สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง

OPTIMIZATION OF YIELD AND QUALITY OF SOY-CURD

YUPORN PUECHKAMUT

RCH
TX
401.2
.S69
ย395ก
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 32078
วัน, เดือน, ปี - 9 ก.พ. 2542

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....I

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....IV

บทคัดย่อภาษาไทย.....1

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....3

บทที่

1. บทนำ.....5
2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....7
   - ถั่วเหลือง.....7
   - เจลโปรตีนถั่วเหลือง.....8
   - กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยการใช้สารตกตะกอน.....9
   - ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง.....10
   - เต้าหู้หลอด.....10
3. อุปกรณ์และวิธีการ.....20
   - วัตถุดิบ.....20
   - อุปกรณ์ในการผลิต.....21
   - อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....21
   - สถานที่ทดลอง.....22
   - วิธีการ.....22
   - การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด.....22
การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....22
การตรวจสอบคุณภาพของเจลเต้าหู้หลอด.....23
การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเต้าหู้หลอด.....27
การศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว.....27
การศึกษาผลของปริมาณสารละลาย $NaHCO_3$ ที่ใช้ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับ
ความเข้มข้นต่าง ๆ.....27
การศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล.....27
การศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจล.....27
การศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว
ชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน.....28
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....30
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....30
ผลของการทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล.....32
ผลของปัจจัยที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเต้าหู้หลอด.....36
ผลของพันธุ์ถั่วเหลือง.....36
ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว.....41
ผลของปริมาณสารละลาย $NaHCO_3$ ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ 45
ผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลของเต้าหู้หลอด. 46
ผลของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับ
ชนิดและปริมาณสารตกตะกอน.....49
5. สรุปผลการทดลอง.....72
ข้อเสนอแนะ.....75
บรรณานุกรม.....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

ภาคผนวก.....80

ก. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....81

ข. การวิเคราะห์หาปริมาณ syneresis.....84

ค. ข้อควรระวังในการผลิตเจลเต้าหู้หลอด.....85

ง. แบบทดสอบประสาทสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 ปริมาณและชนิดของโปรตีนโดยการใช้ Ultracentrifuge แยกจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้.....12

2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60 30

3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60 36

4 ผลการวิเคราะห์ของเจลเต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 เมื่อใช้สารตกตะกอน GDL หรือ $CaSO_4.2H_2O$ 39

5 ผลการวัดค่าสีของเจลเต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 เมื่อใช้สารตกตะกอน GDL หรือ $CaSO_4.2H_2O$ 41

6 ผลการวิเคราะห์ของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อุณหภูมิในการแช่ที่ 5, 25 และ 80 องศาเซลเซียส.....44

7 แสดงผลของสารละลาย $NaHCO_3$ ในน้ำแช่ถั่วต่อลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอด 45

8 ผลการวิเคราะห์ของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมสารละลาย $NaHCO_3$ ในน้ำแช่ถั่ว 46

9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลที่อุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ 47

10 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลที่อุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ 48

11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมที่อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วที่ระดับต่าง ๆ 50

12 แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ 53

13 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการกดของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

14 ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสีของเจลเต้าหู้หลอดระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ.....603

15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้ อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ 82

