2538)

#### 4.2 กรรมวิธีการผลิตเจลโปรตีนจากถั่วเหลือง

การผลิตเจลโปรตีนถั่วเหลืองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการผลิตนมถั่วเหลืองให้มีความเข้มข้นพอเหมาะ ปราศจากกลิ่นรส ขั้นตอนที่สองเป็นการนำนมถั่วเหลืองที่ได้ไปตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเรื่องและสงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การเอาเปลือกถั่วเหลืองออก ในการผลิตนมถั่วเหลือง อาจใช้ถั่วเหลืองทั้งเปลือกหรือถั่วเหลืองที่เอาเปลือกออกแล้วก็ได้ ถ้าเป็นถั่วเหลืองที่เอาเปลือกออกจะได้นมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วอ่อน ไม่มีรสขม และมีสีขาวนํารับประทาน แต่ถั่วใช้ถั่วเหลืองทั้งเปลือกจะให้ผลตรงกันข้าม คือมีกลิ่นถั่วแรง สีคล้ำ และมีรสขม การเอาเปลือกถั่วเหลืองออกจะต้องทำก่อนนำไปแช่นํ้า โดยนำถั่วไปโม่ผ้าซีก (ณรงค์, 2528)

ข. การแช่ถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่ใช้ทำนมถั่วเหลืองอาจผ่านการแช่นํ้าก่อนการบดหรือไม่ก็ได้ แต่การแช่นํ้าก่อนการบดจะช่วยบดได้ง่าย มีของแข็งและโปรตีนละลายน้ำได้มากขึ้น การแช่นํ้าอาจใช้เวลาต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ พันธุ์และอายุของถั่วเหลือง ก่อนนำถั่วเหลืองไปแช่นํ้าควรล้างก่อนอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อกำจัดฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่จะส่งผลทำให้นมถั่วเหลืองมีสีและกลิ่นผิดปกติ ปริมาณน้ำที่แช่ไม่ควรต่ำกว่า 3 เท่าของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง อุณหภูมิของน้ำถ้าต่ำมากจะใช้เวลาแช่นาน ประมาณ 16-20 ชั่วโมง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเวลาที่แช่จะลดลงเหลือเพียง 3-6 ชั่วโมง นอกจากนี้ถั่วเหลืองที่เก็บไว้นานหรือมีขนาดเล็ก มีเนื้อแข็ง หรือมีปริมาณน้ำมันสูง ควรใช้เวลาแช่นานขึ้น หลังจากแช่จนได้ที่แล้ว น้ำหนักของถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้น 2.2-2.3 เท่า และปริมาตรจะเพิ่มขึ้น 2.4-2.5 เท่า การใช้เวลาในการแช่ถั่วเหลืองน้อยหรือมากเกินไปจะมีผลให้ปริมาณเตาหูที่ได้ลดลง

ความพอดีของการแช่ถั่วเหลือง สามารถสังเกตได้ดังนี้ ประการแรกสังเกตดูแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าแช่ถั่วเหลืองนานเกินไปจะมีฟองแก๊สชนิดนี้เกิดขึ้น ประการที่สองให้สังเกตดูเปลือกถั่ว ถั่วที่แช่นํ้าจนได้ที่จะมีเปลือกเต่งตึง สีสดใส แต่ถ้าเปลือกเริ่มย่นแสดงว่าแช่นํ้านานเกินไป ประการสุดท้ายให้ลองบีบเมล็ดถั่วเหลืองด้วยนิ้วมือ ให้เมล็ดแตกออกตามความยาวเป็น 2 ซีก ถ้าเมล็ดแตกออกง่ายและสีของเนื้อสม่ำเสมอไม่เป็นไต แสดงว่าแช่ถั่วเหลืองได้ที่แล้ว การแช่และบดในน้ำเย็นทำให้เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนถูกแยกออกมาได้มากตามต้องการ แต่ขณะเดียวกันกลิ่นถั่วก็จะเกิดขึ้นและยังคงอยู่ต่อไป ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) เมื่อบดถั่วในน้ำเย็น ดังนั้นหากต้องการผลิตนํ้านมถั่วเหลืองที่ทำให้ผู้บริโภคยอมรับทุก ๆ คนแล้วก็ต้องขจัดเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสออกเสียก่อน ทศพร (2527) ได้ศึกษาผลของการใช้สารเคมีกำจัดกลิ่นเหม็นเขียวในถั่วเหลือง พบว่า วิธีการกำจัดกลิ่นถั่วในถั่วเหลืองที่มีประสิทธิภาพ คือ การแช่ถั่วเหลืองในน้ำ 24 ชั่วโมง ล้างแยกเปลือก แล้วนำมาแช่ในนํ้าร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นแช่ในสารละลาย 0.5 เปอร์เซ็นต์  $\text{NaHCO}_3$  ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที สามารถทำให้นํ้านมถั่วเหลืองที่ไม่มีลักษณะเป็นนํ้านมสีขาว มีกลิ่นถั่วอ่อนลง และมีโปรตีนที่อยู่ในนํ้านมสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ที่ศึกษา นอกจากนี้การบดถั่วเหลืองในนํ้าร้อนทำให้ได้นํ้านมที่มีกลิ่น และรสชาติดีกว่านํ้านมที่ได้จากบดในน้ำเย็น (สมชาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคณะ, 2527) โดยที่กุลวลีและคณะ (2532) ระบุว่าอุณหภูมิของการบดถั่วไม่ควรต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำมันมีรสชาติดีปราศจากกลิ่นถั่ว นอกจากนี้ Hsu, Kim และ Wilson (1983) พบว่าหากใช้อุณหภูมิต่ำในการแช่ถั่วจะทำให้ระยะเวลาในการดูดซับน้ำของถั่วเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการแช่ถั่วจะทำให้ระยะเวลาในการดูดซับน้ำของถั่วลดลง และหากใช้น้ำที่ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) ในการแช่ถั่วที่ระดับต่างกันจะทำให้การดูดซับน้ำของถั่วแตกต่างกันด้วย กล่าวคือ ถ้าใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นยิ่งสูง อัตราการดูดซับน้ำของถั่วเหลืองก็จะยิ่งลดลง

ค. การบดถั่วเหลือง นำถั่วเหลืองที่แชจนได้ที่แล้วมาล้างให้สะอาด 2-3 ครั้งในขณะเดียวกันก็เป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์ในถั่วด้วย ต่อจากนั้นนำไปโม่ให้ละเอียด ในขณะที่โม่ควรผสมน้ำเข้าไปด้วยตลอดเวลา น้ำที่โม่อาจเป็นน้ำร้อนหรือน้ำเย็นก็ได้ แต่ถ้าน้ำร้อนจะลดกลิ่นถั่วเหลืองได้มาก โดยเฉพาะอุณหภูมิของถั่วเหลืองที่บดแล้วมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาที่โม่จนให้ละเอียด โดยปกติแล้วควรโม่ 1 เท่าตัวในขณะที่ทำการบดถั่วเหลือง (ณรงค์, 2528) ถ้าโม่ช้าขณะบดมากถั่วที่ถูกบดจะหยาบ ทำให้ได้โปรตีนในช่วงการสกัดน้อยลง เป็นผลทำให้เต้าหู้มีเนื้อหยาบ จากนั้นนำไปปรับอัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลืองในอัตราที่เหมาะสมกับการผลิตเต้าหู้แต่ละชนิด

ความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลืองที่บดได้ มีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะของเจลเต้าหู้ Saio (1979) ได้ทำการศึกษาทดลอง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในนมถั่วเหลือง (โปรตีน) มีผลต่อความแข็ง (Hardness) ของเจลโดยหากปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีปริมาณมากความแข็งของเจลก็จะมีมาก

Beddows และ Wong (1987a) ได้ทำการศึกษาทดลองปรับอัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลือง (9:1 ถึง 14:1) ที่มีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของ Silken tofu โดยใช้  $\text{CaSO}_4$  (0.4 กรัมต่อ 25 มิลลิลิตรของน้ำนม) เป็นตัวตกตะกอน พบว่า อัตราส่วนในช่วง 10:1 (น้ำ : ถั่วเหลือง) จะให้คุณภาพของ Silken tofu ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ (ตารางที่ 5)

สำหรับในประเทศไทย สมชาย (2538) ได้สรุปว่า เต้าหู้แข็งเมื่อใช้ดีเกลือ ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) เป็นตัวตกตะกอน อัตราส่วนของน้ำต่อเมล็ดถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่ดีที่สุดในการทำน้ำนมถั่วเหลือง เพื่อทำเต้าหู้ ควรใช้ประมาณ 10:1 ถึง 15:1 โดยน้ำหนักของถั่วเหลืองทั้งเมล็ด ในกรณีของเต้าหู้อ่อนใช้  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  เป็นตัวตกตะกอน อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อถั่วเหลือง 8:1 ถึง 10:1 โดยน้ำหนัก ส่วนเต้าหู้หลอดได้จากการตกตะกอนโปรตีนด้วยตัวตกตะกอน glucono- $\delta$ -lactone (GDL) อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลือง เท่ากับ 5 : 1 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีที่มีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่แจ้งความในวงใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทำลายสารบางชนิดในถั่วเหลือง ที่ทำให้ร่างกายไขประโยชน์ได้น้อยลง สมชาย (2538) กล่าวว่า การต้มน้ำนมถั่วเหลืองจะช่วยยับยั้งการทำงานของ Trypsin Inhibitor ในถั่วเหลืองได้อย่างน้อย 79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารตัวนี้ละลายในน้ำได้ สำหรับเตาหุงที่ผ่านการตกตะกอนและกำจัดเอา whey ออก จะกำจัด Trypsin Inhibitor ได้ถึง 76 เปอร์เซ็นต์ วันชัย (2527) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการได้มากที่สุด และไม่ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเตาหุงเสียไป คือ การใช้ความร้อนประมาณ 90 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที

2. ทำให้น้ำนมมีกลิ่นดีขึ้น

3. เก็บได้นาน

4. สก๊คน้ำนมได้ง่าย

5. เปลี่ยนโปรตีนให้อยู่ในรูปที่ตกตะกอนได้ง่าย

อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนที่สูงเกินไปอาจไปทำลายกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย อาทิเช่น Methionie และ Cystine

#### ตารางที่ 5

แสดงผลการวิเคราะห์ Silken tofu เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ระดับต่าง ๆ

Water : bean ratio	Bulk yield (g/g)*	Water retention (g/g)*	Analysis of tofu		Ratio in tofu		Penetration (mm)	Appearance
			Solids (%)	Protein (%)	Water : solids	Water : protein		
9 : 1	3.06	2.63	14.3	8.42	6.0	10.1	6.6	Soft, watery
10 : 1	2.64	2.23	15.1	9.03	5.6	9.5	3.6	Good, even
11 : 1	2.78	2.40	14.5	8.42	5.9	10.1	3.6	Coarse, lumpy
12 : 1	2.78	2.42	13.8	8.47	6.2	10.1	3.0	Coarse with holes
13 : 1	2.62	2.23	14.9	8.77	5.7	9.7	ts**	Soft, poorly formed
14 : 1	2.12	1.81	15.1	9.73	5.6	8.7	ts**	Soft, poorly formed

\* แสดงถึง g/g ของถั่วแห้งเริ่มต้น

\*\*ts นิ่มมาก

ที่มา : Beddows และ Wong (1987a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. การกรองเอากากออก โดยปกติแล้วการกรองเอากากออกมักทำหลังจากที่นำถั่วบดไปต้มกับน้ำแล้ว การกรองเป็นการแยกเอาส่วนที่ละลายน้ำได้ออกจากส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ดีการกรองอาจทำก่อนต้มก็ได้ ขึ้นอยู่กับความนิยม คนญี่ปุ่นส่วนใหญ่นิยมที่จะต้มถั่วบดก่อนที่จะนำไปกรอง การต้มเป็นการลดความหนืดของถั่วเหลืองให้น้อยลง ทำให้กรองได้ง่าย พร้อมทั้งมีโปรตีนและของแข็งอื่น ๆ ละลายออกมาได้มากด้วย ทั้งนี้เพราะน้ำทำให้โปรตีนแยกตัวกันในขณะถูกความร้อน ไม่จับตัวกันเป็นก้อนใหญ่เป็นลักษณะที่แตกต่างไปจากโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดถั่วเหลือง จากการค้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 45-85 องศาเซลเซียส จะมีโปรตีนละลายออกมามากที่สุด (ณรงค์, 2528)

ค. การล้างกาก ถังแม่จะมีการแยกกากออกมาจากนมถั่วเหลืองแล้วก็ตาม กากที่เหลือยังมีโปรตีนเหลืออยู่มาก โดยเฉพาะในการผลิตนมถั่วเหลืองที่เข้มข้นมาก ควรนำกากมาล้างด้วยน้ำร้อนอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จะช่วยให้โปรตีนละลายออกมามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำที่โซรวมกันจะต้องไม่มากกว่าปริมาณที่ต้องการ (ณรงค์, 2528)

ขั้นตอนที่ 2. การตกตะกอนโปรตีน การตกตะกอนโปรตีนเป็นขั้นตอนที่ทำให้ให้นมถั่วเหลืองที่เตรียมไว้จับตัวกันเป็นก้อน มีลักษณะเหมือนเจล การตกตะกอนโปรตีน เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เพราะมีปัจจัยและสภาวะหลายอย่างที่เกี่ยวของอันมีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่

ก. ชนิดและปริมาณสารตกตะกอน การใช้ปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้หางนมใส ถ้าน้อยเกินไปหางนมจะขุ่น โปรตีนตกตะกอนไม่หมด แต่ถ้าให้มากเกินไป ปริมาตรเต้าหู้จะลดลง เนื้อแข็ง และมีรสขม (ณรงค์, 2528)

สมชาย และคณะ (2525) กล่าวว่า การใช้สารตกตะกอนในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ได้น้ำเวย์ (Whey) ซึ่งเป็นส่วนของน้ำนมถั่วเหลืองที่ตกตะกอนโปรตีนออกไปแล้วใส ถ้าหากใช้ในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้โปรตีนตกตะกอนไม่หมด น้ำเวย์จะขุ่น แต่ถ้าใช้สารในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้คุณภาพของเต้าหู้เสียไป เช่นการใช้กลูโคโนแลคตาแลคโทนมากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้งในการทำเต้าหู้อ่อนจะทำให้กลิ่นรสของเต้าหู้นั้นเสียไป คือจะมีรสเปรี้ยว ขมเผื่อน เป็นต้น

Lu, Carter และ Chung (1980) ศึกษาถึงการใส่เกลือแคลเซียมชนิดต่าง ๆ สำหรับการตกตะกอนเต้าหู้แข็ง พบว่า ปริมาณของสารตกตะกอนที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนของเจลโปรตีนถั่วเหลืองนั้นแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตกตะกอนดังตารางที่ 6 คือ อะซิติกแอซิก (acetic acid) และ แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) จะใช้ปริมาณ

0.1 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมอะซิเตด (calcium acetate) จะใช้ปริมาณ 0.15 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมแลค

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง**

เตส (calcium lactate) และกลูโคโนแลคตาแลคโตน (glucono- $\delta$ -lactone) จะใช้ปริมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) จะใช้ปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ แคลเซียม-กลูโคเนต (calcium gluconate) จะใช้ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และสารตกตะกอนที่ใสแตกต่างกัน จะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนถั่วเหลืองแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 6

การตกตะกอนของโปรตีนถั่วเหลือง<sup>a</sup>

Type	% Added	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5
Calcium gluconate	Coag	-	-	-	-	-	-	-	+
	pH	6.40		6.40		6.40	6.35	6.20	6.05
Calcium chloride	Coag	-	-	+		+	+		
	pH	-	6.20	6.00		5.85	5.65		
Calcium sulfate	Coag	-		-		-	+	+	
	pH	-		6.40		6.17	6.00	5.95	
Calcium acetate	Coag	-	-	-	+	+	+		
	pH	-	6.25	6.11	6.00	5.98	5.85		
Calcium carbonate	Coag	-		-		-	-	-	-
	pH	-		6.40		6.40	6.40	6.35	6.35
Calcium hydroxide	Coag	-		-		-	-	-	-
	pH	-		9.45		10.45	11.03		
Calcium lactate	Coag	-		-	-	+	+	+	
	pH	-		6.20	6.10	6.00	5.95	5.85	
Glucono- $\delta$ -lactone	Coag	-		-	-	+	+	+	
	pH	-		6.20	6.10	6.00	5.34	5.67	
Calcium phosphate	Coag	-		-		-	-	-	
	pH	-		6.40		6.40	6.40	6.40	
Acetic acid	Coag	-	-	+	+	+			
	pH	-	6.07	5.98	5.82	5.54			

<sup>a</sup> ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ถึง 4 ซ้ำ. + เกิดการตกตะกอน; - ไม่เกิดการตกตะกอน.

เอกสารนี้เป็นที่มาของ Lu, Carter และ Chung (1980) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมชายและคณะ (2525) ได้ทดลองใช้วัตถุดิบต่าง ๆ 4 ชนิด คือ  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , GDL และ  $\text{GDL}:\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (7:3) ในการผลิตเต้าหู้หลอด พบว่า วัตถุดิบ  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ใช้ในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของเต้าหู้หลอดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนกลิ่นรสของเต้าหู้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ชิม เนื่องจากมีรสขมเกินไป สำหรับวัตถุดิบ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ใช้ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ จะให้สี กลิ่นรส และเนื้อเต้าหู้ เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมค่อนข้างสูง สำหรับวัตถุดิบ GDL จะใช้ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จะได้เต้าหู้หลอดที่มีลักษณะ สี กลิ่นรส และเนื้อเต้าหู้ที่ผู้ชิมยอมรับค่อนข้างสูง สำหรับวัตถุดิบ  $\text{GDL} : \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  นั้น การใช้ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จะให้ สี กลิ่นรส และเนื้อเต้าหู้เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมในระดับสูง และการใช้ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ก็ยังคงได้เต้าหู้หลอดที่มีลักษณะต่าง ๆ ที่ผู้ชิมยอมรับได้ในระดับปานกลาง

เยาวลักษณ์, อำนวยโชค และ เพียรชัย (2530) ได้ทดลองใช้สารตกตะกอน  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.2 เปอร์เซ็นต์,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.4 เปอร์เซ็นต์,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$  0.3 เปอร์เซ็นต์,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.4 เปอร์เซ็นต์ และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0.1 เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตเต้าหู้แข็ง พบว่าคุณสมบัติของเต้าหู้ที่ได้จากการใช้  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.4 เปอร์เซ็นต์ ตกตะกอนโปรตีนจะให้ลักษณะเต้าหู้ที่ดี และเหมาะต่อการนำไปใช้ประโยชน์ โดยจะให้ตะกอนเต้าหู้ 160 กรัม (จากการใช้ถั่วเหลือง 100 กรัม เติมน้ำเย็น 1 ลิตร) มีความชื้น 72.54 เปอร์เซ็นต์ ความแข็ง 260 กรัม โปรตีน 11.66 เปอร์เซ็นต์ และ เหลือโปรตีนในน้ำเวย์น้อย คือ 0.73 เปอร์เซ็นต์

Beddows และ Wong (1987c) ศึกษาถึงสภาพที่อำนวยความสะดวกการผลิต และคุณสมบัติของ Silken tofu จากถั่วเหลือง พบว่า ความเข้มข้นของสารตกตะกอนในระหว่างการผสมที่เหมาะสม คือ ปริมาณของแคลเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 9-10 มิลลิโมล จะให้ผลผลิตและเนื้อสัมผัสที่ดี (ดังตารางที่ 7)

สมชาย (2533) ได้ทำการศึกษาทดลอง พบว่า เต้าหู้หลอดที่ใช้แคลเซียมซัลเฟตในปริมาณร้อยละ 2-3 โดยน้ำหนักของถั่วเหลืองแห้งทั้งหมด และเต้าหู้หลอดที่ใช้ กลูโคโนแลคตาแลคโตน ในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของถั่วเหลืองแห้งทั้งหมด เป็นสารตกตะกอนโปรตีนจากน้ำนมถั่วเหลืองเป็นที่ยอมรับในการบริโภคจากผู้ชิมสูงสุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Sun และ Breene (1991) ศึกษาถึงความเข้มข้นของแคลเซียมซัลเฟตที่มีอิทธิพลต่อปริมาณ และคุณภาพของเต้าหู้ที่ได้จากถั่วเหลือง 5 ชนิด คือ Vinto, Corsoy, Hardin, Stine 2510 และ Stine 2810 โดยหาปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟตที่เหมาะสม ปริมาณผลผลิต ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีน และคุณภาพของเนื้อสัมผัส ซึ่งพบว่า

เอกส ความเข้มข้นของสารตกตะกอนแคลเซียมที่เหมาะสมกับถั่วทั้ง 5 ชนิดคือที่ความเข้มข้น 0.02 ไม่ว่าจะชนิดใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอร์มัล แต่ตัวทั้ง 5 ชนิดที่ความเข้มข้นเท่ากันจะมีความแตกต่างกันทั้งปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน ปริมาณของแข็ง และคุณภาพเนื้อสัมผัส

### ตารางที่ 7

ผลของความเข้มข้นของแคลเซียมซัลเฟตที่มีต่อปริมาณผลผลิตของ Silken tofu<sup>a</sup>

CaSO <sub>4</sub> added (mM)	Nett yield (g/g)*	Water held (g/g)*	Tofu analysis		Ratios in tofu		Penetration (mm)	Appearance
			Solids (%)	Protein (%)	Water : solids	Water : protein		
7.83	4.09	3.61	11.8	5.97	7.51	14.8	7.3	Soft, watery
8.39	3.44	2.96	13.7	7.70	6.29	11.2	4.5	Soft, watery
8.94	3.31	2.87	14.8	8.24	5.78	10.3	4.1	Smooth
9.50	3.32	2.82	15.0	9.03	5.66	9.5	4.2	Smooth
10.1	3.33	2.84	14.3	8.25	5.99	10.4	4.1	Soft, even
11.2	3.25	2.67	15.5	8.25	5.46	10.3	2.9	Hard, coarse
13.4	3.01	2.54	14.4	8.27	5.96	10.3	3.0	Hard, coarse

\* g/g ของถั่วเหลืองเริ่มต้น

<sup>a</sup> อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง ที่ 10 : 1

ที่มา : Beddows และ Wong (1987c)

ข. อุณหภูมิขณะทำการตกตะกอน ถ้าอุณหภูมิสูง จะเกิดปฏิกิริยาเร็ว ใช้สารตกตะกอนน้อย แต่หู้ที่ได้มีเนื้อแข็งหยาบ อุณหภูมิที่ไ้ขึ้นกับชนิดของเจลเต้าหู้ ดังแสดงในตารางที่ 8

ค. การผสมขณะตกตะกอน ต้องไม่แรงนัก ถ้านมมากตะกอนจะแข็งกระด้าง มีฟองอากาศ

การกำจัดหางนม ในกรณีของ Momen tofu หรือเต้าหู้แข็ง น้ำเวย์ (whey) ที่เหลือจากการจับตัวเป็นก้อนของโปรตีน ต้องกำจัดออกไปส่วนหนึ่งก่อนที่จะนำก้อนโปรตีนใส่ลงพิมพ์ จะทำให้เต้าหู้จับตัวเป็นก้อนได้ดีขึ้น

การกดทับ ในกรณีของเต้าหู้อ่อนทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง โดยการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรข้างานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กำจัดน้ำเวย์ออกไปบางส่วน ทำได้โดยระยะแรกกดทับด้วยน้ำหนักน้อย ประมาณ 2-4 กรัมต่อไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเซนติเมตร นาน 5 นาที แล้วเพิ่มน้ำหนักเป็น 15 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 10-15 นาที แต่ถ้าเป็นเต้าหู้แข็งก็ใช้น้ำหนัก 20-100 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 20-30 นาที (สมจิตและเพลินใจ, 2538) หลังจากนั้นยกพิมพ์แช่ลงในน้ำเย็น คราวเต้าหู้ออก การแช่น้ำจะช่วยให้แกะออกจากพิมพ์ได้ง่ายโดยไม่ติดผ้า อย่างไรก็ตาม Beddows และ Wong (1987c) พบว่าน้ำหนักที่ใช้ในการกดทับ เพื่ออัดตะกอน Sliken tofu ที่ดี คือ 4-6 กรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยจะทำให้ผลผลิต ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณของแข็ง และโปรตีนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และลักษณะเต้าหู้ที่ได้เรียบสม่ำเสมอ (ดังตารางที่ 9)

### ตารางที่ 8

อุณหภูมิและปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้ในการเกิดเจลเต้าหู้ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเต้าหู้	สารตกตะกอน	ปริมาณ (% ของน้ำหนักถั่วแห้ง)	อุณหภูมิ (°C)
เต้าหู้แข็ง	สารประกอบคอลลอยด์	3.0	78-85
	แคลเซียมซัลเฟต	2.2	70-75
	แลคโตน	3.0	90
	น้ำมะนาว	21.0	80-90
	น้ำส้ม	16.4	80-90
เต้าหู้อ่อน	สารประกอบคอลลอยด์	3.1	65-68
	แคลเซียมซัลเฟต	2.7	70
เต้าหู้หลอด	แลคโตน	1.0	85-90
	แคลเซียมซัลเฟต	2.0	90
เต้าหู้ยว	แคลเซียมซัลเฟต	2.7	70

ที่มา : เพลินใจ และสมจิต (2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 9

ผลของแรงในการกดทับที่มีผลต่อรูปร่างและคุณสมบัติของ Silken tofu<sup>a</sup>

Pressure (g/cm <sup>2</sup> )	Nett yield (g/g)*	Water held (g/g)*	Tofu analysis		Conversion (bean to tofu %)		Penetration (mm)	Appearance
			Solids (%)	Protein (%)	solids	protein		
0.0	4.08	3.55	12.9	6.96	52.6	68.5	5.9	Soft, watery
3.05	3.49	2.99	14.1	7.75	49.9	66.1	4.4	Soft, watery
4.08	3.57	3.05	14.6	7.73	52.0	66.7	4.6	Smooth
5.10	3.55	3.02	14.9	8.79	53.0	75.2	4.6	Smooth
6.12	3.54	3.06	13.4	7.92	47.5	67.4	4.5	Soft, even
8.12	3.18	2.72	14.6	8.38	47.0	64.4	3.7	Hard, coarse
10.2	2.98	2.50	16.1	8.7	46.6	62.7	3.5	Hard, coarse

\* g/g ของถั่วเหลืองเริ่มต้น

<sup>a</sup> อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลืองที่ 10:1 โดยใช้แคลเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 9-10 มิลลิโมล

ที่มา : Beddows และ Wong (1987c)

#### 5. เต้าหู้หลอด

Kinugoshi Tofu ได้จากการนำน้ำนมถั่วเหลืองมาต้ม เดิมสารตกตะกอน ซึ่งเป็นเต้าหู้ที่ไม่มีการกดทับน้ำเวย์ออกจากตะกอนโปรตีน ผู้บริโภคชาวญี่ปุ่นนิยมรับประทานกันมาก สำหรับในประเทศไทย การทำเจลเต้าหู้ที่ไม่มีการกักน้ำเวย์ออก นิยมบรรจุอยู่ในถุง หรือที่เรียกว่า “เต้าหู้หลอด” ซึ่งกรรมวิธีการผลิตได้จากการนำนมถั่วเหลือง และสารตกตะกอนบรรจุลงในถุงพลาสติกที่ทนความร้อน ขนาดของถุงพลาสติกที่ใช้มีความจุประมาณ 200-300 กรัม หลังจากนั้นผนึกปิดปากถุงให้แน่นก่อนนำไปต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-60 นาที น้ำนมถั่วเหลืองทั้งหมดก็จะแข็งตัวเป็นเจลโดยไม่มีการแยกตัวระหว่างตะกอนโปรตีนกับน้ำเวย์ การทำเต้าหู้บรรจุถุงพลาสติกโดยวิธีนี้เต้าหู้จะสะอาดมาก เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคจะถูกทำลายหมด ให้ความสะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา แม้ว่าจะมีจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้สูงเหลืออยู่บ้างก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศญี่ปุ่นสารตกตะกอนที่เคยนิยมใช้ คือ Nigari (แมกนีเซียมคลอไรด์ที่ได้จากน้ำทะเล) หรือ Sumashiko (แคลเซียมซัลเฟตเตรียมจากยิปซัม) แต่ปัจจุบันโรงงานส่วนใหญ่หันมานิยมใช้กลูโคโนแลคตาแลคโทน (Kohyama และคณะ, 1992) ข้อดีของสารกลูโคโนแลคตาแลคโทน คือ สามารถสกัดเตรียมสารนี้ขึ้นมาได้อย่างบริสุทธิ์ และการใช้ glucono- $\delta$ -lactone ตกตะกอนเตาหู่จะไม่ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง แต่น้ำนมถั่วเหลืองจะเริ่มแข็งตัวภายหลังจากน้ำนมถั่วเหลืองถูกทำให้ร้อนขึ้นเท่านั้น โดย glucono- $\delta$ -lactone จะเกิดการสลายตัวทำให้น้ำนมถั่วเหลืองแข็งตัวเป็นเตาหู่

### ปัญหาของการผลิตและความคิดปกติของเจลโปรตีนถั่วเหลืองแบบบรรจุหลอด

1. การเกิดฟอง ฟองมักเกิดขึ้นเสมอในขณะทำน้ำนมถั่วเหลือง และเป็นปัญหามากในการผลิตเตาหู่หลอด เนื่องจากในขณะที่ทำกรรมถั่วเหลืองที่บดแล้วจะเกิดไอน้ำขึ้น ไอน้ำนี้จะถูกล้อมรอบด้วยของเหลวที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่มีความตึงผิวสูง ทำให้เกิดเป็นฟองที่ไม่แตกง่าย เกิดการสะสมและล้นออกนอกภาชนะ ฟองอากาศนี้เมื่อเข้าไปปะปนอยู่ในเนื้อเตาหู่หลอดจะทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นและลักษณะปรากฏไม่น่ารับประทาน ดังนั้นการป้องกันการเกิดฟองในขณะที่ทำน้ำนมถั่วเหลืองอาจทำได้โดยการเติมสารเคมีที่เรียกว่า “สารระบับฟอง” (defoamer) (ณรงค์, 2528)

2. เตาหู่มีสีคล้ำ สาเหตุเนื่องจากการเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองหรือการเตรียมถั่วเหลืองที่ไม่ถูกต้อง เตาหู่หลอดที่ผลิตจากพันธุ์ สจ.1 และ สจ.2 ซึ่งมีตาสีดำ จะทำให้เตาหู่หลอดมีสีคล้ำ ถ้าจำเป็นต้องใช้ถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์นี้ควรกำจัดเปลือกออกก่อน หรืออาจเกิดจากเก็บถั่วเหลืองไว้นานสีถั่วจะคล้ำลงตามธรรมชาติ เมื่อนำไปทำเตาหู่หลอดก็จะมีสีคล้ำด้วย นอกจากนี้การล้างถั่วที่ไม่สะอาด การแช่ถั่วเหลืองทิ้งเมล็ดจะทำให้มีสีคล้ำ ทำเมื่อนำไปทำเป็นเตาหู่หลอดก็จะได้ลักษณะเตาหู่ที่มีสีคล้ำเช่นกัน

3. การแยกชั้นของน้ำ (syneresis) การแยกชั้นของเตาหู่หลอด อาจพบได้เมื่อเก็บเตาหู่หลอดไว้สักกระยะหนึ่ง ลักษณะนี้อาจเกิดจากการใช้ถั่วที่เก็บไว้นานเกินไป โปรตีนจะละลายออกมาได้น้อย และส่วนที่ละลายออกมาจะไม่อยู่ในรูปสารละลายคอลลอยด์แท้จริง นอกจากนี้ปริมาณของสารตกตะกอนที่ใส่ก็มีความสำคัญมาก ถ้าใส่มากเกินไปโปรตีนจะจับตัวกันแน่น ทำให้เตาหู่มีเนื้อหยาบ และเกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้นาน

4. เนื้อหยาบ และเนื้อนุ่ม และ ลักษณะเนื้อหยาบนี้เกิดจากการใช้ปริมาณของสารตกตะกอนที่มากเกินไป หรือใช้น้ำที่มีความกระด้างสูง เช่น ภูเขา น้ำที่มีเกลือแคลเซียมหรือ

แมกนีเซียมอยู่ ทำให้การตกตะกอนเป็นไปได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน เตาหลอมที่ได้จะมีเนื้อหยาบไม่นำรับประทาน การแก้ไขอาจทำได้โดยการควบคุมปริมาณสารตกตะกอนให้พอเหมาะ และใช้น้ำที่ผ่านการกำจัดความกระด้างมาแล้ว ส่วนลักษณะที่เนื้อมัน และ เป็นลักษณะที่เกิดจากการใช้สารตกตะกอนในปริมาณที่น้อยจนเกินไป หรือ น้ำมันที่สกัดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีปริมาณน้อยเกินไป การแก้ไขทำได้โดยการเพิ่มปริมาณสารตกตะกอน หรือผลิตน้ำมันให้มีความเข้มข้นมากขึ้น

5. การนำเสีย ลักษณะปรากฏให้เห็น คือ มีฟองเกิดขึ้นมาก ลักษณะเช่นนี้อาจเกิดจากการปิดฉนวนที่ไม่สนิท หรือใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อต่ำเกินไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 1. วัสดุคิบ

- 1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60 จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่  
ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่
- 1.2 สารตกตะกอน
  - 1.2.1 กลูโคโนแลคตาแลคโตน (Glucono- $\delta$ -lactone) E.Merck Germany
  - 1.2.2 แคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) E.Merck Germany
  - 1.2.3 แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) E.Merck Germany
- 1.3 สารเคมี
  - 1.3.1 โซเดียมไฮโดรคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) E.Merck Germany

#### 2. อุปกรณ์ในการผลิต

- 2.1 เครื่องปั่นผสมอาหาร (blender) Mx-TIPN(G) National Taiwan
- 2.2 เครื่องชั่งชนิดหยาบ Mettler PE 3000 Switzerland
- 2.3 เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler AE 204 Switzerland
- 2.4 อ่างน้ำร้อน (water bath) DT1/SB 40 D Denmark
- 2.5 เครื่องไมผ้าซีกถั่วเหลือง
- 2.6 ถูพลาสติก (HD) กว้าง 7 ซม. ยาว 23 ซม. บริษัททรงสวัสดิ์จำกัด ถนนราชวงศ์  
แขวงจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพฯ ฯ
- 2.7 ตะแกรงแยกเจิร์ม
- 2.8 ตูเย็น
- 2.9 เตาแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
2.10 หนังกาย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.11 ครีมครีบ
- 2.12 กะละมังสเตนเลส
- 2.13 หมอสเตนเลส
- 2.14 กระจ้อน
- 2.15 กระจบอทดวง 1000 มิลลิลิตร
- 2.16 ปีกเกอร์สเตนเลส 1000 และ 2000 มิลลิลิตร
- 2.17 ปีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
- 2.18 ซอนตักสาร
- 2.19 ตะแกรงสะเด็ดน้ำ
- 2.20 ผ้าขาวบางตาถี่ ขนาดกว้าง 65 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร

### 3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

- |                                     |                                 |                   |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 3.1 เครื่องวัด pH                   | Suntex SP-701                   | Taiwan            |
| 3.2 Refractometer                   | ATAGO N-1                       | Japan             |
| 3.3 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน          |                                 |                   |
| 3.3.1 เครื่องชอย                    | DK 6                            | Italy             |
| 3.3.2 เครื่องกลั่น                  | VAP 30                          | West Germany      |
| 3.4 ตูบลมรอน                        | E 53                            | Germany           |
| 3.5 เครื่องชั่งชนิดละเอียด          | Mettler AB 204                  | Switzerland       |
| 3.6 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส           | Stable Micro System, TAXT-2     | England           |
| 3.7 เครื่องวัดสี                    | CR-300                          | Japan             |
| 3.8 Scanning electron microscope    | JSM-5410LV                      | Japan             |
| 3.9 Critical point dryer            | Samdri-780                      | Japan             |
| 3.10 หัววัดเนื้อสัมผัสขนาด 75 mm    | compression platen              |                   |
| 3.11 แบบพิมพ์กดเจลโปรตีนถั่วเหลือง  | เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร | สูง 2.5 เซนติเมตร |
| 3.12 อุปกรณ์เครื่องแก้วและเคมีภัณฑ์ |                                 |                   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. สถานที่ทดลอง

4.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างภายในเจลเตาหูลอด ใช้เครื่องมือ Scanning electron microscope ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 5. วิธีการ

5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

นำถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่คัดเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ได้แก่ โปรตีน และ ความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (1995) (ภาคผนวก ก.)

5.2 การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเตาหูลอด

5.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เจลเตาหูลอดตัวอย่างจะถูกแกะออกจากถุงอย่างประณีตก่อนใช้แม่พิมพ์ (ดังภาพที่ 3) กดให้มีขนาดความสูง 2.5 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร

5.2.2 การกดทับตัวอย่างแบบ Compression test

ตัวอย่างที่เตรียมจะนำมากดทับด้วยเครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro Systems TA-XT2 จากประเทศ England ดังภาพที่ 4) โดยใช้หัวกดขนาด 75 mm compression platen (ดังภาพที่ 5) ใช้ระยะทางการกดทับ 10 มิลลิเมตร จากความสูงของตัวอย่าง 25 มิลลิเมตร (40 % deformation) ความเร็วในการกดทับ 0.5 มิลลิเมตร ต่อวินาที หัวกดจะกดทับลงบนตัวอย่างแล้วถูกดึงกลับก่อนที่กดทับลงบนตัวอย่างอีกครั้ง ลักษณะของกราฟที่ทำการกดแบบ Compression test จะถูกบันทึกและทำการแปรผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์อย่างอัตโนมัติ

5.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid)

การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำลำถั่ว น้ำแช่ถั่ว และในน้ำนมถั่วเหลือง ใช้เครื่องมือวัด Refractometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 การตรวจสอบคุณภาพของเจลเตาหูหลอด

### 5.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง (Total solid) และปริมาณโปรตีนของเจลเตาหูหลอดตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์โดยวิธี AOAC (1995) (ภาคผนวก ก.)

### 5.4.2 การตรวจสอบทางกายภาพ

#### 5.4.2.1 การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส รายละเอียดดังข้อ 5.2

#### 5.4.2.2 การตรวจวัดสี (Color)

สีของเจลเตาหูหลอดทำการวัดด้วยเครื่องมือวัดสี (CR-300, Japan) โดยวัดในระบบ Hunter แล้วแสดงผลในเทอมของตัวแปร 3 เทอม คือ L, a และ b ซึ่งค่า L (lightness) หมายถึงค่าความสว่าง หรือความขาว ค่า a ที่เป็น + หมายถึง สีที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีแดง ค่า a ที่เป็น - หมายถึง สีที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีเขียว และ ค่า b ที่เป็น + หมายถึง สีที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีเหลือง และค่า b ที่เป็น - หมายถึง สีที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีน้ำเงิน

### 5.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างภายใน (Scanning Electron Microscope)

นำตัวอย่างเจลเตาหูหลอดมาตัดให้มีขนาด  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  เซนติเมตร นำไป fixed ไว้ใน 2.5 % glutaraldehyde ใน 0.1 โมลาร์ phosphate buffer pH 7.2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างไปล้างด้วย phosphate buffer pH 7.2 3 ครั้ง (ครั้งละ 15 นาที) และนำกลั่น ตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไป dehydrated ด้วย alcohol series, 30 %, 50%, 70%, 90 %, 100 %, 100 % และ 100 % (แต่ละความเข้มข้นนานประมาณ 15 นาที) หลังจาก dehydrated แล้ว นำไปทำให้แห้งที่จุดวิกฤติด้วยเครื่อง Critical point dryer โดยใช้ liquid  $\text{CO}_2$  นำตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้งแล้วมาทำการหักให้ออกจากกันโดยธรรมชาติเพื่อมองดูโครงสร้างภายในที่แท้จริง แล้วนำมาติดบน stub ด้วยเทปคาว 2 หน้า นำไปเคลือบทอง ตัวอย่างทั้งหมดทำการวิเคราะห์และถ่ายภาพโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope รุ่น JSM-5410LV จาก Japan

### ภาพที่ 3



แสดงลักษณะของแบบพิมพ์ที่ใช้สำหรับในการกดเจสแต๋นุ่หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

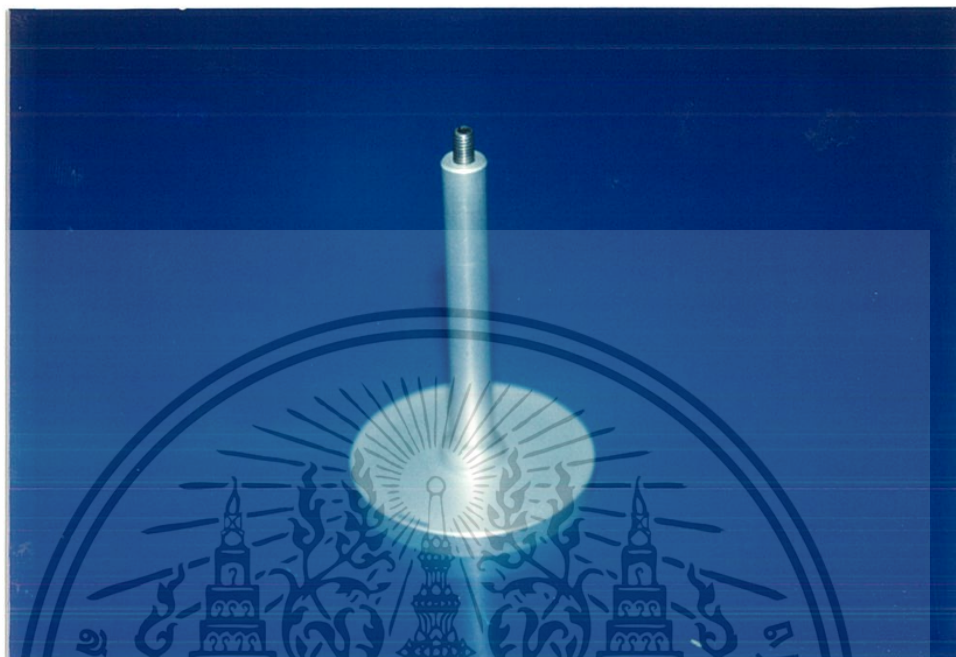
## ภาพที่ 4



แสดงเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5



แสดงลักษณะของหัววัดเนื้อสัมผัส 75 mm compression platen

ภาพที่ 6



แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสีรูน CR-300, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแก้วแห้ง แคลเซียมซิลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแก้วแห้ง และ แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแก้วแห้ง (สมชาย, 2525) และนำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4

#### 5.5.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจล

อุณหภูมิในการให้ความร้อนในการเกิดเจลเตาหุ้หลอดที่ทำการศึกษา มี 4 ระดับ คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียส รายละเอียดการทดลองแสดงดังแผนภูมิที่ 10 และนำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4

#### 5.5.5 การศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อแก้ว ชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน

อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแก้วแห้งที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 8 ระดับ คือ 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 และ 10:1 และในแต่ละระดับใช้สารตกตะกอน 2 ชนิด คือ กลูโคโนแลคตาแลคโตน และ แคลเซียมซิลเฟต โดยปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอนกลูโคโนแลคตาแลคโตนที่ใช้ในการทดลอง คือ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแก้วแห้ง ส่วนระดับความเข้มข้นของแคลเซียมซิลเฟต คือ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแก้วแห้ง รายละเอียดของการทดลองแสดงดังแผนภูมิที่ 11 เจลเตาหุ้หลอดที่ผลิตได้ทุกตัวอย่างนำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4

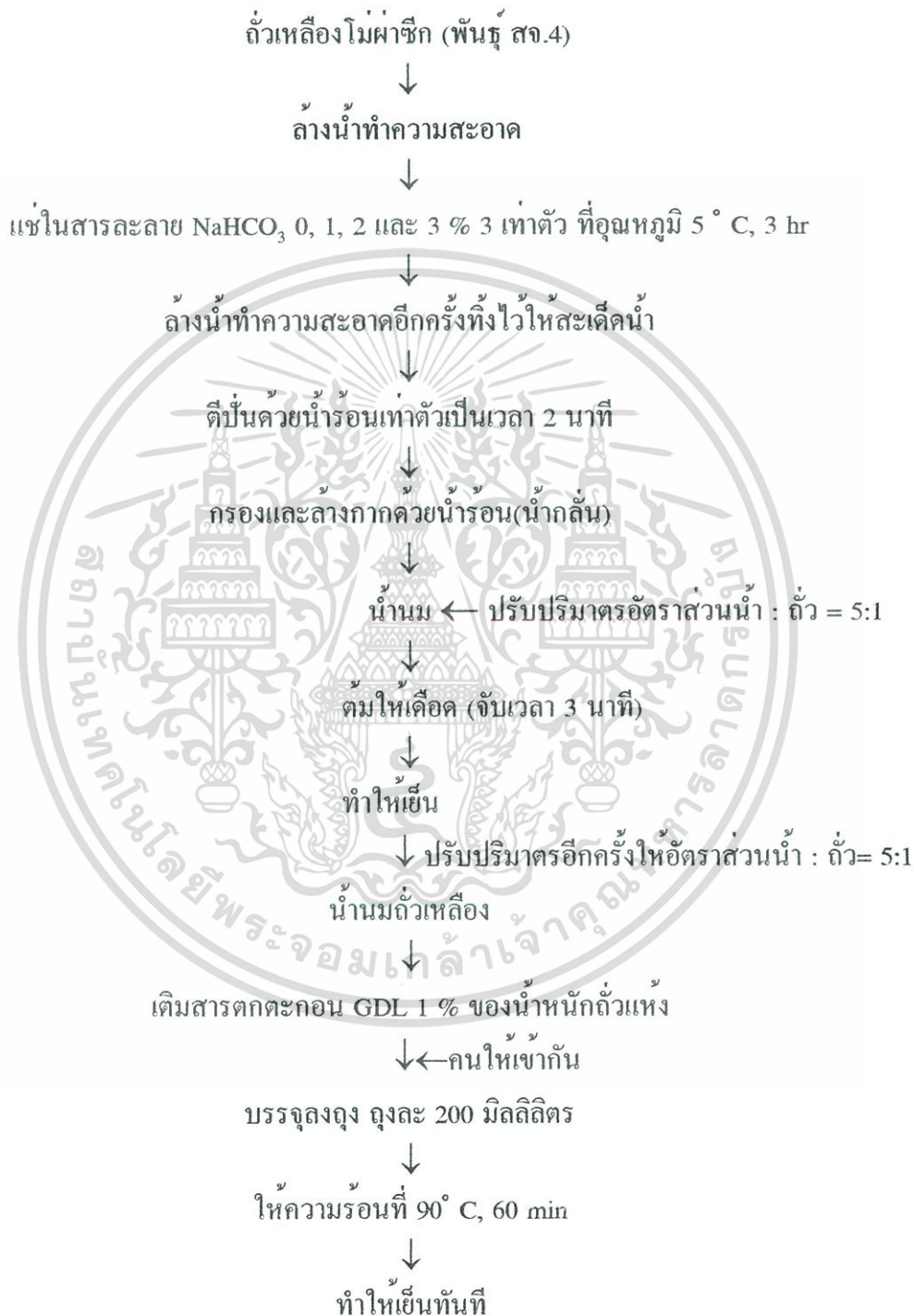
## แผนภูมิที่ 7



แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเต้าหู้หลอด ในการศึกษาอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แผนภูมิที่ 8



แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเต้าหู้หลอด ในการศึกษาผลของปริมาณสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แผนภูมิที่ 9

ถั่วเหลืองโม้ผ่าซีก พันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และ ชม. 60

↓  
ล้างน้ำทำความสะอาด

↓  
แช่ในน้ำกลั่น 3 เท่าตัว ที่อุณหภูมิ 5 ° C, 3 hr

↓  
ล้างน้ำทำความสะอาดอีกครั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

↓  
ต้บ้นด้วยน้ำร้อนเท่าตัวเป็นเวลา 2 นาที

↓  
กรองและล้างกากด้วยน้ำร้อน(น้ำกลั่น)

↓  
นํ้านม ← ปรับปริมาตรอัตราส่วนน้ำ : ถั่ว = 5:1

↓  
ต้มให้เดือด (จับเวลา 3 นาที)

↓  
ทำให้เย็น

↓ ปรับปริมาตรอีกครั้งให้อัตราส่วนน้ำ : ถั่ว= 5:1

↓  
นํ้านมถั่วเหลือง

↓  
เติมสารตกตะกอน GDL 1% หรือ  $\text{CaSO}_4$  2 % หรือ  $\text{CaCl}_2$  3 %

↓ ← คนให้เข้ากัน

↓  
บรรจุลงถุง ถุงละ 200 มิลลิลิตร

↓  
ให้ความร้อนที่ 90 ° C, 60 min

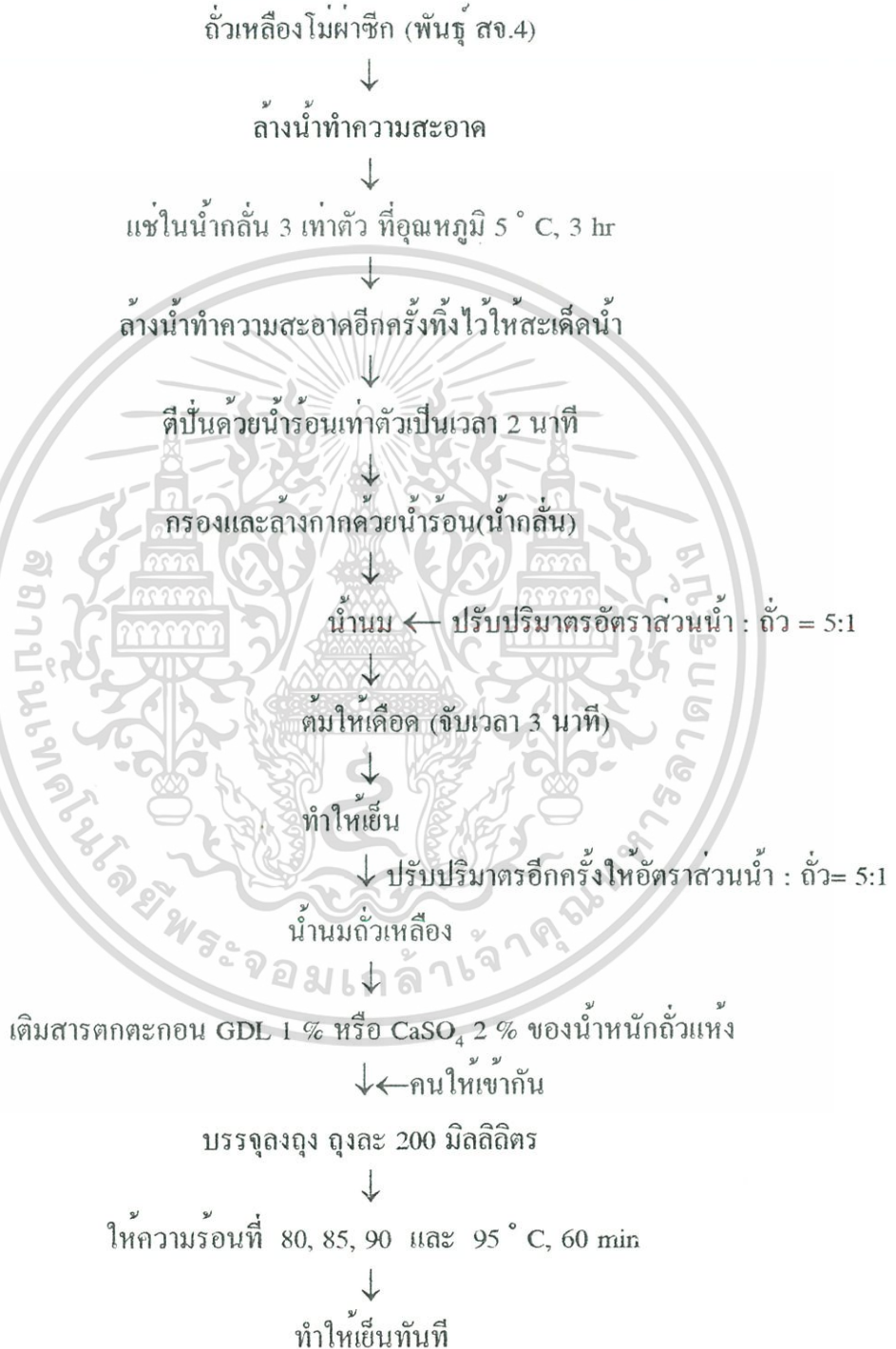
↓  
ทำให้เย็นทันที

แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเต้าหู้หลอด ในการศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการ

แปรรูปและคุณภาพของเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

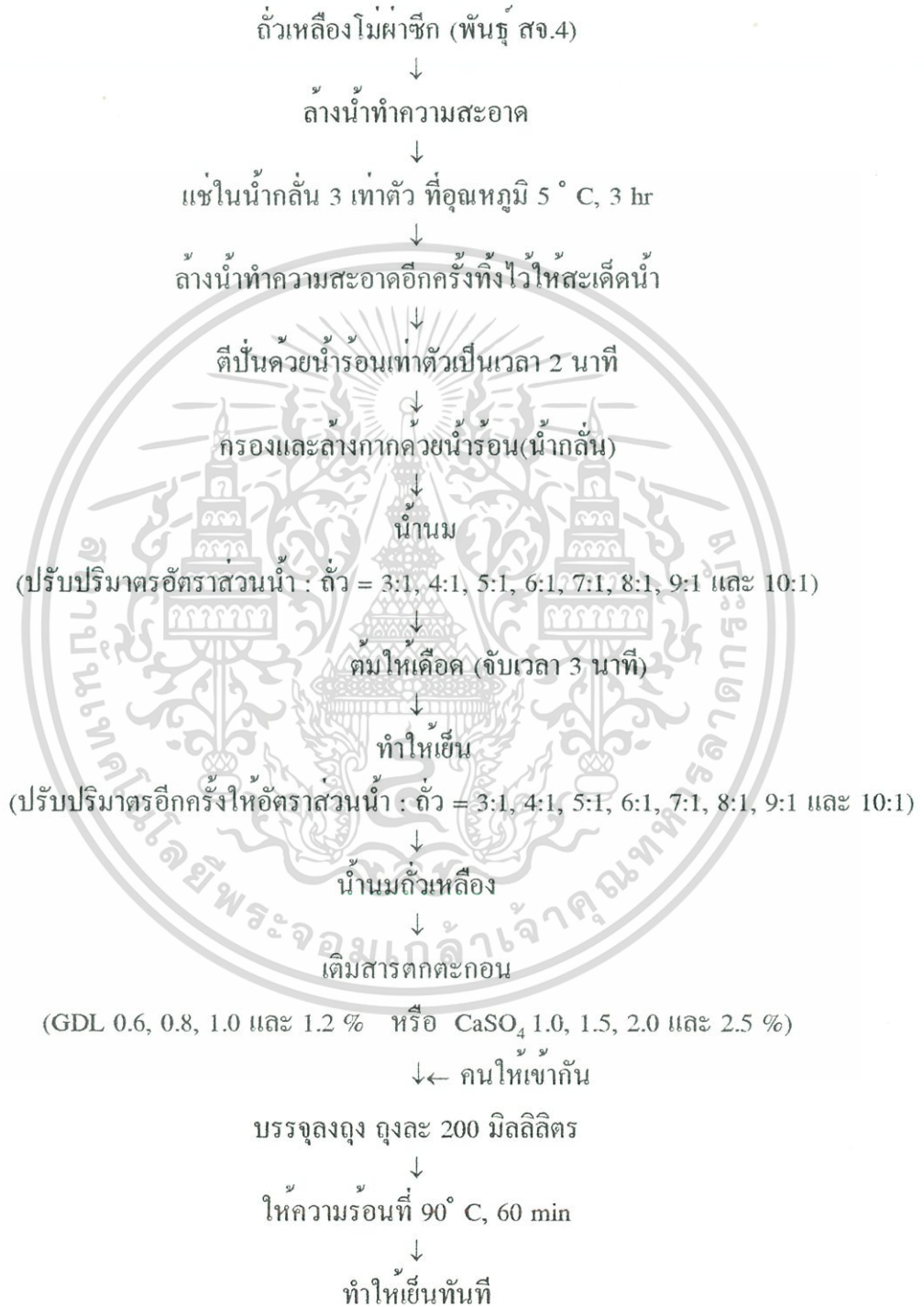
## แผนภูมิที่ 10



แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเต้าหู้หลอด ในการศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อ

เกิดการฟอร์มเจล  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แผนภูมิที่ 11



แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเต้าหู้หลอด ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อ

ถั่ว กับชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ ที่นำมาทำเจลเต้าหู้หลอดพบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 10

#### ตารางที่ 10

แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60

องค์ประกอบทางเคมี	พันธุ์ถั่วเหลือง		
	สจ. 4	สจ. 5	เชียงใหม่ 60
โปรตีน (%) <sup>*</sup>	40.43 ± 0.36	39.24 ± 0.20	38.00 ± 0.26
ความชื้น (%) <sup>*</sup>	13.18 ± 0.25	12.51 ± 0.05	12.68 ± 0.06

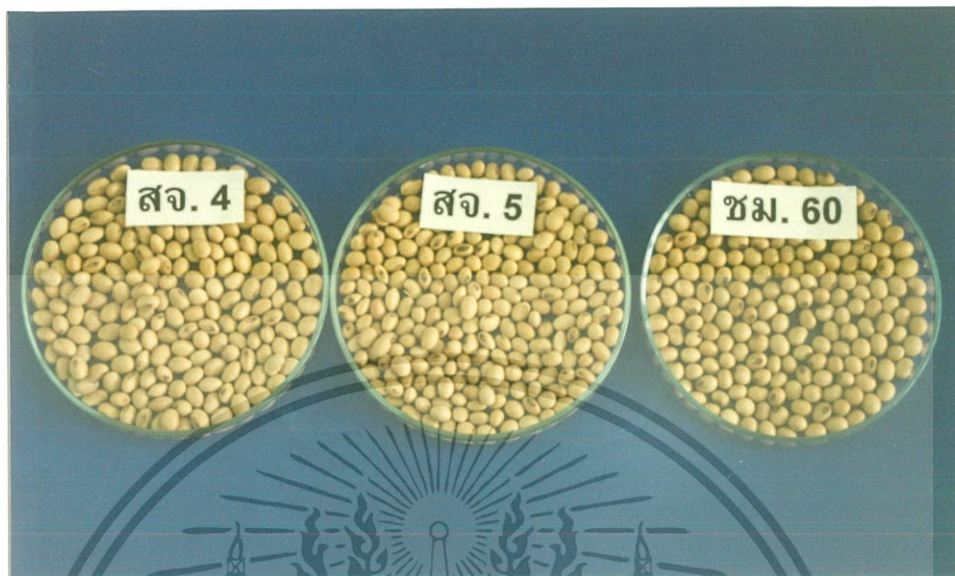
\* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่นำมาทำการทดลองจะมีน้อยกว่าปริมาณโปรตีนในถั่วพันธุ์อื่น ๆ อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองในแต่ละพันธุ์จะขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูก สภาพของฤดูกาลปลูก และวิธีการปลูก

จากภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าลักษณะเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์จะมีความแตกต่างกัน คือ สจ.4 เมล็ดมีลักษณะค่อนข้างกลม ผิวสีเหลืองค่อนข้างดำน คาสีน้ำตาลอ่อน ขนาดเมล็ดใหญ่ สจ.5 เมล็ดค่อนข้างดำนไม่เป็นผิวมัน ตามลึคสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดใหญ่ปานกลาง และ เชียงใหม่ 60 เมล็ดมีลักษณะกลม ผิวเมล็ดเป็นมัน คาสีน้ำตาลเข้ม ขนาดเมล็ดปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 12



แสดงลักษณะของเมล็ดข้าวเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60

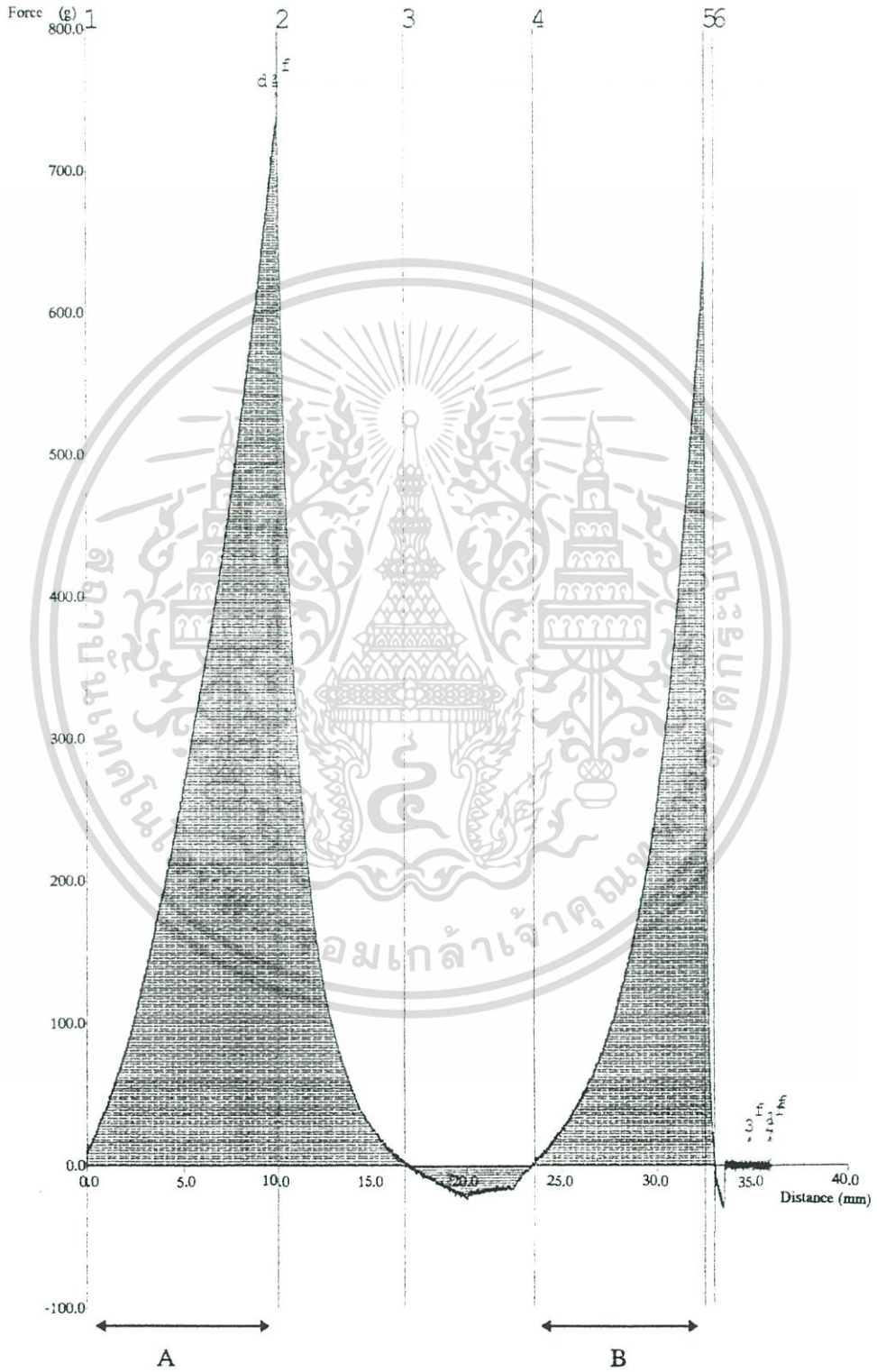
## 2. ผลของการทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด

เจลเต้าหู้หลอดที่ระดับความแข็งและความยืดหยุ่นต่าง ๆ ถูกนำมาตรวจสอบเนื้อสัมผัส โดยการใช้แรงกด (compression test) โดยการทดสอบ หัวกดจะกดทับลงบนเจลลงไปประมาณ 10 มิลลิเมตร (40 % deformation) (Peak ที่ 1 ของกราฟภาพที่ 13) ก่อนที่หัวกดจะถูกดึงกลับ และจะกดทับลงบนเจลอีกครั้ง (Peak ที่ 2 ของกราฟภาพที่ 13) ความแข็ง (Hardness) ของเจลจะอ่านจากค่าแรงสูงสุด (Peak ที่ 1) มีหน่วยเป็นกรัม ส่วนความยืดหยุ่นของเจลจะหาจากอัตราส่วน B/A (ภาพที่ 13)