16 ผลการวิเคราะห์การแยกชั้นของน้ำของเจลเต้าหู้หลอดที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 และ 7:1 GDL 1.0 % 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1 แสดงกลไกการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองเมื่อใช้
แคลเซียมซัลเฟตและกูลโคโนเดลต้าแลคโทน.....10
2 แสดงลักษณะของแบบพิมพ์ที่ใช้สำหรับในการกดเจลเต้าหู้หลอด.....24
3 แสดงเครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น Stable Micro Systems รุ่น TA-XT2 25
4 แสดงลักษณะของหัววัดเนื้อสัมผัส 75 compression platen.....26
5 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสีรุ่น CR-300, Japan.....26
6 แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเต้าหู้หลอด.....29
7 แสดงลักษณะของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 31
8 แสดงลักษณะกราฟ Texture Profile ของเจลเต้าหู้หลอดที่ทำการวัด
โดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2.....33
9 แสดงลักษณะกราฟ Texture Profile ของเจลเต้าหู้หลอดที่สุ่มมา
จากตัวอย่างเดียวกันที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro
Systems TA-XT2; A, B และ C = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1
สารตกตะกอน GDL 0.6 %.....34
10 แสดงลักษณะกราฟ Texture Profile ของเจลเต้าหู้หลอดที่มีความแข็งต่างกัน
ที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2;
A และ B = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 สารตกตะกอน GDL 1 % อุณหภูมิใน
การแช่ถั่วที่ 5° C; C และ D = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 สารตกตะกอน
GDL 1 % อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 25° C 35
11 แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้
สารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์.....37
12 แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้
สารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโทน 1 เปอร์เซ็นต์.....37
13 แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จาก
ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และเชียงใหม่ 60.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

14 แสดงกราฟของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว.....42
15 ภาพแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ถั่วต่อลักษณะปรากฏ
ของเจลเต้าหู้หลอด.....43
16 แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จากอุณหภูมิในการให้ค
ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลที่ระดับต่าง ๆ.....49
17 แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว
ที่ 4:1 และ 8:1 โดยใช้สารตกตะกอน GDL ที่ระดับความ
เข้มข้น 1.2 เปอร์เซ็นต์.....52
18 แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว
ที่ 4:1 และ 8:1 โดยใช้สารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ระดับความ
เข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์.....52
19 แสดงกราฟค่าความแข็งของเจลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว
กับความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL.....55
20 แสดงกราฟค่าความแข็งของเจลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว
กับความเข้มข้นของสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ 55
21 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้
อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ 58
22 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้
อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ในระดับต่าง ๆ 58
23 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้
อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

24 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้
อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ในระดับต่าง ๆ 59
25 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน)
และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์
ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV
ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....64
26 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน)
และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์
ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV
ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....65
27 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน)
และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์
ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV
ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....66
28 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน)
และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์
ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV
ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....67
29 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1
โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์
ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV
ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....68
30 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1
โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV
ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....69
31 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1
โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ
2.5 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope
รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....70
32 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1
โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ
2.5 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope
รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า.....71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

เจลเต้าหู้หลอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง-กึ่งเหลว (semi-solid) ที่เกิดจากการตกตะกอนโปรตีนน้ำนมถั่วเหลืองด้วยตัวตกตะกอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความสูง 25 มิลลิเมตร โดยวิธีการแบบ Compression Test ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro System TA-XT2 ใช้หัวกดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร กดทับด้วยความเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางที่กดทับ 10 มิลลิเมตร พบว่าสามารถบ่งบอกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด

ในการทดลองผลิตเจลเต้าหู้หลอดโดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และเชียงใหม่ 60 พบว่า น้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 จะมีปริมาณโปรตีนและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าพันธุ์อื่น และที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากัน ทำให้เกิดเจลที่มีความแข็งแรงยืดหยุ่นดีกว่า จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่ว พบว่าการแช่ถั่วที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้น้ำหนักของถั่วที่อิ่มตัวเพิ่มเป็น 2.0 ± 0.16 เท่าของน้ำหนักถั่วแห้ง สามารถสกัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด และเจลที่ได้มีความแข็งแรงยืดหยุ่นดี ผลของสารละลาย $NaHCO_3$ ที่ใช้ในการแช่ถั่ว พบว่าที่ความเข้มข้น 1-3 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้สีและกลิ่นของน้ำนมดีขึ้น แต่น้ำนมที่ได้ไม่เกิดการฟอร์มเจลเมื่อใช้กลูโคโนเดลต้าแลคโทน (GDL) 1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใช้ $NaHCO_3$ ทำให้น้ำนมมีความเป็นด่างสูงขึ้น เป็นการเพิ่มประจุลบทำให้ปริมาณ GDL ที่เติมลงไปไม่เพียงพอ ผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อการเกิดเจล เมื่อใช้สารตกตะกอน GDL และ $CaSO_4$ พบว่าที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส การฟอร์มเจลของน้ำนมถั่วเหลืองจะได้เจลที่มีลักษณะแข็งยืดหยุ่นดี

จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง กับชนิดและปริมาณสารตกตะกอน พบว่าถ้าหากใช้ปริมาณสารตกตะกอน GDL สูงกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ $CaSO_4$ สูงกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้งจะทำให้เต้าหู้หลอดมีรสเฝื่อนขม ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อถั่วน้อยกว่า 4:1 ทำให้การสูญเสียของของแข็งที่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำได้สูง แต่ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อถั่วมากกว่า 8:1 ทำให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ไม่เพียงพอกับการฟอร์มเจลเมื่อใช้ GDL 1.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ $CaSO_4$ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มข้นของสารตกตะกอนเดียวกัน ถ้าเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อถั่วสูงขึ้น จะทำให้ได้เจลที่อ่อนนิ่ม เจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนิ่มเมื่อนำไปถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) จะเห็นโครงสร้างร่างแหประกอบด้วย aggregates ที่มีขนาดเล็ก การจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบและไม่แน่นหนา แต่ที่ระดับอัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเดียวกัน หากเพิ่มปริมาณสารตกตะกอนก็จะทำให้ได้เจลที่แข็งขึ้น เจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งเมื่อนำไปถ่ายภาพ SEM จะเห็นโครงสร้างร่างแหประกอบด้วย aggregates ที่มีขนาดใหญ่ การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบและแน่นหนา

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการออกแรงกดเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL 1 เปอร์เซ็นต์ และ $CaSO_4$ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โครงสร้างภายในจากภาพถ่าย SEM ของเจลทั้งสองมีลักษณะใกล้เคียงกัน ผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเจลทั้งสอง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับชนิดและปริมาณของสารตกตะกอนต่อค่าความแข็งของเจลที่หาได้จากการศึกษาครั้งนี้ จะช่วยทำให้สามารถเลือกผลิตเจลที่มีความแข็งยืดหยุ่นตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 texture analysis of soy curd was done by the compression test. Packaged tofu (35 mm diameter, 25 mm height) was compressed to 40% deformation by the plunger having diameter of 75 mm. The compression speed was 0.5 mm/sec. The distinction of soy curd texture was clearly obtained by this method.

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 composition, the resulting gels from SJ. 4 were stiff and elastic. The factor of soaking temperature was examine. After soaking at 5° C for 3 hr, the weight of soaked soybean was maintained at 2.0 ± 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 $NaHCO_3$ (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 $NaHCO_3$. However, gel from those soymilks could not form when using 1 % of gluconodeltalactone (GDL) as coagulant. pH of soymilk was increased when added $NaHCO_3$ in soaking water. This causes the excess of anion compared with available protorn from GDL (1 %) . The effect of heating temperature on gel formation when using GDL or $CaSO_4$ as coagulants was examined. The present study found that the optimum temperature for soymilk contained GDL or $CaSO_4$ 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 $CaSO_4$ was greater than 2.5 %(dry bean), the packaged tofu was

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 % $CaSO_4$. In sprite 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 $CaSO_4$ were analyzed by compression test. The texture analysis show that there were no significant difference between gel formed by 1 % GDL and 1.5 % $CaSO_4$ 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 $CaSO_4$ gel. From the present study, the desirable gel strength can be achieved by using correlation of water : bean ratio and coagulant concentration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