กราฟภาพที่ 14 แสดงให้เห็นถึง Texture Profiles ของสามตัวอย่างเจลเต้าหู้หลอดที่สุ่มมาจากตัวอย่างเดียวกัน (ลักษณะเนื้อสัมผัสเหมือนกัน) จะเห็นได้ว่ารูปกราฟทั้งสามมีลักษณะใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเจลที่อ่านได้จากกราฟของทุกตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (ข้อมูลไม่ได้แสดง) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างกันโดยการสุ่มตัวอย่างเจลเต้าหู้หลอดที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างกันมาทำการวิเคราะห์ พบว่าเครื่องมือที่ใช้สามารถแยกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสได้อย่างชัดเจน ดังกราฟภาพที่ 15 พบว่า Texture Profiles ของเจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน

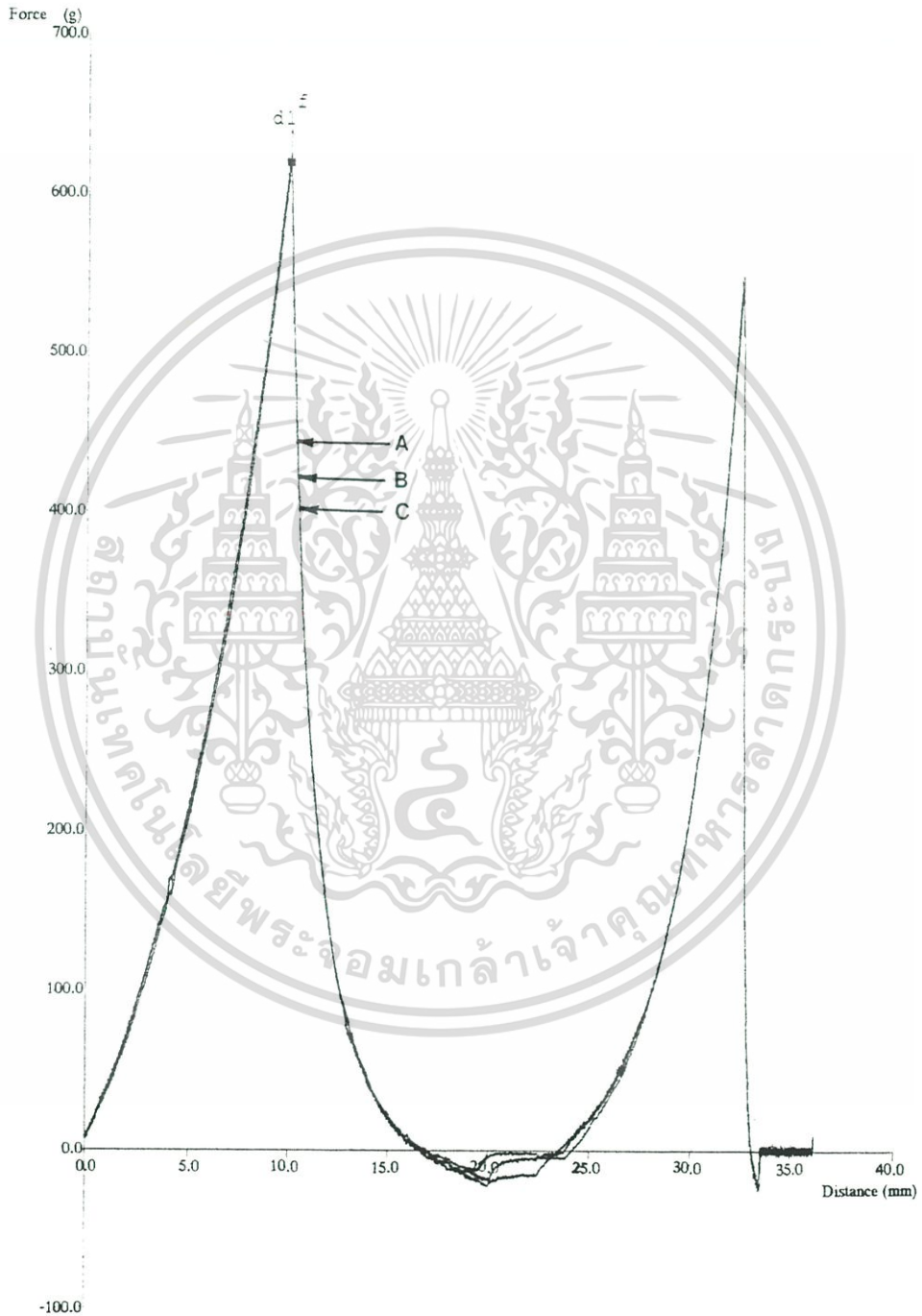
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 18



แสดงลักษณะกราฟ Texture Profiles ของเจลเต้าหู้หลอดที่ทำกรวดโดยเครื่องวัดเนื้อ  
 เอกสารนี้ได้แก่ต้นฉบับ Stable Micro Systems TA-XT2 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

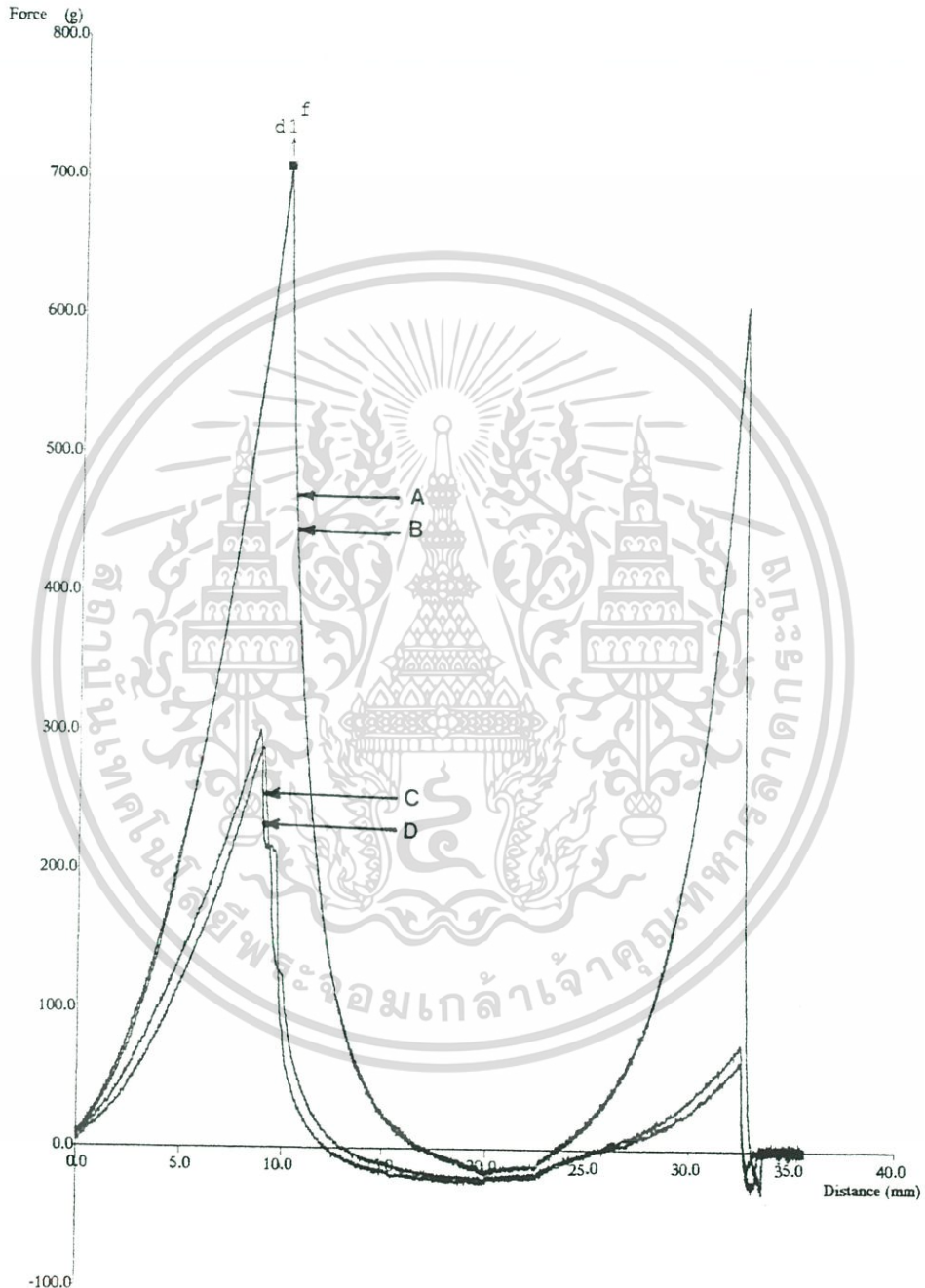
ภาพที่ 14



แสดงลักษณะกราฟ Texture Profiles ของเจลเต้าหู้หลอดที่สุ่มมาจากตัวอย่างเดียวกันที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2; A, B และ C = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 สารตกตะกอน GDL 0.6 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 15



แสดงลักษณะกราฟ Texture Profiles ของเจลเต้าหู้หลอดที่มีความแข็งต่างกันที่ทำการวัด โดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2; A และ B = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1 % อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 5° C; C และ D = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1 % เอกสารนี้เป็นอุทกกรรมในการแช่ถั่วที่ 25° C ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

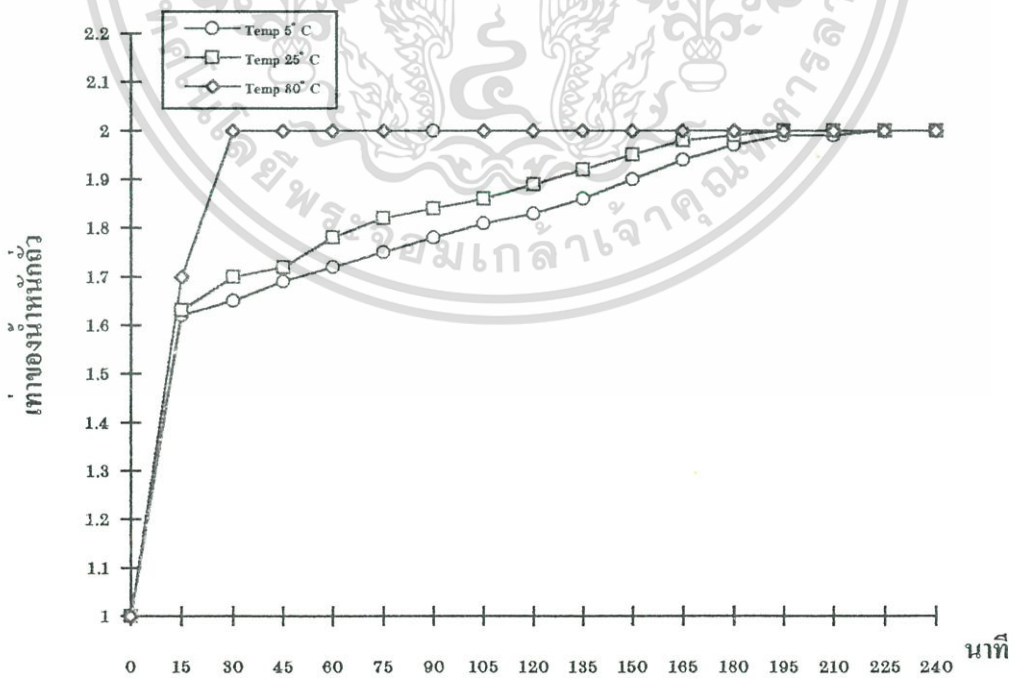
### 3. ผลของปัจจัยที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเต้าน้ำหลอด

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าการล้างถั่วจะมีการสูญเสียปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในถั่วไป 0.4° Brix เมื่อแช่ถั่ว ถั่วจะพองตัวสามารถดูดซับน้ำได้ โดยที่ถั่วจะดูดซับน้ำจนอิ่มตัวมีน้ำหนักประมาณ  $2.0 \pm 0.16$  เท่าของน้ำหนักถั่วเริ่มต้น และจากการทดลองนำถั่วเหลืองทั้งเมล็ด และถั่วเหลืองที่โม่ผ้าซีกแยกเปลือกและเจิร์มออก พบว่า ถั่วเหลืองที่ทำการแช่ทั้งเมล็ดจะให้ลักษณะของน้ำนมที่มีสีคล้ำ มีน้ำแฉะมากกว่าถั่วเหลืองที่ทำการโม่ผ้าซีก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ ณรงค์ (2528)

น้ำที่ใช้ในการบดและล้างกากเป็นน้ำประปาจะทำให้เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้มีลักษณะนิ่ม และ โดยเฉพาะถ้าใช้ GDL เป็นสารตกตะกอน สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากน้ำประปามี อุณหภูมิสูงและมีคลอรีนผสมอยู่ 0.025-2.00 ส่วนในล้านส่วน (ณรงค์, 2528)

#### 3.1 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

ภาพที่ 16



แสดงกราฟของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อชิงรางวัลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟภาพที่ 16 แสดงให้เห็นถึงน้ำหนักของถั่วที่เพิ่มขึ้นเมื่อแช่ไว้ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความอืดตัวของถั่วจะเพิ่มขึ้นเป็นน้ำหนัก 2 เท่าของน้ำหนักถั่วเริ่มต้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 นาที หากทำการแช่ถั่วต่อไปจะพบว่าถั่วมีลักษณะนุ่มยุ่ย และผิวของเมล็ดถั่วที่แช่น้ำจะเหี่ยวยุบ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความอืดตัวของถั่วจะคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และหากทำการแช่ถั่วมากกว่า 24 ชั่วโมงจะพบว่ามีกลิ่นหมักของแอลกอฮอล์เกิดขึ้น และที่อุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียสถั่วจะอืดตัวเมื่อระยะเวลาการแช่ผ่านไป 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมินี้สามารถที่จะแช่ถั่วได้มากกว่า 24 ชั่วโมงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการนำถั่วไปแปรรูปเป็นเจลเตาหูลอด จากการแช่ถั่วที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันนำถั่วที่ได้ไปบดและทำเป็นเจลเตาหูลอดโดยการทดลองใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการทำเจลเตาหูลอด (ณรงค์, 2528) และเป็นพันธุ์ที่จัดว่ามีมากในท้องตลาด และจากการทดลองเบื้องต้น พบว่า อัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการบดต่อถั่วจะอยู่ที่ระดับ 5:1 นั้นเป็นระดับที่มีปริมาณโปรตีนที่สามารถเกิดเจลได้และปริมาณการสูญเสียผลผลิตมีน้อย สอดคล้องกับปณัฎฐาและปริยาพร (2540) โดยสารตกตะกอนที่ใช้เป็น กลูโคโนแลคตาแลคโทนความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง เนื่องจากเป็นระดับที่เหมาะสมในการตกตะกอนของเจลเตาหูลอดและผู้ชิมยอมรับ (สมชาย, 2525) และอุณหภูมิในการให้ความร้อนจะอยู่ในระดับ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาทีเนื่องจากที่อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่สารตกตะกอนกลูโคโนแลคตาแลคโทนสามารถตกตะกอนจนเกิดเจลเตาหูลอดได้ (เพลินใจและสมจิต, 2527)

ลักษณะปรากฏของเจลเตาหูลอดที่ได้จากการแช่ถั่วที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จะนิ่ม และ ไม่สามารถฟอร์มเป็นรูปร่างได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียสจะให้ลักษณะของการเกิดเจลที่ดีได้ โดยเจลที่ได้มีลักษณะเรียบ เนียนและสม่ำเสมอ และจากการนำน้ำนมและเจลเตาหูลอดไปวิเคราะห์จะได้ผลดังตารางที่ 11 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่ยิ่งสูงปริมาณของการสกัดของของแข็งที่ละลายน้ำได้ก็จะน้อยลง สอดคล้องกับ ประชา (2518) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำแช่ถั่วก็จะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่แช่สูงขึ้น จึงเป็นผลให้โปรตีนที่สกัดได้มีปริมาณลดลง เจลของเตาหูลอดที่อุณหภูมิในการแช่ถั่วสูงมีความแข็งแรงน้อยกว่าโดยเฉพาะที่ 80 องศาเซลเซียส ไม่สามารถเกิดการฟอร์มขึ้นรูป สาเหตุอาจจะเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ลดลง เป็นผลให้ปริมาณโปรตีนในก้อนเจลไม่เพียงพอที่จะอุ้มเก็บกักน้ำ whey ไว้ได้หมด ในการทดลองต่อไปจึงเลือกอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ภาพที่ 17



ภาพแสดงผลของอุณหภูมิในการแช่ขี้ผึ้งต่อลักษณะปรากฏของเจลเตาขี้ผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 11

ผลการวิเคราะห์ของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 5, 25 และ 80 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	อุณหภูมิในการแช่ถั่ว (องศาเซลเซียส)*		
	5	25	80
<b>น้านม</b>			
ปริมาณของแข็งในน้ำแช่ถั่ว (° Brix)	4.0 <sup>c</sup>	4.4 <sup>b</sup>	5.0 <sup>a</sup>
ปริมาณของแข็งในน้านม (° Brix)	11.0 <sup>a</sup>	10.0 <sup>b</sup>	7.0 <sup>c</sup>
ปริมาณโปรตีน (%)	5.31 <sup>a</sup>	5.09 <sup>a</sup>	4.70 <sup>b</sup>
<b>เจลเต้าหู้หลอด</b>			
ปริมาณของแข็ง (%)	9.18 <sup>a</sup>	8.86 <sup>b</sup>	8.69 <sup>c</sup>
ปริมาณโปรตีน (%)	5.25 <sup>a</sup>	4.98 <sup>b</sup>	4.56 <sup>c</sup>
อัตราส่วนน้ำ : ของแข็ง	9.89	10.29	10.50
อัตราส่วนน้ำ : โปรตีน	17.30	17.32	20.04
ปริมาณน้ำที่ถูกอุ้มไว้ (g/g dry bean)	0.91	0.91	0.91
ลักษณะเนื้อสัมผัส (g)	725.1 <sup>a</sup>	325.8 <sup>b</sup>	-
ความยืดหยุ่น	0.87 <sup>a</sup>	0.56 <sup>b</sup>	-
ลักษณะปรากฏ	เนื้อเนียนเรียบ สม่ำเสมอ	เนื้อเนียนเรียบ สม่ำเสมอ	นุ่ม ไม่คงตัว เจลที่ได้จับแล้ว และไม่สามารถ ฟอรั่มขึ้นรูป

\* อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักรถั่วแห้ง 5:1 สารตกตะกอน GDL ความเข้มข้น 1 %

<sup>abc</sup> ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8.2 ผลของปริมาณสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการทดลอง พบว่าการเติมสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ลงในน้ำที่แช่ถั่วนั้นจะช่วยให้ น้ำนมมีสีและกลิ่นดีขึ้น (วรรณ, 2522) โดยที่ความเข้มข้นของ  $\text{NaHCO}_3$  ที่สูงจะทำให้ น้ำนมมีสีขาว เหลืองสวย และมีกลิ่นถั่วอ่อนลง แต่เมื่อนำน้ำนมที่ได้ไปเติมสารตกตะกอน GDL 1 % และไปให้ความร้อนเพื่อทำให้เกิดเจล จะพบว่า น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการใช้  $\text{NaHCO}_3$  ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์จะไม่สามารถเกิดการฟอร์มเจล (ตารางที่ 12) เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า  $\text{NaHCO}_3$  ที่ระดับความเข้มข้นยิ่งสูงค่าของ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองก็จะสูงขึ้น (ตารางที่ 13) สภาวะที่เป็นด่างเพิ่มขึ้นของน้ำนม อาจเป็นสาเหตุทำให้เมื่อเติมสารตกตะกอนแล้วไม่เกิดการฟอร์มเจล (Kobayama และคณะ, 1993) การแก้ไขอาจเพิ่มความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL เพื่อเพิ่มประจุบวก โดยได้ทดลองเพิ่มปริมาณของ GDL เป็น 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการใช้  $\text{NaHCO}_3$  1 เปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดการฟอร์มเจลที่มีเนื้อสัมผัสที่ดีได้ แต่การเพิ่มสารตกตะกอนอาจทำให้รสชาติของเจลเต่าหูตลอดที่ได้มีรสขมฝืด

ตารางที่ 12

ผลของสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ในน้ำแช่ถั่วต่อลักษณะปรากฏของเจลเต่าหูตลอด

ปริมาณสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ (%)	ลักษณะปรากฏ
0	เนื้อเนียน ดี เรียบสม่ำเสมอมีความยืดหยุ่นดี
1	ไม่เกิดการฟอร์มเจลของ โปรตีนถั่วเหลือง ยังคงเป็นน้ำนม
2	ไม่เกิดการฟอร์มเจลของ โปรตีนถั่วเหลือง ยังคงเป็นน้ำนม
3	ไม่เกิดการฟอร์มเจลของ โปรตีนถั่วเหลือง ยังคงเป็นน้ำนม

### ตารางที่ 18

ผลการวิเคราะห์ของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ในน้ำแช่ถั่ว

ปริมาณสาร ละลาย $\text{NaHCO}_3$ (%)	การวิเคราะห์		
	ปริมาณของแข็ง ในน้ำแช่ถั่ว (°Brix)	ปริมาณของแข็ง ในน้ำนม (°Brix)	pH
0	4.0	11.0	6.39 <sup>a</sup>
1	4.6	10.4	7.02 <sup>b</sup>
2	4.8	10.0	7.73 <sup>c</sup>
3	5.0	9.0	8.23 <sup>d</sup>

abcd ค่าที่ต่างกันด้วยตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.8 ผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล

ภาพที่ 18, 19 และ 20 แสดงให้เห็นถึงลักษณะปรากฏของเจลเตาหูลอดที่ผลิตจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60 เมื่อใช้สารตกตะกอนแคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์, แคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์ และกลูโคโนแลคโตส 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง ตามลำดับ พบว่า ทุกพันธุ์เมื่อใช้สารตกตะกอนแคลเซียมคลอไรด์ ( 3 % ) ไม่สามารถทำให้เกิดการฟอร์มเจล แต่มีลักษณะเป็นเพียงทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน การเพิ่มหรือลดปริมาณเป็น 3.5 หรือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน การเพิ่มปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์หรือเกลือมากเกินไป อาจไปทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง ทำให้โปรตีนตกตะกอนลงอย่างรวดเร็ว การแก้ไขอาจลดปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ หรือแคลเซียมคลอไรด์อาจเหมาะสมกับการผลิตเตาหูลที่ต้องการกำจัดเอาน้ำเวย์ออกเพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่แข็งแรง (Saio, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 18



แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเตาหู้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนแคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 19



แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเตาหู้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 20



แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนแคลกลูโคโนแลคตา-แลคโตน 1 เปอร์เซ็นต์

ในกรณีของแคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากับ 5:1 จะไม่สามารถเกิดการฟอร์มเจลที่ดีได้ (ภาพที่ 19) แต่เกิดลักษณะของเจลอ่อน (weak curd) ที่ไม่สามารถอุ้มน้ำเวย์ได้ ถึงแม้จะลดปริมาณของแคลเซียมซัลเฟตเป็น 1 เปอร์เซ็นต์ หรือเพิ่มเป็น 2.5 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งได้ผลสัมพันธ์กับตารางที่ 10 กล่าวคือปริมาณโปรตีนในน้ำนมของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่าที่สูงสุด (ตารางที่ 14) เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองพันธุ์อื่น ( $P < 0.05$ ) ปริมาณโปรตีนที่ต่ำที่สุดได้ในน้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 อาจเป็นผลทำให้เกิดเจลอ่อนไม่สามารถอุ้มน้ำเวย์ได้ การลดปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อถั่วอาจสามารถทำให้เกิดการฟอร์มเจลได้ โดยผู้วิจัยได้ทดลองลดอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเป็น 4:1 เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในน้ำนมแล้วนำไปตกตะกอนด้วย  $\text{CaSO}_4$  2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถเกิดเจลเต้าหู้หลอดที่มีลักษณะดีได้

อย่างไรก็ตามในกรณีของ GDL (1%) ถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์สามารถทำให้เกิดการฟอร์มเจลเต้าหู้หลอดได้ ความแตกต่างระหว่างผลการทดลองของ GDL และแคลเซียมซัลเฟตจะอธิบายในส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 14

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และเชียงใหม่ 60

การวิเคราะห์	พันธุ์ถั่วเหลือง**		
	สจ. 4	สจ. 5	เชียงใหม่ 60
ปริมาณของแข็ง (° Brix)*	11.0 <sup>a</sup>	10.0 <sup>b</sup>	9.0 <sup>c</sup>
ปริมาณโปรตีน (%)*	5.31 <sup>a</sup>	5.12 <sup>a</sup>	4.70 <sup>b</sup>

\* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

\*\* น้ำนมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1

<sup>abc</sup> ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพ และลักษณะปรากฏของเจลเตาหุ้ลลอดที่ได้จากถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ (ตารางที่ 15) พบว่าเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 จะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากพันธุ์อื่น ๆ ไม่ว่าจะใช้สารตกตะกอน GDL หรือแคลเซียมซัลเฟต (ภาพที่ 21) ความแข็งแรงของเจลนอกจากจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนมแล้ว ยังอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนม ปริมาณของ 7S และ 11S globulin ค่า hydrophobicity ของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ รวมทั้งโครงสร้างของโปรตีนจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 อาจจะช่วยอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์อื่น ในเรื่องของสี (ตารางที่ 16) เจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 จะมีความขาวสว่าง (L) มากกว่า ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 เพราะนอกจากจะให้เจลที่มีเนื้อสัมผัสแข็งยืดหยุ่นแล้วยังเป็นพันธุ์ที่มีขายกันมากในท้องตลาด

ตารางที่ 15

ผลการวิเคราะห์เจลเตาหุ้ลออกจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60  
เมื่อใช้และสารตกตะกอน GDL หรือ CaSO<sub>4</sub>

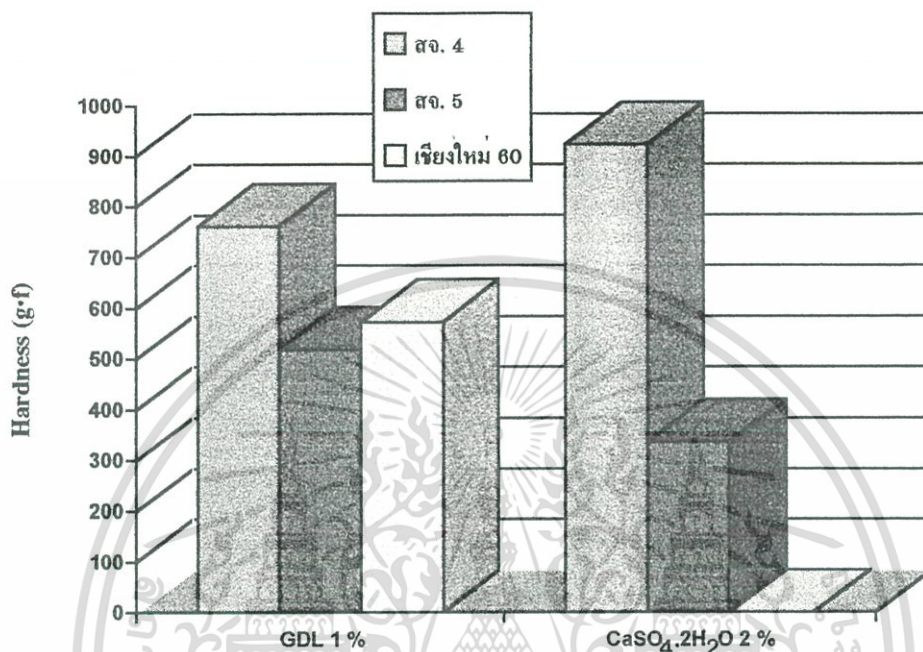
ชนิดสาร ตกตะกอน	การวิเคราะห์	พันธุ์ถั่วเหลือง		
		สจ. 4	สจ. 5	ชม. 60
GDL 1 %	ปริมาณน้ำที่ถูกอุมไ้ (g/g dry bean)*	0.89	0.89	0.90
	ปริมาณของแข็ง (%)*	10.69	10.64	9.58
	ปริมาณโปรตีน (%)**	5.30 <sup>a</sup>	5.11 <sup>a</sup>	4.76 <sup>b</sup>
	อัตราส่วนน้ำ : ของแข็ง	8.35	8.40	9.44
	อัตราส่วนน้ำ : โปรตีน	16.84	17.50	18.99
	ลักษณะเนื้อสัมผัส (g)***	761.4 <sup>a</sup>	518.3 <sup>b</sup>	572.9 <sup>b</sup>
	ความยืดหยุ่น***	0.85 <sup>a</sup>	0.82 <sup>ab</sup>	0.80 <sup>b</sup>
CaSO <sub>4</sub> 2 %	ปริมาณน้ำที่ถูกอุมไ้ (g/g dry bean)*	0.89	0.89	-
	ปริมาณของแข็ง (%)*	11.35	10.96	-
	ปริมาณโปรตีน (%)**	5.35 <sup>a</sup>	5.02 <sup>a</sup>	-
	อัตราส่วนน้ำ : ของแข็ง	7.81	8.12	-
	อัตราส่วนน้ำ : โปรตีน	16.57	17.72	-
	ลักษณะเนื้อสัมผัส (g)***	923.9 <sup>a</sup>	377.1 <sup>b</sup>	-
	ความยืดหยุ่น***	0.86 <sup>a</sup>	0.59 <sup>b</sup>	-

<sup>abc</sup> ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

- \* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 9 ซ้ำ
- \*\* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ
- \*\*\* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 10 ซ้ำ
- ไม่เกิดการฟอร์มเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 21



แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเตาหุหลอดที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 16

ผลการวัดค่าสีของเจลเตาหูหลอจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60  
เมื่อใช้และสารตกตะกอน GDL หรือ  $\text{CaSO}_4$

สารตกตะกอน	พันธุ์ถั่วเหลือง	ค่าของการวัดสี		
		L	a	b
GDL 1 %	สจ. 4	89.1 <sup>a</sup>	+0.40 <sup>a</sup>	+12.2 <sup>c</sup>
	สจ. 5	87.3 <sup>c</sup>	+0.49 <sup>a</sup>	+13.1 <sup>b</sup>
	เชียงใหม่ 60	88.4 <sup>b</sup>	+0.39 <sup>a</sup>	+13.3 <sup>a</sup>
$\text{CaSO}_4$ 2 %	สจ. 4	90.7 <sup>a</sup>	+0.15 <sup>b</sup>	+12.0 <sup>b</sup>
	สจ. 5	89.5 <sup>b</sup>	+0.38 <sup>a</sup>	+13.2 <sup>a</sup>
	เชียงใหม่ 60	—*	—*	—*

abc ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยอักษรต่างกันในแต่ละแถวของสารตกตะกอนเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

\* ไม่เกิดการฟอรัมเจล

#### 3.4 ผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอรัมเจล

ในการศึกษาถึงอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอรัมเจลของเตาหูหลอ โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 ที่ระดับอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 5:1 พบว่า อุณหภูมิที่ทำการศึกษา คือ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียสสามารถทำให้เกิดการฟอรัมเจลของเตาหูหลอ ผลการวิเคราะห์ทางด้านองค์ประกอบ (ตารางที่ 17) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในสารตกตะกอนชนิดเดียวกัน

ส่วนเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 18) พบว่าในสารตกตะกอน GDL หรือ  $\text{CaSO}_4$  ที่อุณหภูมิ 90 หรือ 95 องศาเซลเซียส เจลจะมีความแข็งกว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 85 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 22) เนื่องมาจากการให้ความร้อนที่น้อยเกินไปหรือที่อุณหภูมิต่ำแก่โปรตีนถั่วเหลือง อาจทำให้โปรตีนถั่วเหลืองถูกทำลายสภาพธรรมชาติได้น้อย ส่งผลให้โครงสร้าง Quaternary structure ของ fractions 7S และ 11S ที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนถั่วเหลืองเกิดการคลายตัวได้น้อยลง ซึ่งการฟอรัมเจลของโปรตีนถั่วเหลืองจะเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับโมเลกุลของ 7S และ 11S globulin (Kohyama และคณะ, 1995) ดังนั้นจึงทำให้เจลที่ได้มีลักษณะนิ่ม

### ตารางที่ 17

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลเตาหูหลอดเมื่อให้ความร้อน เพื่อเกิดการฟอร์มเจลที่อุณหภูมิในระดับต่าง ๆ

ชนิดของสารตกตะกอน	อุณหภูมิของการเกิดเจล (°C)	ปริมาณน้ำที่ถูกอุ้มไว้ (g/g dry bean)	การวิเคราะห์เจลเตาหูหลอด		อัตราส่วนในการเกิดเจลเตาหูหลอด	
			ของแข็ง (%)	โปรตีน (%)	น้ำ : ของแข็ง	น้ำ : โปรตีน
GDL 1 %	80	0.89 <sup>a</sup>	10.5 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	8.5	15.9
	85	0.89 <sup>a</sup>	10.6 <sup>a</sup>	5.4 <sup>a</sup>	8.4	16.6
	90	0.90 <sup>a</sup>	10.4 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	8.6	15.7
	95	0.89 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	8.0	14.9
CaSO <sub>4</sub> 2 %	80	0.88 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	7.6	15.9
	85	0.89 <sup>a</sup>	10.9 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	8.2	15.2
	90	0.89 <sup>a</sup>	11.2 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	8.0	14.8
	95	0.89 <sup>a</sup>	11.2 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	8.0	17.3

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งของสารตกตะกอนเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม Beddows และ Wong (1987b) พบว่าหากให้ความร้อนแก่โปรตีนถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 100 องศาเซลเซียส) จะทำให้โปรตีน 7S และ 11S ถูกทำลายสภาพทางธรรมชาติมากยิ่งขึ้น เป็นผลให้ Cystein และ Methionine สูญเสียไปส่งผลถึงการเกิดเจลของโปรตีนที่เกิดจากการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลของ Disulfide bonds และ Sulfhydryl disulfide interchange ที่ช่วยให้เกิดการอยู่ตัวของ Protein network และ Intramolecular bonding ลดลงทำให้เจลที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มเช่นเดียวกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

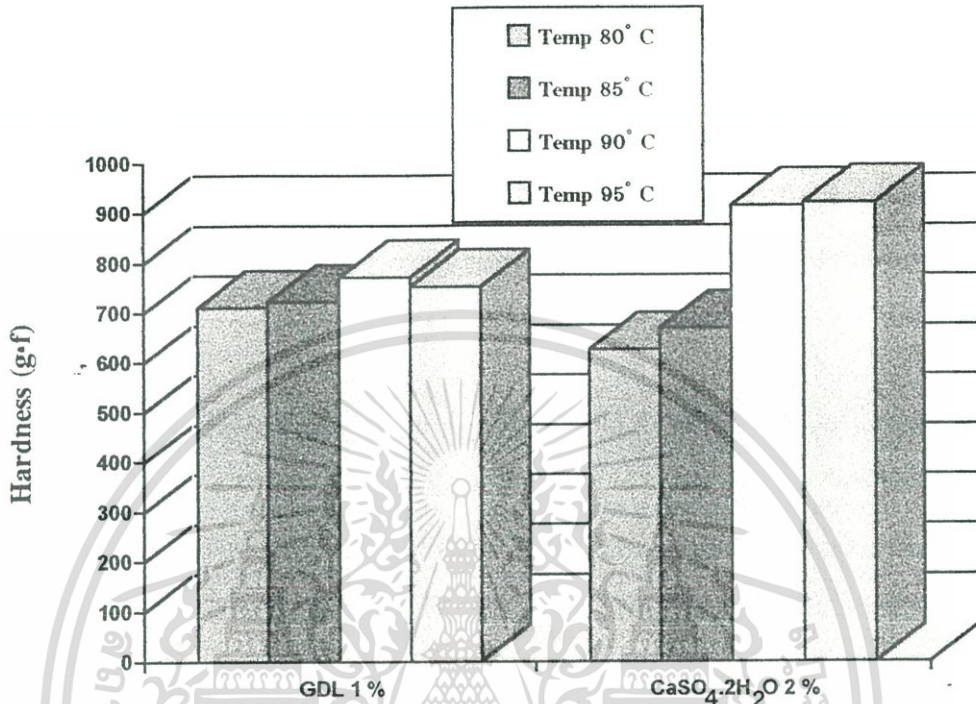
ตารางที่ 18  
ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของเจลเตาหูหลอดเมื่อให้ความร้อนเพื่อเกิดการพอร์มเจล  
ที่อุณหภูมิในระดับต่าง ๆ

ชนิดของสาร ตกตะกอน	อุณหภูมิการ เกิดเจล(°C)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		ค่าการวัดสี		
		ความแข็ง (กรัม)	ความ ยืดหยุ่น	L	a	b
GDL 1 %	80	710.5 <sup>c</sup>	0.84 <sup>a</sup>	90.0 <sup>a</sup>	+0.30 <sup>b</sup>	+12.6 <sup>b</sup>
	85	721.8 <sup>c</sup>	0.85 <sup>a</sup>	89.1 <sup>a</sup>	+0.29 <sup>b</sup>	+12.4 <sup>b</sup>
	90	771.2 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	88.5 <sup>b</sup>	+0.41 <sup>a</sup>	+13.8 <sup>a</sup>
	95	751.5 <sup>b</sup>	0.87 <sup>a</sup>	88.8 <sup>a</sup>	+0.32 <sup>b</sup>	+13.6 <sup>a</sup>
CaSO <sub>4</sub> 2 %	80	625.5 <sup>c</sup>	0.86 <sup>a</sup>	90.0 <sup>c</sup>	+0.17 <sup>b</sup>	+13.7 <sup>a</sup>
	85	667.9 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	90.5 <sup>b</sup>	+0.54 <sup>a</sup>	+12.5 <sup>b</sup>
	90	912.8 <sup>a</sup>	0.83 <sup>b</sup>	90.9 <sup>a</sup>	+0.22 <sup>b</sup>	+12.6 <sup>b</sup>
	95	919.7 <sup>a</sup>	0.84 <sup>b</sup>	91.2 <sup>a</sup>	+0.10 <sup>b</sup>	+13.4 <sup>a</sup>

abc ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งของสารตกตะกอนเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 22



แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเตาหูลอดที่ได้จากอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลที่ระดับต่าง ๆ

### 3.5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดหรือปริมาณสารตกตะกอน

จากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าอัตราส่วนน้ำที่ระดับ 3 ต่อถั่วแห้ง 1 จะทำให้มีปริมาณของแข็งค้างอยู่ในถั่วเป็นปริมาณมากทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตค่อนข้างสูง และเมื่อนำน้ำนมมาทำเป็นเจลเตาหูลอด พบว่า ลักษณะเนื้อของเจลที่ได้มีเนื้อหยาบและร่วนจำนวนมาก ส่วนที่ระดับ 9 และ 10 ต่อถั่วแห้ง 1 ไม่เกิดการฟอร์มเจล ดังนั้นอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ทำการศึกษาต่อไปคือ 4, 5, 6, 7 และ 8 ต่อถั่วแห้ง 1 และได้ทำการวิเคราะห์ผลแสดงดังตารางที่ 19

จากตารางที่ 19 จะเห็นได้ว่า ถาลดปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อถั่วลง ปริมาณของแข็งและปริมาณ โปรตีนในน้ำนมจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อนำน้ำนมไปเติมสารตกตะกอนเพื่อทำเป็นเจลเตาหูลอดพบว่า ความสามารถในการเกิดเจลขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วและปริมาณสารตกตะกอน ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากันของสารตกตะกอนชนิดเดียวกันจากลักษณะปรากฏ พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับอาจารย์ผู้วางเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มานั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าถ้าอัตราส่วนของน้ำในสูตรที่ใช้สูงจะทำให้ได้ลักษณะเจลที่นุ่ม มีการแยกชั้นของน้ำ (Syneresis) สูง (ภาคผนวก ข.) (ภาพที่ 23 และ 24) โดยเฉพาะถ้าปริมาณสารตกตะกอนที่ใช้ต่ำ อาจทำให้ไม่เกิดการฟอร์มเจล (ตารางที่ 20) ตัวอย่างเช่น ที่ระดับอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 7:1 ถ้าใช้ GDL 0.6 % หรือที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 8:1 ถ้าใช้ GDL 0.6-1.0 % ไม่สามารถทำให้เกิดการฟอร์มเจลที่ดีได้ การแก้ไขทำได้โดยเพิ่มปริมาณสารตกตะกอน ดังเช่นที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 8:1 ถ้าเพิ่ม GDL เป็น 1.2 % เริ่มมีการฟอร์มเป็นเจลแต่หูละเอียด แต่เจลที่ได้ไม่แข็งแรง นุ่มมาก การเพิ่มปริมาณสารตกตะกอนให้สูงขึ้นอาจทำให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าถ้าปริมาณสารตกตะกอนของ GDL สูงกว่า 1.2 % หรือ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  สูงกว่า 2.5 % ทำให้เกิดรสมเค็ม

#### ตารางที่ 19

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ระดับต่าง ๆ

อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว	น้ำนม	
	ปริมาณของแข็ง (%)	ปริมาณโปรตีน (%)
4 : 1	13 <sup>a</sup>	6.78 <sup>a</sup>
5 : 1	11 <sup>b</sup>	5.48 <sup>b</sup>
6 : 1	10 <sup>c</sup>	5.08 <sup>c</sup>
7 : 1	9 <sup>d</sup>	4.41 <sup>d</sup>
8 : 1	7.7 <sup>e</sup>	3.87 <sup>e</sup>

<sup>abcde</sup> ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ความแข็งแรงของเจล (กรัม) เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วและปริมาณสารตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารตกตะกอน GDL และ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  แสดงในภาพที่ 25 และ 26 ตามลำดับ เช่นเดียวกับลักษณะปรากฏที่สังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเจล (ตารางที่ 21) จะลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีนที่มีในเจลแต่หูละเอียด (ตารางที่ 23) ไม่ว่าจะเป็นสารตกตะกอน GDL หรือ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ปริมาณโปรตีนจะลดลงเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า  
 อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนหรือปริมาณของแข็งที่พบในเจลแต่หูละเอียดจะ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแข็งแรงของเจล ปริมาณโปรตีนที่ต่ำอาจมีส่วนทำให้โครงสร้างร่างแห (network) ของเจลไม่แข็งแรง ที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่เท่ากันลักษณะเนื้อสัมผัสจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวตกตะกอน คือ หากมีการเพิ่มความเข้มข้นของตัวตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  จาก 1 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 2.5 เปอร์เซ็นต์ หรือการเพิ่ม GDL 0.6 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 1.2 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงของเจลก็จะเพิ่มมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการออกแรงกดเจลเตาหูลอดที่ได้จาก GDL และ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  พบว่าสามารถให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง 5:1 GDL 1.0 % กับ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  1.5 % ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากการกดใกล้เคียงกันคือประมาณ 780 กรัม ค่าความยืดหยุ่นที่คำนวณได้เท่ากับ 0.86 และเมื่อนำเจลเตาหูลอดทั้งสองไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี Triangle test (ภาคผนวก ง.) พบว่าผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างของเจลทั้งสอง ในทำนองเดียวกัน Kohyama และคณะ (1995) ได้ศึกษากลไกการเกิดเจลของเตาหูโดยสารตกตะกอน GDL และ  $\text{CaSO}_4$  โดยการทดสอบคุณสมบัติทางด้าน Rheology พวกเขาพบว่าโครงสร้างของเจลที่ได้จาก  $\text{CaSO}_4$  ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางด้าน Rheology มีลักษณะใกล้เคียงกับเจลของ GDL กล่าวคือ ค่า Saturated Storage Modulus ของนํ้านมถั่วเหลือง 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ GDL 20 mM และ  $\text{CaSO}_4$  30 mM มีค่าใกล้เคียงกัน

โดยอาศัยกราฟความล้มพันธุในภาพที่ 25 และ 26 การปรับอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อถั่วกับชนิดหรือปริมาณสารตกตะกอน สามารถใช้ผลิตเจลเตาหูลอดที่มีเนื้อสัมผัสที่ต้องการได้ เช่น ถ้าต้องการผลิตเจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง (ประมาณ 923 กรัม) สามารถเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 GDL 1 % หรือ  $\text{CaSO}_4$  2 % หรือที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1.2 % หรือ  $\text{CaSO}_4$  2.5 %

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของค่าการวัดสี อัตราส่วนน้ำที่แตกต่างกัน แต่เป็นสารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่าค่าความขาว (L) จะไม่แตกต่างกัน หากเปรียบเทียบระหว่างสารตกตะกอน GDL กับ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  พบว่าเจลที่ได้จาก  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  จะมีค่าความสว่าง หรือความขาว (L) มากกว่า GDL

ภาพที่ 23



แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 8:1 โดยใช้สารตกตะกอน GDL ที่ระดับความเข้มข้น 1.2 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 24



แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 8:1 โดยใช้สารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 20**  
**แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว**  
**กับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ**

อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	ลักษณะปรากฏ
4 : 1	GDL	0.6	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		0.8	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
5 : 1	GDL	0.6	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีลักษณะนุ่ม มีสีขาว
		0.8	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
6 : 1	GDL	0.6	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีลักษณะนุ่มมาก
		0.8	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

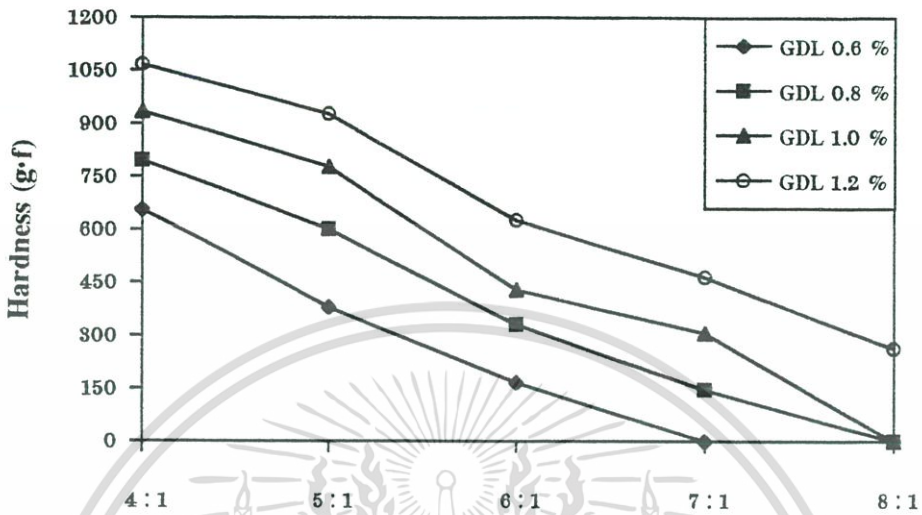
ตารางที่ 20 (ต่อ)

แสดงลักษณะปรากฏของเจลเตาหุ้ลอคเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว  
กับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	ลักษณะปรากฏ
6 : 1	CaSO <sub>4</sub>	1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีลักษณะนุ่มมาก
		1.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
7 : 1	GDL	0.6	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้นุ่มมาก จับแล้วละทันที
		0.8	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีลักษณะนุ่มมาก
		1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีลักษณะนุ่ม
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.0	เนื้อหยาบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.5	เนื้อหยาบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
8 : 1	GDL	0.6	ไม่เกิดการฟอร์มเจลที่ดี และ
		0.8	เกิดการฟอร์มเจลไม่ดี เนื้อนุ่มมากจับไม่ได้ และ
		1.0	เกิดการฟอร์มเจลไม่ดี เนื้อนุ่มมากจับแล้วและ
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้นุ่มมากต้องประคอง
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	ไม่เกิดการฟอร์มเจลที่ดี และจับไม่ได้
		1.5	เนื้อหยาบนุ่มต้องประคอง มีสีขาว
		2.0	เนื้อหยาบ นุ่ม มีสีขาว
		2.5	เนื้อหยาบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว

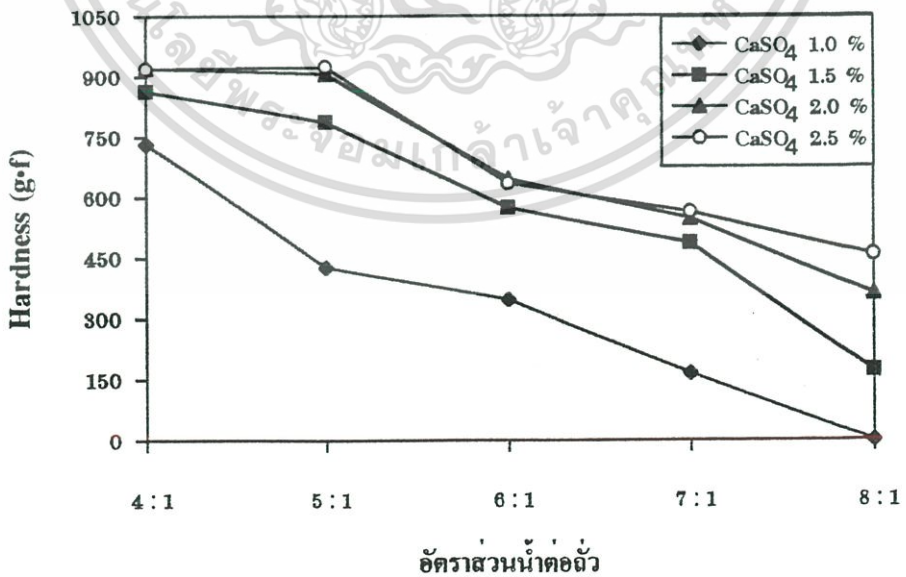
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 25



แสดงกราฟค่าความแข็งของเจล ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL

ภาพที่ 26



แสดงกราฟค่าความแข็งของเจล ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณเอกสารนี้ ความเข้มข้นของสารตกตะกอน CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 21

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการกดของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้  
อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	Force (g)	Springeness
4 : 1	GDL	0.6	655.8 <sup>f</sup>	0.88 <sup>ab</sup>
		0.8	796.0 <sup>d</sup>	0.89 <sup>a</sup>
		1.0	933.0 <sup>b</sup>	0.89 <sup>a</sup>
		1.2	1067.4 <sup>a</sup>	0.88 <sup>ab</sup>
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	732.7 <sup>c</sup>	0.88 <sup>b</sup>
		1.5	863.8 <sup>c</sup>	0.87 <sup>abc</sup>
		2.0	920.7 <sup>b</sup>	0.87 <sup>bc</sup>
		2.5	918.5 <sup>b</sup>	0.85 <sup>c</sup>
5 : 1	GDL	0.6	379.2 <sup>e</sup>	0.58 <sup>c</sup>
		0.8	600.1 <sup>c</sup>	0.85 <sup>ab</sup>
		1.0	777.3 <sup>b</sup>	0.87 <sup>a</sup>
		1.2	925.7 <sup>a</sup>	0.85 <sup>ab</sup>
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	427.0 <sup>d</sup>	0.82 <sup>b</sup>
		1.5	786.1 <sup>b</sup>	0.86 <sup>ab</sup>
		2.0	907.0 <sup>a</sup>	0.86 <sup>ab</sup>
		2.5	923.7 <sup>a</sup>	0.86 <sup>ab</sup>
6 : 1	GDL	0.6	166.5 <sup>e</sup>	0.37 <sup>d</sup>
		0.8	330.2 <sup>d</sup>	0.60 <sup>c</sup>
		1.0	428.1 <sup>c</sup>	0.78 <sup>b</sup>
		1.2	625.0 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการกดของเจลเต่าหูหลอดเมื่อใช้

อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

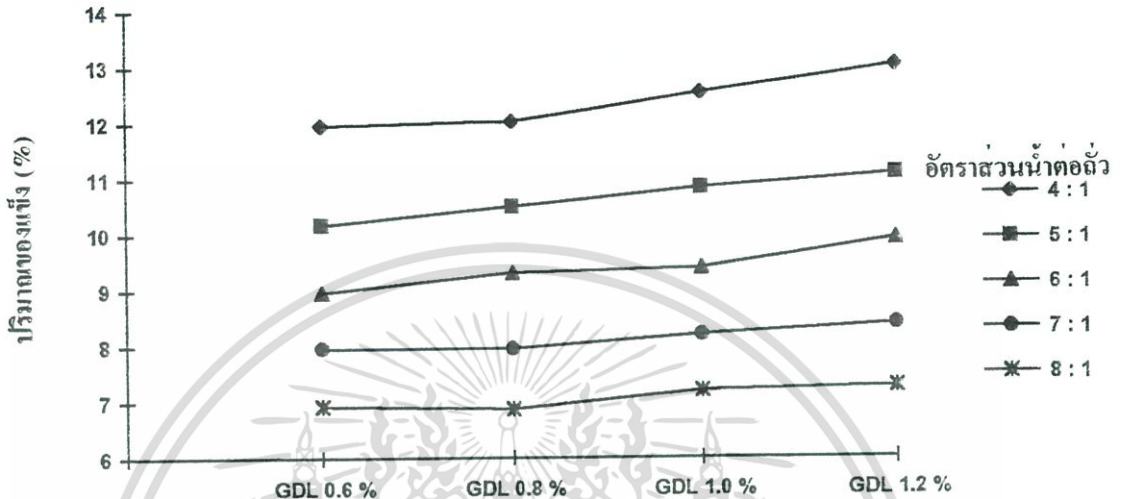
อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	Force (g)	Springeness
6 : 1	CaSO <sub>4</sub>	1.0	348.1 <sup>d</sup>	0.77 <sup>b</sup>
		1.5	573.8 <sup>b</sup>	0.83 <sup>a</sup>
		2.0	646.9 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>
		2.5	634.9 <sup>a</sup>	0.80 <sup>ab</sup>
7 : 1	GDL	0.6	_*	_*
		0.8	145.1 <sup>d</sup>	0.34 <sup>d</sup>
		1.0	306.7 <sup>c</sup>	0.70 <sup>b</sup>
		1.2	464.4 <sup>b</sup>	0.81 <sup>a</sup>
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	165.4 <sup>d</sup>	0.46 <sup>c</sup>
		1.5	487.3 <sup>b</sup>	0.82 <sup>a</sup>
		2.0	547.7 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>
		2.5	563.4 <sup>a</sup>	0.83 <sup>a</sup>
8 : 1	GDL	0.6	_*	_*
		0.8	_*	_*
		1.0	_*	_*
		1.2	262.4 <sup>c</sup>	0.61 <sup>b</sup>
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	_*	_*
		1.5	172.1 <sup>d</sup>	0.44 <sup>c</sup>
		2.0	362.0 <sup>b</sup>	0.74 <sup>a</sup>
		2.5	457.4 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>

abc... ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งของอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ระดับเดียวกัน

แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ไม่เกิดการฟอร์มเจลการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

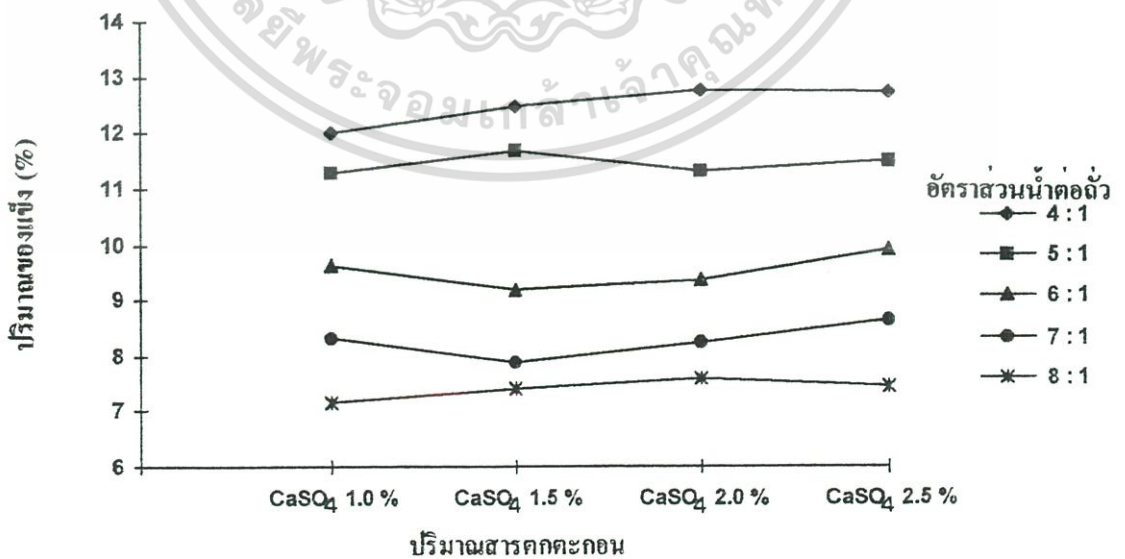
ภาพที่ 27



ปริมาณสารตกตะกอน

กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ

ภาพที่ 28

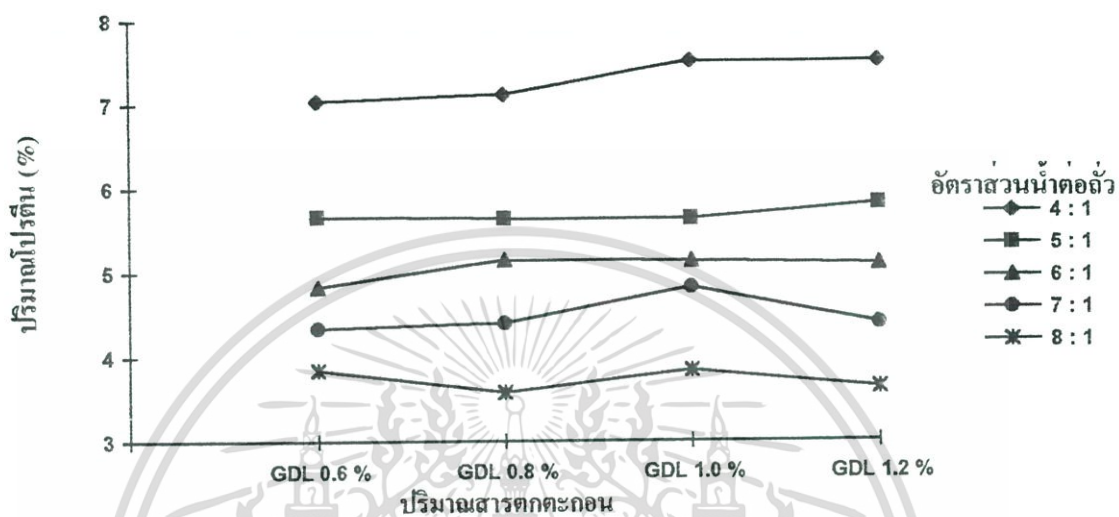


กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว

เอกสารนี้เก็บปริมาณสารตกตะกอน CaSO<sub>4</sub> ในระดับต่าง ๆ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

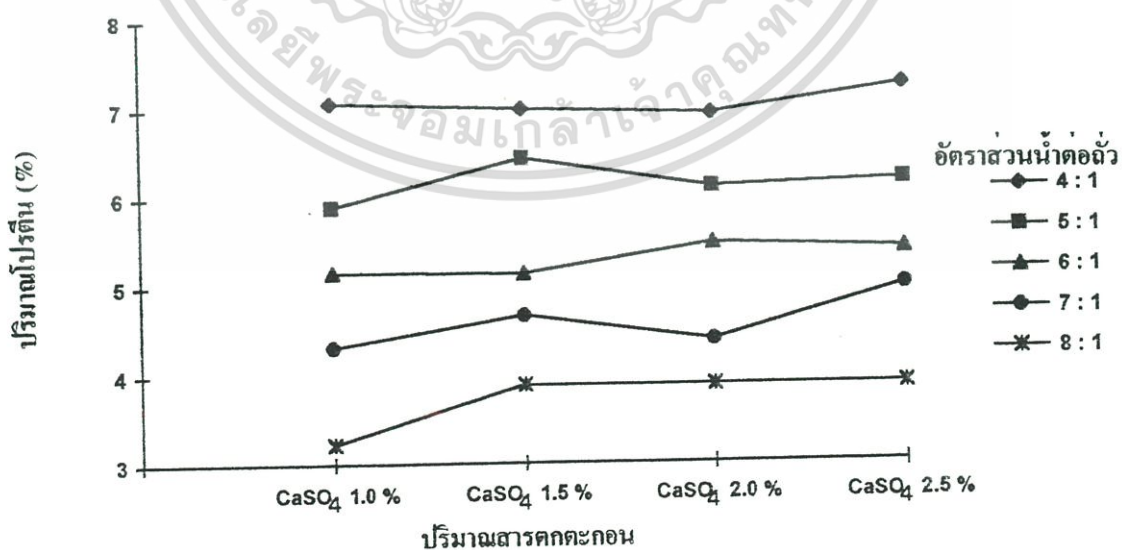
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ โปรตีนของเจลาตินจากแหล่งต่างๆ เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ

ภาพที่ 30



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ โปรตีนของเจลาตินจากแหล่งต่างๆ เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว เอกสารนี้เก็บปริมาณสารตกตะกอน CaSO<sub>4</sub> ในระดับต่างๆ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 22

ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสีของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อแก้วกับ  
ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : แก้ว	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	L	a	b
4 : 1	GDL	0.6	88.2	+0.33	+13.4
		0.8	88.4	+0.53	+12.8
		1.0	88.9	+0.62	+12.6
		1.2	89.5	+0.74	+12.6
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	89.6	+0.70	+13.0
		1.5	90.3	+0.67	+12.5
		2.0	90.4	+0.69	+12.4
		2.5	90.3	+0.66	+12.5
5 : 1	GDL	0.6	88.0	+0.32	+12.8
		0.8	88.1	+0.63	+12.0
		1.0	88.6	+0.61	+11.8
		1.2	89.6	+0.93	+12.1
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	90.0	+0.86	+11.7
		1.5	90.3	+1.08	+12.1
		2.0	90.3	+0.99	+12.0
		2.5	90.5	+0.96	+12.0
6 : 1	GDL	0.6	87.0	+0.06	+12.2
		0.8	87.5	+0.23	+12.3
		1.0	89.0	+0.31	+11.6
		1.2	89.3	+1.18	+12.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 22 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสีของเจลเตาหูหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถ้วยกับ  
ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : ถ้วย	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	L	a	b
6 : 1	CaSO <sub>4</sub>	1.0	90.2	+1.21	+11.6
		1.5	90.2	+1.26	+11.5
		2.0	90.0	+1.43	+12.0
		2.5	90.5	+1.44	+11.8
7 : 1	GDL	0.6	_*	_*	_*
		0.8	88.7	+0.21	+13.1
		1.0	89.8	+0.70	+12.4
		1.2	89.0	+0.15	+11.8
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	90.4	+0.89	+11.6
		1.5	90.6	+0.75	+11.8
		2.0	90.9	+1.14	+12.0
		2.5	91.0	+1.41	+12.0
8 : 1	GDL	0.6	_*	_*	_*
		0.8	_*	_*	_*
		1.0	_*	_*	_*
		1.2	88.3	-0.27	+10.6
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	-	-	-
		1.5	89.6	+0.73	+11.0
		2.0	90.3	+0.45	+10.6
		2.5	90.6	+0.44	+10.6

\* ไม่เกิดการฟอร์มเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายใน (Microstructure) ของเจลเตาหูลอด โดยการถ่ายด้วย กล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ภาพที่ 31-38 จะเห็นว่าเจลเตาหูลอดเกิดจาก โปรตีนที่ถูก denatured รวมตัวกันเป็น random aggregates ก่อนประสานตัวกันเป็นโครงสร้าง ร้างแห (network) ขนาดของ aggregates การรวมตัวเป็น cluster ความแน่นหนา (compact) ของการจัดเรียง จะขึ้นกับสภาวะในการเกิดเจล

เมื่อเปรียบเทียบเจลเตาหูลอดระหว่างการใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 7:1 โดยใช้ สารตกตะกอน GDL 1 % (ภาพที่ 31) พบว่าถ้าใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ต่ำ (4:1) การจัดเรียงตัวของ random aggregates จะมีความแน่นหนามากกว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูง (7:1) (ภาพที่ 35) เมื่อดูที่กำลังขยายสูงขึ้น (X 35,000) (ภาพที่ 32) พบว่าการจัดเรียงตัวของ random aggregates เกิดโครงสร้างร่างแหที่มีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบ (develop) มากกว่า ลักษณะเช่นนี้ก็พบได้ในการทดลองเมื่อใช้  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  เป็นสารตกตะกอน ภาพที่ 34 แสดงภาพถ่ายด้วย SEM ของเจล เตาหูลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 7:1 โดยใช้สารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2 % พบว่าการจัดเรียงตัวของ aggregates เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 มีความเป็นระเบียบและ แน่นหนากว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 7:1 ผลการจัดเรียงตัวของโครงสร้างร่างแหจะสัมพันธ์กับ ลักษณะเนื้อสัมผัส กล่าวคือ การใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงทำให้โครงสร้างร่างแหภายในที่เกิดจาก การจัดเรียงตัวของ random aggregates ไม่แน่นหนา ไม่เป็นระเบียบ จึงเป็นผลให้เนื้อสัมผัส (texture) นุ่ม

และเมื่อนำเจลเตาหูลอดที่มีความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่แตกต่างกันไปทำการถ่าย ภาพ SEM เพื่อดูโครงสร้างภายใน ภาพที่ 35 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเตาหูลอด เมื่อใช้ อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ขนาดของกลุ่ม aggregates เมื่อใช้สารตกตะกอนที่มีความเข้มข้นสูง (GDL 1.2 %) มีขนาดใหญ่ กว่าเมื่อใช้สารตกตะกอนที่มีความเข้มข้นต่ำ (GDL 0.6 %) เมื่อดูที่กำลังขยายสูง (X 35,000) (ภาพ ที่ 36) จะเห็นความแตกต่างของขนาดของอนุภาคอย่างชัดเจน รวมทั้งพบว่าการจัดเรียงตัวของ aggregates เมื่อใช้ GDL 1.2 % (ภาพที่ 36 ล่าง) มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากกว่า ลักษณะเช่น นี้ก็พบได้ในการทดลองเมื่อใช้  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  เป็นสารตกตะกอน (ภาพที่ 37-38) ขนาดของ aggregates ที่ใหญ่กว่ารวมทั้งการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบและแน่นหนา ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัส ของเจลเตาหูลอดที่ใช้ GDL 1.2 % หรือ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2.5 % มีความแข็งแรงของเจลมากกว่าที่ ใช้ GDL 0.6 % หรือ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  1.0 %

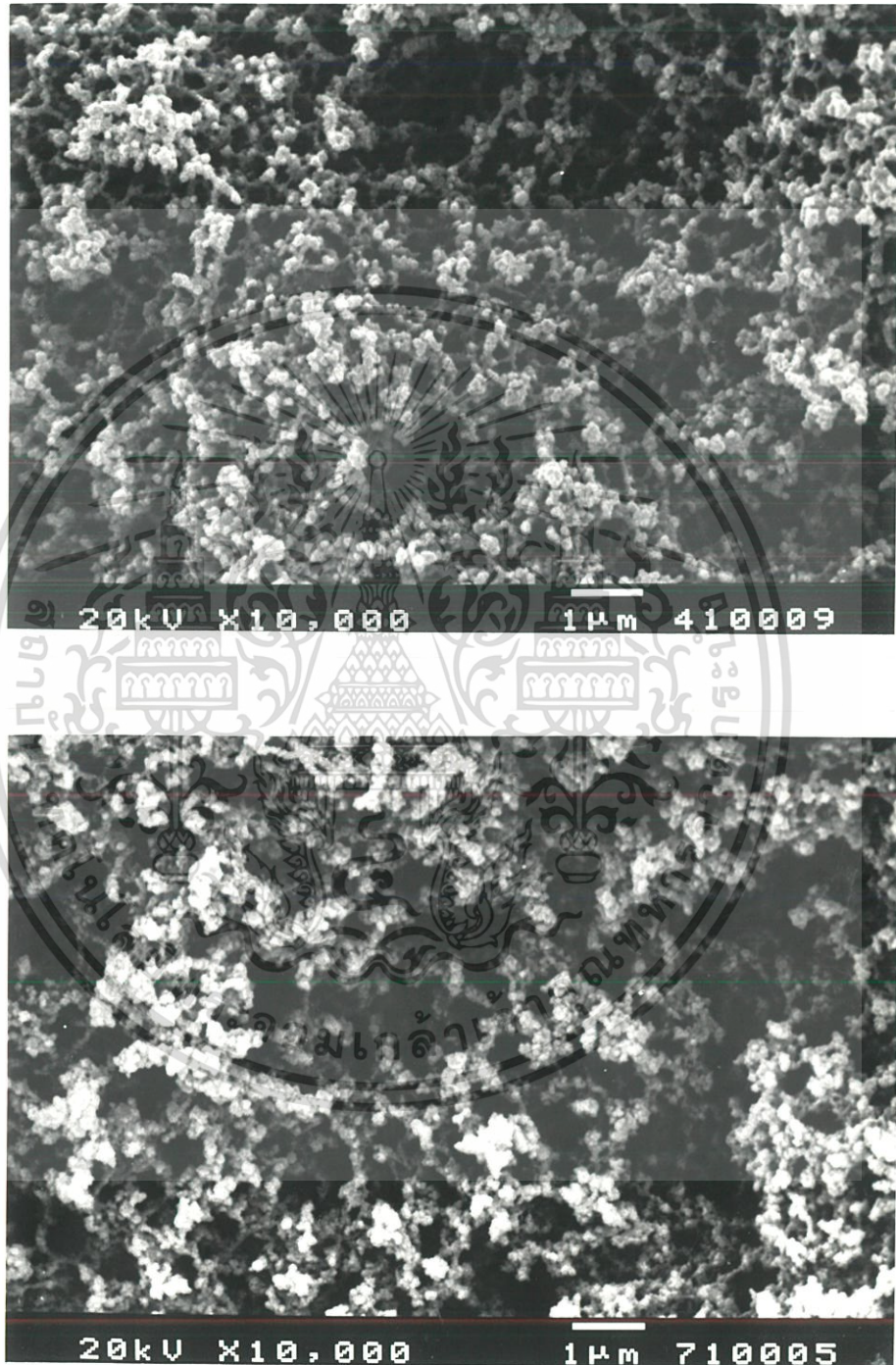
เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างภายในระหว่างเจลเตาหูลอดที่ได้จาก GDL กับ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  พบว่า ทั้งลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน ภาพถ่าย SEM 36 (ล่าง) กับภาพถ่าย SEM ที่ 38 (ล่าง) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโครงสร้างภายในที่สังเกตจาก SEM ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมาของ deMan และคณะ (1986) การที่ลักษณะโครงสร้างภายในที่ถ่ายจากภาพ SEM ของเจลเต้าหู้ที่ได้จากสารตกตะกอน GDL และ  $\text{CaSO}_4$  มีลักษณะเหมือนกัน อาจช่วยอธิบายเหตุผลของเจลที่ได้จากสารตกตะกอนทั้งสองมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกันจนผู้ชิมไม่สามารถบอกความแตกต่างได้



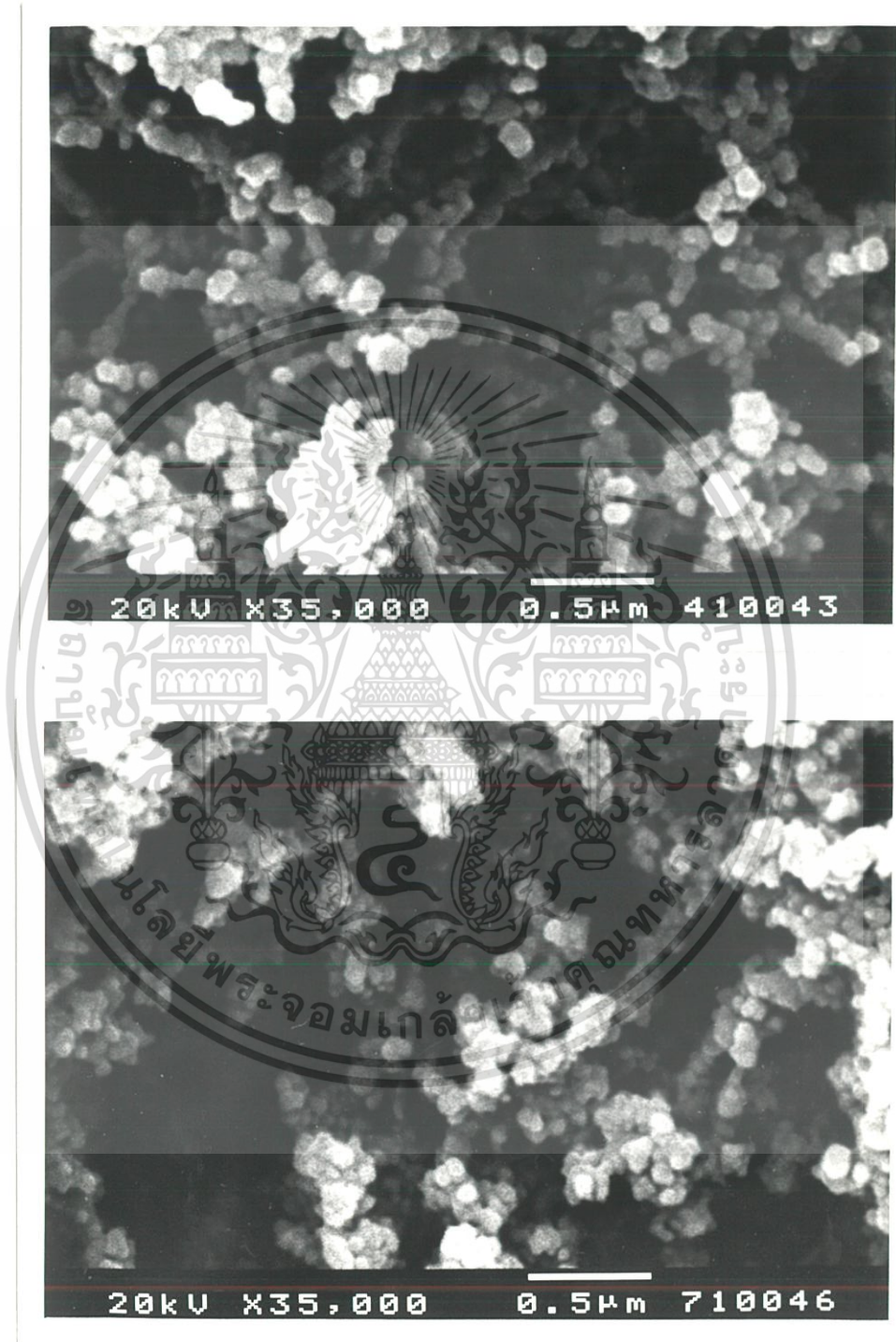
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 31



แสดงโครงสร้างภายในของเจลตัวหุ้ตลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

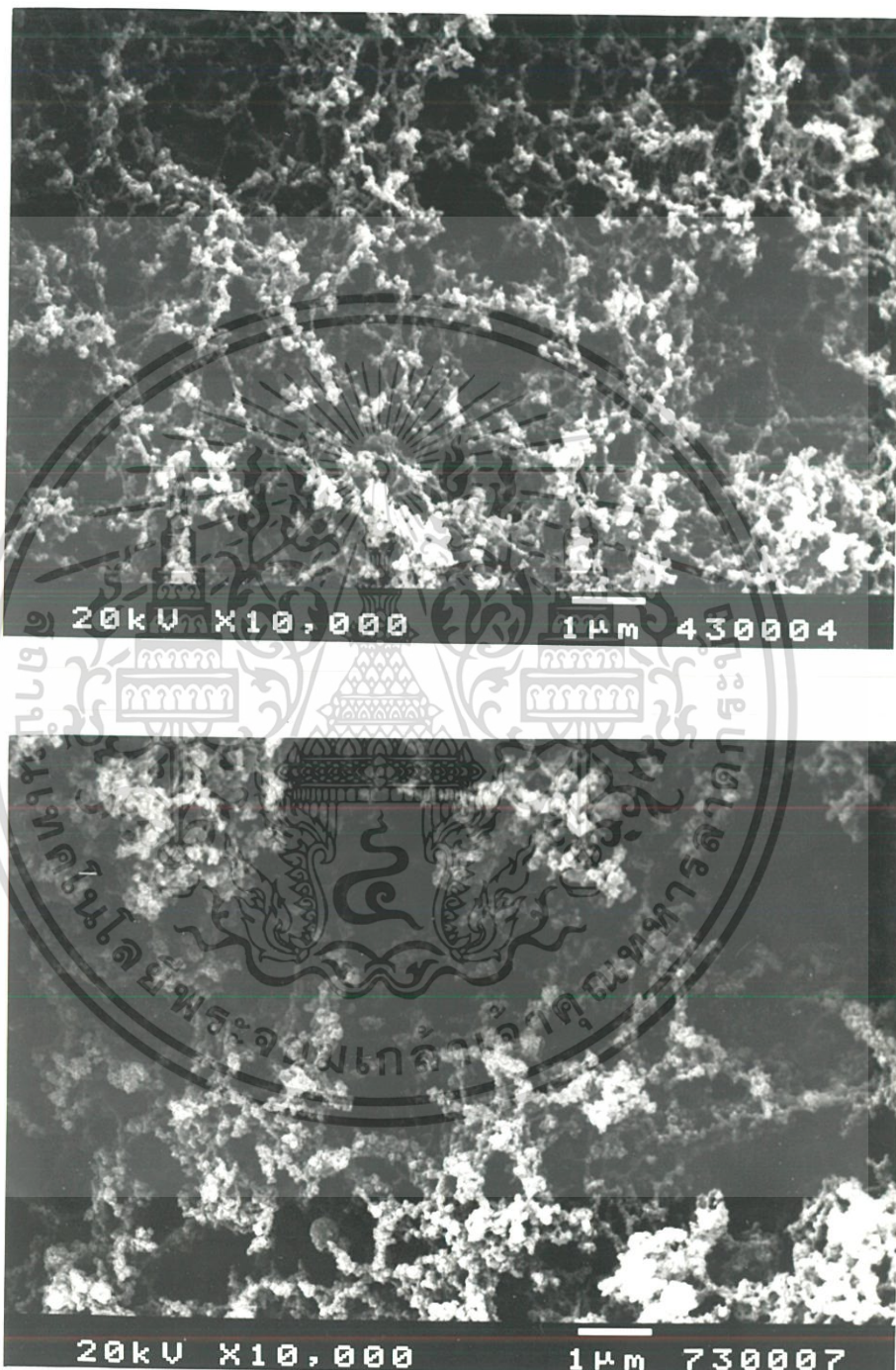
ภาพที่ 32



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 33



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าน้ำตลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 34



แสดงโครงสร้างภายในของเจลตัวหุ้ตลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่ออ้ว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 35



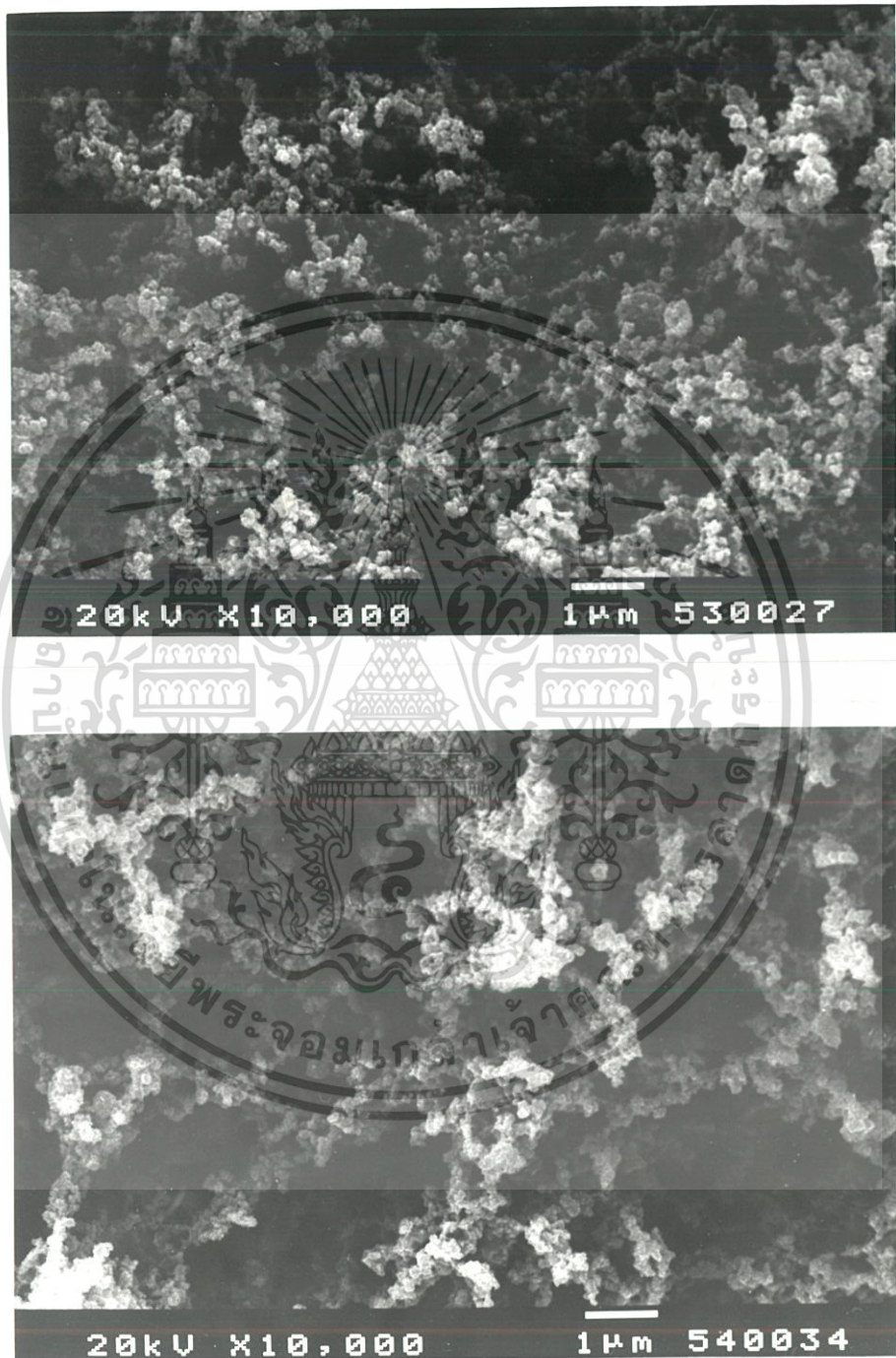
แสดงโครงสร้างภายในของเจลตัวหุ้ตลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อตัว 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปรอ์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 36



แสดงโครงสร้างภายในของเจลตัวหุ้ตลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อตัว 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปรอ์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 37



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้านู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ 2.5 (ล่าง) เปรอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 38



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ 2.5 (ล่าง) เปรอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง พบว่า เปรอร์เซ็นต์โปรตีนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 เท่ากับ  $40.43 \pm 0.36$ , สจ. 5 เท่ากับ  $39.24 \pm 0.20$  และ เชียงใหม่ 60 เท่ากับ  $38.00 \pm 0.26$  และ เปรอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 เท่ากับ  $13.18 \pm 0.25$ , สจ. 5 เท่ากับ  $12.51 \pm 0.05$  และ เชียงใหม่ 60 เท่ากับ  $12.68 \pm 0.06$

#### 2. การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเตาหูหลอด

การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเตาหูหลอด พบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัส Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro System TA-XT2 ของ England ใช้หัวกดขนาด 75 mm compression platen เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเจลเตาหู-หลอด 35 มิลลิเมตร ความเร็วในการกดทับตัวอย่าง 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางที่ทำการกดทับ 10 มิลลิเมตรจากความสูงของตัวอย่าง 25 มิลลิเมตร (40 % deformation) สามารถบ่งบอกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสและความยืดหยุ่นของเจลเตาหูหลอดได้ โดยลักษณะของการกดแบบ Compression test กราฟจะถูกบันทึกและแปลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์อย่างอัตโนมัติ

#### 3. การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเตาหูหลอด

##### 3.1 การศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

จากการทดลองหาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว พบว่า น้ำล้างถั่วจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้  $0.4 \text{ }^\circ \text{Brix}$  และถั่วจะดูดซับน้ำจนมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ  $2.0 \pm 0.16$  เท่าของน้ำหนักถั่วเริ่มต้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ถั่ว พบว่า ที่ 5 องศาเซลเซียสถั่วจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น  $2.0 \pm 0.16$  เท่าของน้ำหนักถั่วแห้งเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมินี้จะสามารถสกัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด และเจลเตาหูหลอดที่ได้จะมีค่าความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของเจลที่ดี

3.2 การศึกษาผลของปริมาณสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ที่ใช้ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

จากการทดลอง พบว่า ถึงแม้สารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ที่ใช้แช่ถั่ว ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ให้น้ำนมมีกลิ่นและสีดีขึ้นแต่จะไม่เกิดการฟอรัมเจลเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 ความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง เนื่องจากทำให้ค่า pH ของน้ำนมมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น หากมีการเพิ่มปริมาณสารตกตะกอนก็จะสามารถเกิดการฟอรัมเจลได้ แต่จะมีรสชาติขมฝืดเกิดขึ้นซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3.3 การศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล

จากการทดลอง พบว่า การใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักรถั่วแห้ง 5:1 น้ำนมถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 มีปริมาณโปรตีน 5.309 เปอร์เซ็นต์, สจ. 5 มีปริมาณโปรตีน 5.117 เปอร์เซ็นต์ และ เชียงใหม่ 60 มีปริมาณโปรตีน 4.699 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสามพันธุ์เมื่อใช้สารตกตะกอน  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  3 % จะไม่มีการฟอรัมเจล แต่จะให้ลักษณะของการตกตะกอนโปรตีน ในขณะที่เมื่อใช้สารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2 % พบว่า สจ.4 และ สจ.5 สามารถเกิดเจลได้ โดยเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 มีความแข็งแรงมากกว่าเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ส่วน เชียงใหม่ 60 ไม่มีการฟอรัมเจล สาเหตุอาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ต่ำ หากมีการลดอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักรถั่วแห้ง (4:1) เพื่อเพิ่มปริมาณ โปรตีนก็จะทำให้สามารถเกิดการฟอรัมเจลได้ และเมื่อใช้สารตกตะกอน GDL 1 % พบว่าสามารถเกิดเจลได้ทั้งสามพันธุ์ โดย สจ.4 จะให้เจลที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น และลักษณะสีของเจลที่ได้จะมีความขาวสว่าง (L) มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์อื่น

3.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอรัมเจล

จากการทดลอง พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการฟอรัมเจลของสารตกตะกอน GDL และ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่ดี คือ 90-95 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้โปรตีนถูก denatured และเกิดโครงสร้างร่างแหของเจลที่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่ดี

3.5 การศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน

จากการทดลอง พบว่า อัตราส่วนน้ำที่มีปริมาณสูงขึ้นปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณโปรตีนจะลดลง การใช้สารตกตะกอน GDL ที่สูงกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ สารตกตะกอนชนิดอื่น ๆ ไม่สามารถทำให้เกิดการฟอรัมเจลได้ การใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดการฟอรัมเจลได้ไม่ดีนัก อย่างไรก็ตาม การใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงเกินไปอาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นได้ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงเกินไปอาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นได้ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงเกินไปอาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นได้

ตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่สูงกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์จะทำให้รสนิยมเปลี่ยน เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารที่ใช้ในการตกตะกอน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เท่ากัน เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงขึ้นจะทำให้ได้เจลที่อ่อนนุ่ม เมื่อนำเจลที่มีลักษณะอ่อนนุ่มไปถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) จะเห็นโครงสร้างภายในที่มีโครงสร้างร่างแหที่มีขนาดของ aggregates ที่มีขนาดเล็ก การจัดเรียงตัวของอนุภาคไม่ค่อยเป็นระเบียบ และไม่แน่นอน แต่ที่ระดับอัตราส่วนน้ำที่เท่ากัน เมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนมากขึ้นก็ทำให้ได้เจลที่แข็งขึ้น เจลที่แข็งเมื่อนำไปถ่ายภาพ SEM จะเห็นโครงสร้างร่างแหที่มีขนาดของ aggregates ที่มีขนาดใหญ่ การจัดเรียงตัวของอนุภาคที่เป็นระเบียบ และแน่นอน ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสรวมทั้งโครงสร้างภายในจากภาพถ่าย SEM พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างเจลที่ได้จากสารตกตะกอนของ GDL หรือ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Triangle test พบว่าผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเจลทั้งสอง การปรับอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อถั่วกับปริมาณสารตกตะกอน GDL หรือ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  สามารถใช้ผลิตเจลเต้าหู้หลอดที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องการได้

## ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณของแข็งและปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนมถั่วเหลือง จะมีผลต่อความแข็งแรงของเจลเตาหูหลอด การบดถั่วเหลืองที่หยาบหรือไม่ละเอียดจะทำให้สกัดปริมาณของแข็งและปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในถั่วเหลืองได้น้อย ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องตีปั่นในครัวเรือนทำให้ไม่สามารถเพิ่มความเร็วในการบด หากทำการเพิ่มเวลาหรือความเร็วในการบดถั่วเหลืองอาจทำให้การสกัดปริมาณของแข็งและปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น

2. องค์ประกอบของโปรตีน 7S และ 11S จะมีผลต่อความแข็งแรงของเจลเตาหูหลอด การศึกษาถึงองค์ประกอบของโปรตีนที่มีอยู่ในถั่วแต่ละพันธุ์ เช่น สจ. 4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60 อาจสามารถบอกเหตุผลถึงความแตกต่างของเจลที่เกิดขึ้นในถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์ได้ นำไปสู่การปรับปรุงความแข็งแรงของเจลเตาหูหลอดขั้นต่อไป

3. เจลเตาหูหลอดถือได้ว่าเป็นเตาหูที่มีความสะอาด และปราศจากเชื้อจุลินทรีย์มากกว่าเจลเตาหูชนิดอื่น การศึกษาถึงอายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของเจลในระหว่างการเก็บรักษารวมทั้งวิธีการชะลอการเสื่อมเสีย อาจจะเป็นประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมต่อไป

4. การใช้อัตราส่วนน้ำในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองที่มากเกินไป ทำให้เจลเตาหูหลอดไม่สามารถฟอรั่มเจลได้ การใช้สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แป้งคัดแปร หรือ เจลาติน เติมลงไปใต้น้ำนมถั่วเหลือง อาจทำให้การฟอรั่มเจลของเตาหูหลอดเกิดขึ้นและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

5. ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของเจลเตาหูหลอด ได้แก่ สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ซึ่งการใช้สารตกตะกอน GDL ร่วมกับ  $\text{CaSO}_4$  อาจช่วยในการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของเจลเตาหูหลอดให้ดีขึ้นได้

## บรรณานุกรม

- กุลวลี ครอบพาณิชย์ และคณะ. 2532. อิทธิพลของสารเจือปนในอาหารและคุณลักษณะของถั่วเหลืองที่มีต่อปริมาณโปรตีนและคุณลักษณะของน้ำมันถั่วเหลืองเข้มข้น. วารสารอาหาร. ปีที่ 19, ฉบับที่ 1 : 8-24.
- กองส่งเสริมพืชพันธุ์. 2531. เอกสารวิชาการเรื่องถั่วเหลือง. กรุงเทพฯ, กรมส่งเสริมการเกษตร..
- กองส่งเสริมพืชพันธุ์. 2523. เอกสารวิชาการเรื่องผลการจัดงานแสดงผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง. กรุงเทพฯ, กลุ่มพืชน้ำมัน กรมส่งเสริมการเกษตร.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528. เต้าหูหลด. วารสารอาหาร. ปีที่ 15, ฉบับที่ 4 : 224-244.
- ทศพร ยศสมบัติ. 2527. การกำจัดกลิ่นถั่วของถั่วเหลืองเพื่อทำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมัก. ปรินญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปณัฐฐา กริดิพัฒน์ และ ปรียาพร เขียวขำ. 2540. ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของเต้าหู้อ่อน. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต. กรุงเทพฯ, ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เพลินใจ ตั้งคณะกุล และ สมจิต อ่อนเหม. 2527. การทำเต้าหูและเต้าฮวย. หลักเกณฑ์และวิธีการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมอาหาร. หมวด ข. ธัญพืชและถั่ว. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิษฐ, อำนวยโชค ยอดแก้ว และ เพ็ชรชัย ตั้งเมธากุล. 2530. อาหารว่างจากเต้าหูแข็ง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. ปีที่ 5, ฉบับที่ 1 : 1-4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันชัย สมจิต. 2527. คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง. ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ ๑, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 1-48.

วรรณมา ตูลยธัญ. 2522. The Meat without Bones. วารสารเคมีวิศวกรรมเทคโนโลยีทางอาหาร และเชื้อเพลิง. ปีที่ 1, ฉบับที่ 2 : 81-86.

ศุภชัย แก้วมีชัย. 2537. การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองของประเทศไทย. กรุงเทพฯ ๑, ศูนย์วิจัยพืชไร่ เชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมจิต อ่อนเหม และ เพลินใจ ตั้งคณะกุล. 2538. ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคนิคการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพให้แก่บุคลากร สถาบันราชภัฏ, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย ประภาวดี. 2538. ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคนิคการถนอมอาหาร และการควบคุมคุณภาพให้แก่บุคลากร สถาบันราชภัฏ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย ประภาวดี. 2533. การเตรียมเต้าหู้หลอดผง เต้าหู้ยวง และการทดสอบการยอมรับ. โภชนาการสาร. ปีที่ 24, ฉบับที่ 3 : 115-123.

สมชาย ประภาวดี. 2535. เทคโนโลยีในการทำแปรรูปถั่วเหลือง. เอกสารประกอบการบรรยายวิชาเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ถั่วเมล็ดแห้ง แก่นิสิตชั้นปีที่ 4 วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสารมิตร์.

สมชาย ประภาวดี และคณะ. 2525. งานวิจัยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร : การศึกษาถึงชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของตัวตกตะกอนต่าง ๆ ในการทำเต้าหู้หลอด. กรุงเทพฯ ๑, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ม.เกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมชาย ประภาวัต, มัณฑนา ร่วมรักษ์ และวันชัย สมจิต. 2527. คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง. เอกสารถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ม.เกษตรศาสตร์.

อุดม กาญจนปกรณชัย และ สมชาย ประภาวัต. 2519. การทำเต้าหู้. วารสารวิทยาศาสตร์การอาหาร. ปีที่ 1 : 39-46.

Beddows, C.G. and Wong, J. 1987a. Optimization of yield and properties of sillken tofu from soybeans. I. The water : bean ratio. Int. J. Food Sci. Technol. 22 : 15-21.

Beddows, C.G. and Wong, J. 1987b. Optimization of yield and properties of sillken tofu from soybeans. II. Heat processing. Int. J. Food Sci. Technol. 22 : 23-27.

Beddows, C.G. and Wong, J. 1987c. Optimization of yield and properties of sillken tofu from soybeans. III. Coagulant concentration mixing and filtration pressure. Int. J. Food Sci. Technol. 22 : 29-34.

Chanyongvorakul, Y. et al. 1995. Physical Properties of Soy Bean and Broad Bean 11S Globulin Gels Formed by Transglutaminase Reaction. J. Food Sci. 60 : 483-493.

deMan, J.M.; deMan, L. and Gupta, S. 1986. Texture and microstructure of Soybean curd (Tofu) as affected by different coagulants. Food Microstruct. 5 : 83-89.

FAO. 1973. Food Composition Table for use in East Asia. Published by FAO and US. Dept. of Health, Education and Welfare.

Hsu, K.H.; Kim, C.J. and Wilson, L.A. 1983. Factors Affecting Water Uptake of Soybeans During Soaking. Cereal Chem. 60 : 208-211.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kawamura, S. 1967. Proceeding of International Conference on Soybean Protein Foods. ARS-71-35, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Peoria, III, Page 249.

Kohyama,K.; Yoshida,M. and Nishinari,K. 1993. Rheological Study on Gelation of Soybean 11S Protein by Glucono- $\delta$ -lactone. *J. Agric. Food Chem.* 40 : 740-744.

Kohyama,K.; Sano,Y. and Doi,E. 1995. Rheological Characteristics and Gelation Mechanism of Tofu (Soybean Curd). *J. Agric.Food Chem.* 43 : 1808-1812.

Lu, J.Y.; Carter, E. and Chung, R.A. 1980. Use of calcium salts for soybean curd preparation. *J. Food Sci.* 45 : 32-34.

Saio, K. 1979. Tofu-Relationships Between Texture and Fine Structure. *Cereal Food World.* 24 : 342-354.

Shih, C.Y. 1981. Beans and Soybean product. Biol Dept, Soochow Univ, Shanghai China.

Shurtleff, W. and Aoyagi, A. 1979. Tofu and Soymilk Production. AVI publishing Co., Weat port.

Smith, A.K. and Circle S.J. 1985. Soybean : Chemistry and technology. AVI publishing Co., Weat port.

Smith,A.K.: Watanabe,T. and Nash,A.M. 1960. Tofu from Japanese and United States Soybeans. *Food Technology.* 9 : 332-336.

Sun, N. and Breene, W. 1991. Calcium Sulfate Concentration influence on yield and quality of tofu form five Soybean Varites. *J. Food Sci.* 56 : 1604-1607.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tappel, A.L. Lipoxidase. 1963. In The Enzyme. Vol.8, New York : Academic Press.

Tsai, S.J. et al. 1981. Studies on the yield and quality characteristics of tofu.  
J. Food Sci. 46 : 1734-1740.

Watanabe,T. et al. 1964. Research into standardization of the tofu making process.  
National Food Institute Reports (Japan) , Parts 1-3.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

## 1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็ง (AOAC, 1995)

1. นำ moisture can อบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (จมน้ำหนักไว)
2. ชั่งตัวอย่างอาหาร 3 กรัม คอยตาชั่งละเอียด
3. นำไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  องศาเซลเซียสโดยเปิดฝา moisture can จนน้ำหนักคงที่ (ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง)
4. เมื่อครบเวลาให้ปิดฝา moisture can
5. ทิ้งให้เย็นใน desiccator
6. นำมาชั่งน้ำหนัก บันทึก

$$\text{ปริมาณร้อยละของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณร้อยละของของแข็ง} = 100 - \text{ปริมาณร้อยละของความชื้น}$$

## 2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนแบบ Buchi-Kjedahe-systems

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริก 4 เปอร์เซ็นต์
3. กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์
5. Catalyst :



6. Mixed indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก. เตรียม 0.1 เปอร์เซ็นต์ Bromocresol green ใน 95 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ Methyl red ใน 95 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์
- ข. ผสม 10 มิลลิลิตร Bromocresol green กับ 2 มิลลิลิตร Methyl red ในขวดหยด

### วิธีวิเคราะห์

1. บีบตัวอย่าง (ของเหลว) 3 มิลลิลิตร (ของแข็งประมาณ 1 กรัม) ลงใน Kjeldahl flask 250 ml เวลาใส่อย่างให้ละเอียด
2. เติม Catalyst 5 กรัม กรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และ glass beads
3. นำ Kjeldahl flask ตั้งในชุดย่อยโปรตีน โดยย่อยที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายสีฟ้าใส ทิ้งให้เย็น ค่อย ๆ เติมน้ำกลั่นลงไป 30 มิลลิลิตร
4. นำหลอด Kjeldahl flask ที่ย่อยเสร็จแล้วเข้าเครื่องกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณที่ทำปฏิกิริยากันพอดี (สารละลายสีน้ำตาลเข้ม) ทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ประมาณ 6 นาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริก 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2-3 หยด ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. นำส่วนที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล จนสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี (หรือเป็นสีชมพู แล้วหักมิลลิลิตรของ HCl ออก 0.02 มิลลิลิตรเพื่อให้เห็นชัดเจน)

$$\text{การคำนวณ} = \frac{N \cdot \text{HCl} \times \text{ml. HCl} \times 14 \times 6.25 \times 100}{\text{ml. ตัวอย่าง} \times 1000}$$

ตารางที่ 23

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจตเตาหูลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตอถั่วกับ  
ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	ปริมาณของแข็ง (%)	ปริมาณโปรตีน (%)
4 : 1	GDL	0.6	11.95	7.04
		0.8	12.02	7.12
		1.0	12.53	7.51
		1.2	13.02	7.50
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	11.99	7.06
		1.5	12.47	6.98
		2.0	12.78	6.92
		2.5	12.72	7.22
5 : 1	GDL	0.6	10.18	5.66
		0.8	10.49	5.64
		1.0	10.82	5.63
		1.2	11.07	5.81
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	11.28	5.89
		1.5	11.69	6.43
		2.0	11.32	6.09
		2.5	11.50	6.16
6 : 1	GDL	0.6	8.97	4.83
		0.8	9.31	5.15
		1.0	9.39	5.14
		1.2	9.91	5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลเตาหัวหลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับ  
ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตก ตะกอน	ปริมาณสารตก ตะกอน (%)	ปริมาณของแข็ง (%)	ปริมาณโปรตีน (%)
6 : 1	CaSO <sub>4</sub>	1.0	9.60	5.15
		1.5	9.18	5.13
		2.0	9.37	5.46
		2.5	9.90	5.39
7 : 1	GDL	0.6	7.97	4.34
		0.8	7.95	4.40
		1.0	8.20	4.82
		1.2	8.38	4.40
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	8.30	4.31
		1.5	7.88	4.66
		2.0	8.26	4.38
		2.5	8.64	4.98
8 : 1	GDL	0.6	6.93	3.85
		0.8	6.88	3.58
		1.0	7.19	3.84
		1.2	7.27	3.63
	CaSO <sub>4</sub>	1.0	7.14	3.22
		1.5	7.41	3.89
		2.0	7.60	3.88
		2.5	7.47	3.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

### การวิเคราะห์หาปริมาณ Syneresis

Syneresis คือ การแยกชั้นของน้ำ การแยกชั้นของน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อเก็บเจลเตาหูหลอดไว้สักกระยะหนึ่ง หรือนำเจลเตาหูหลอดออกจากภาชนะบรรจุแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่จะเห็นน้ำแยกออกมาจากเจลเตาหูหลอดได้อย่างชัดเจน

วิธีการหาปริมาณ Syneresis ทำได้โดยนำเจลเตาหูหลอดตัวอย่าง มาตัด วางบนกระดาษกรองที่อยู่ในสถานะปิดสนิท (ทราบน้ำหนักกระดาษกรองและภาชนะ) ชั่งน้ำหนัก จดบันทึก ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำเจลเตาหูหลอดตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึก

$$\text{การคำนวณหา \% การแยกชั้นของน้ำ} = (A - B - C) / D \times 100$$

A = น้ำหนักกระดาษกรอง + ภาชนะปิดสนิท + เจลเตาหูหลอดตัวอย่าง

B = น้ำหนักกระดาษกรอง + ภาชนะปิดสนิท

C = น้ำหนักเจลเตาหูหลอดตัวอย่างหลังตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที

D = น้ำหนักของเจลเตาหูหลอดเริ่มต้น

เจลเตาหูหลอดตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์การแยกชั้นของน้ำ คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 และ 7:1 GDL 1% ได้ผลดังตารางที่ 24

#### ตารางที่ 24

ผลการวิเคราะห์การแยกชั้นของน้ำของเจลเตาหูหลอดที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว

4:1 และ 7:1 โดย GDL 1%

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์การแยกชั้นของน้ำ	
	อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1	อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 7:1
1	1.15	2.61
2	1.22	2.23
3	1.27	2.80
เฉลี่ย	1.21	2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

### ข้อควรระวังในการผลิตเจลเตาหูหลอด

1. ในการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองก่อนการตกตะกอน หากมีการให้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้หน้านมไหม้ก่อนที่จะเดือดจะทำให้เจลเตาหูหลอดที่ผลิตมีกลิ่นไหม้ติดไปควย และหากให้ความร้อนนานเกินไปจะทำให้หน้านมเกิดลักษณะจับตัวเป็นก้อนทำให้เกิดเจลเตาหูหลอดที่มีเนื้อสัมผัสเป็นรูพรุน สีคล้ำ ไม่เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค วิธีแก้ไขทำได้โดยให้ความร้อนในการต้มที่พอเหมาะกับปริมาณของน้ำนมที่เตรียม
2. สารตกตะกอน  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ที่ใช้ในการตกตะกอนจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อนำมาละลายกับน้ำนมในการตกตะกอนจะทำให้การรวมตัวของ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  กับน้ำนมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นก้อน ทำให้เจลเตาหูหลอดที่ได้อ่อนและมีรูพรุนจำนวนมาก วิธีแก้ไขคือ นำผง  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  มาละลายน้ำเพียงเล็กน้อยพอให้เป็นสารละลายแล้วจึงนำไปผสมในน้ำนม ทำการบรรจุและให้ความร้อนทันที ส่วนสารตกตะกอน GDL สามารถนำมาละลายกับน้ำนมโดยตรง
3. การให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลควรให้อุณหภูมิที่สม่ำเสมอ หากอุณหภูมิที่ให้ความร้อนสูง ๆ ต่ำ ๆ จะทำเจลที่ได้นุ่ม และ มีรูพรุน และมีการแยกชั้นของน้ำสูง
4. ถั่วเหลืองที่นำมาทำน้ำนมควรมีการไม่ผาซึบ แยกเปลือก และเจิร์มออก เพื่อให้เจลที่ได้มีสีไม่คล้ำ และลดระยะเวลาการล้างและทำความสะอาดถั่วเหลือง เวลาบดถั่วเหลืองควรใช้น้ำร้อนบดในปริมาณที่เสมอกับถั่ว เพื่อการบดจะได้ละเอียด และเมื่อบดเสร็จควรกรองและใช้น้ำร้อนล้างกากไปจนกระทั่งเท่ากับอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ต้องการ เพื่อการสกัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากขึ้น

## ภาคผนวก ง.

## แบบทดสอบประสาทสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด

## แบบ Triangle Test

วันที่ทำการทดสอบ.....

ชื่อ..... อายุ..... เพศ.....

ชอบทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้หรือไม่ (ให้ขีดเครื่องหมาย ✓) ชอบ.....ไม่ชอบ.....ทานได้.....

## ข้อปฏิบัติในการทดสอบ

1. ให้พิจารณาคูณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในถาดทั้ง 3 ตัวอย่างเปรียบเทียบกันโดยการชิม คมกลิ่น คูสี และเนื้อสัมผัส
2. จากตัวอย่างที่ให้กรุณาประเมินผลตัวอย่างเหล่านี้ให้ตรงกับความรู้สึกของท่านให้มากที่สุด โดยทำเครื่องหมาย ○ ในช่องตัวอย่างที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต่างจากตัวอย่างอื่น  
คำแนะนำ ควรชิมตัวอย่างตามลำดับและใส่เครื่องหมาย ○ ให้ตรงกับตัวอย่างที่ประเมินที่กำหนดให้

ตัวอย่าง
A
B
C

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Triangle test ใช้ผู้ชิม 20 คน เพื่อบอกลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอดที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1 % กับ  $\text{CaSO}_4$  1.5 % (ลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน) มีผู้ชิมตัดสินได้ถูกต้อง 5 คน ตัดสินผิด 15 คน (จากตาราง Probability in Triangular (Taste) Test ผู้ชิม 20 คนหากมีผู้ตัดสินได้ถูกต้องตั้งแต่ 13 คนขึ้นไป แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ  $P = 0.01$ ) ดังนั้นผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จากสารตกตะกอน GDL และ  $\text{CaSO}_4$  ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P = 0.01$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวน้ำทิพย์ วงษ์ประทีป เกิดวันที่ 17 เมษายน 2516 ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนหนองไผ่ปีการศึกษา 2531 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเพชรพิทยาคมปีการศึกษา 2534 สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) จากสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามพิษณุโลกปีการศึกษา 2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้