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

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

เต้าหู้ (Tofu) จัดเป็นอาหารที่มีลักษณะคล้ายเจลได้จากการตกตะกอนโปรตีนน้ำนมถั่วเหลืองโดยสารตัวตกตะกอน ปริมาณโปรตีน กรรมวิธีการผลิต ชนิดความเข้มข้นของตัวตกตะกอนมีผลต่อคุณภาพของเจล คุณภาพของเจลที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือลักษณะของเนื้อสัมผัส เนื่องจากเจลเป็นของแข็งกึ่งของเหลว (semi-solid) การตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสจึงทำได้ยากมีข้อจำกัดสำหรับในประเทศไทยในห้องปฏิบัติการเคมีอาหารในโรงงานอุตสาหกรรม การตรวจวัดเนื้อสัมผัสของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง ส่วนใหญ่ใช้วิธีการชิมแทนเครื่องวัด ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญดังกล่าว จึงจะศึกษาหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลจากโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเครื่องมือตรวจวัดเนื้อสัมผัส ซึ่งรวมถึงวิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ เพื่อทำให้การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เจลที่ได้จากถั่วเหลืองมีมาตราฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพของเจลขึ้นกับปัจจัยหลายด้านดังที่กล่าวมาข้างต้น ความเข้าใจในเรื่องของอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ต่อคุณภาพของเจลเต้าหู้ที่ได้ จะสามารถทำให้ผู้ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถควบคุมการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เจลเต้าหู้ที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงจะศึกษาผลของปัจจัย อาทิเช่น อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลือง สภาวะในการผลิต ชนิดและปริมาณของสารตัวตกตะกอน และพันธุ์ของถั่ว เพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพเจลที่ดี อันเป็นการช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมการใช้โปรตีนจากถั่วเหลือง รวมถึงเป็นการส่งเสริมการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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, Manchurn bean และ Soybean ซึ่งชื่อ Soybean เป็นที่ยอมรับกันมากที่สุด (กองส่งเสริมพืชพันธุ์ , 2531)

พันธุ์ของถั่วเหลือง ที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธ์ดังเช่น

1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 1 (SJ. 1) ต้นอ่อนอยู่เหนือพื้นดิน มีสีม่วง ใบเลี้ยงสีเขียว ลำต้นตั้งตรงลักษณะทอดยอด ใบมีลักษณะกว้าง ใบบาง มีขนสีน้ำตาลอ่อน ดอกสีม่วง ฝักจะมีสีน้ำตาลอ่อนแตกง่าย เมื่อแก่เปลือกเมล็ดมีสีเหลือง ตา (hilum) สีดำ เมล็ดค่อนข้างกลมหรือลักษณะรูปไข่ ผิวมัน ขนาดค่อนข้างเล็ก คือ น้ำหนัก 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 ขนาดเมล็ดค่อนข้างเล็กคือมีน้ำหนัก 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 ผิวสีเหลืองค่อนข้างจะด้าน ตาสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดใหญ่ คือ มีน้ำหนัก 100 เมล็ด หนัก 14-15 กรัม เป็นพันธ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด

1.4 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (SJ. 5) ลักษณะต้นอ่อนมีสีม่วง ส่วนใบเลี้ยงมีสีเขียว และค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองแล้วหลุดร่วงในที่สุด ลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด ใบจริงเป็นชนิดใบกว้าง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานใบกว้าง ปลายใบแหลม ใบหนาสีเขียวเข้ม มีขนสีน้ำตาลค่อนข้างอ่อน ดอกมีสีม่วง ฝักถั่วเหลืองจะเปลี่ยนสีของฝักจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและเมื่อถึงระยะแก่เต็มที่ฝักจะเป็นสีน้ำตาล เมล็ดค่อนข้างด้านไม่เป็นผิวมัน ตาเมล็ดสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดใหญ่ปานกลาง คือ น้ำหนัก 100 เมล็ด 14-15.5 กรัม

1.5 ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย 1 (Sukhothai 1 : ST. 1) ต้นอ่อนมีสีม่วง ใบเลี้ยงมีสีเขียวเมื่อต้นกล้าเจริญเติบโตและแตกใบจริงใบแรกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและหลุดร่วงในที่สุด ลำต้นตั้งตรง ลักษณะทอดยอด ใบย่อยแต่ละใบมีลักษณะเป็นใบแคบ และใบยาวคล้ายใบผักบุ้ง ใบค่อนข้างหนา สีเขียว 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 ฝักเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลโทนสีเหลืองทอง เปลือกเมล็ดมีสีเหลืองนวล ผิวค่อนข้างเป็นมัน ตาสีเหลืองอ่อน เมล็ดใหญ่ คือ น้ำหนัก 100 เมล็ด หนักตั้งแต่ 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

2. เจลโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนในถั่วเหลืองมีคุณสมบัติทางด้านหน้าที่ (Functional property) ที่สามารถเกิดการฟอร์มเจล การเกิดเจลสามารถทำได้โดยการให้ความร้อน (Heat-induced gel) หรือการใช้สารตกตะกอนโปรตีน (Coagulant) เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จากสารตกตะกอนที่รู้จักกันดี คือ เต้าหู้ หรือที่คนญี่ปุ่นเรียก โตฟู (Tofu) คนเวียดนามเรียก แดนฟู (Dan fu) คนจีนเรียกเต้าฟู (Teou fu) หรือเตาฟูโฮ (Tou fu ho) และฝรั่งเรียก Soybean curd (Smith, 1895)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต้าหู้ได้ทำขึ้นครั้งแรก ในราชวงศ์ฮาน (Han) สมัยไฮยนานวาง (Huai Nan Wang) คริสต์ศักราชที่ 22 ที่เมือง Luian (Shih,1918) เต้าหู้หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่า เนื้อไม่มีกระดูก "The Meat without a Bone" มีสีครีมขาว อ่อนนุ่ม อุ้มน้ำและย่อยง่าย 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 เต้าฮวย เต้าหู้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในเรื่องสารที่ใช้ตกตะกอนให้เป็นเจลเต้าหู้ ซึ่งทำให้เต้าหู้มีลักษณะแข็งอ่อนแตกต่างกัน สารที่ใช้ตกตะกอนเต้าหู้ได้ เช่น $MgSO_4.7H_2O$, $CaSO_4.2H_2O$, $CaCl_2.2H_2O$ และ Glucono-δ-Lactone ส่วนรูปร่างลักษณะเฉพาะของเต้าหู้แต่ละชนิด ก็มีลักษณะแตกต่างกันตามแม่พิมพ์ หรือภาชนะที่ใช้ใส่ หรือประเพณีนิยมของผู้บริโภค เต้าหู้สดที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีกลิ่น รสจืด และมีสีขาวนวล (อุดม และ สมชาย , 2519)

3. กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยการใช้สารตกตะกอน

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

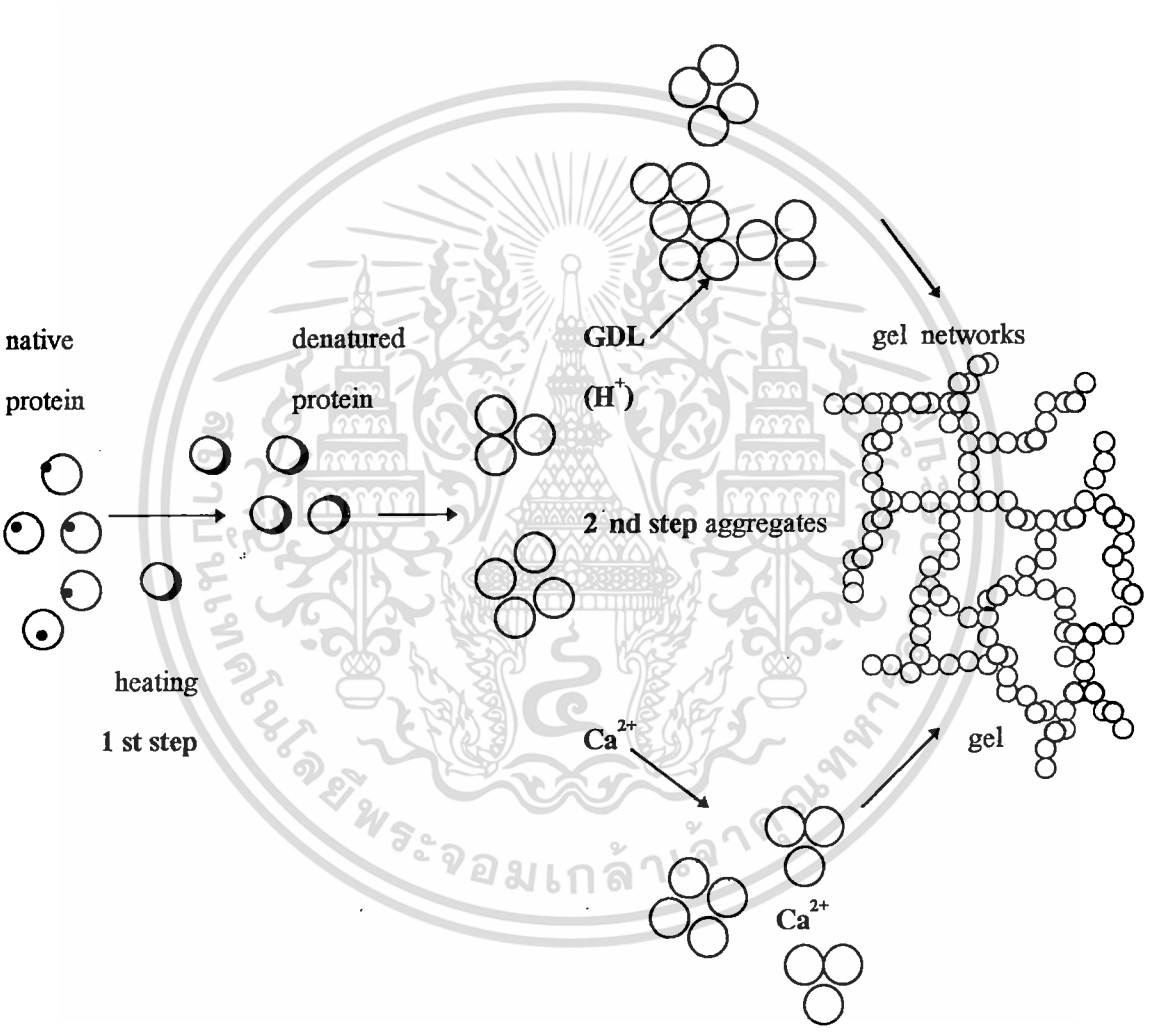
ขั้นตอนที่หนึ่ง :- โมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งปกติมีลักษณะทรงกลม (globular protein) เมื่อถูกความร้อนจะทำให้ถูกทำลายสภาพธรรมชาติ (denaturation) ทำให้โมเลกุลที่เคยอัดแน่น (compact) มีการคลายตัวออก เป็นผลให้ส่วนของโปรตีนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มีโอกาสที่จะกระจายตัวออกมาด้านนอกโมเลกุลเกิดการสร้าง Hydrophobic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

ขั้นตอนที่สอง :- เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนที่ถูกทำลายสภาพธรรมชาติ (denatured protein) มีประจุรวมเป็นลบ (Kohyama และ Nishinari, 1993) ประจุบวกที่ได้จากโปรตอนของ GDL หรือแคลเซียมอิออน ซึ่งเป็นสารตกตะกอนที่เติมลงไปจะไปทำให้โมเลกุลของโปรตีนเหล่านี้มีสภาพเป็นกลาง (neutral) เป็นผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้มีการสร้าง Hydrophobic bonding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างโมเลกุลที่เป็นกลางเหล่านี้เกิดการฟอร์มของ aggregate เกิดโครงสร้างร่างแห (network structure) ที่สามารถเก็บกักน้ำเวย์เอาไว้ได้ อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดอะมิโน หรือ side chain ที่มีค่า Isoelectric point ต่างกัน การเกิดพันธะระหว่างประจุ-ประจุ (charge-charge interaction) อาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องบ้างกับการเกิดเจล

ภาพที่ 1



○ = โมเลกุลของโปรตีน ● = hydrophobic regions

แสดงกลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง เมื่อใช้แคลเซียมซัลเฟตและกลูโคโน-เดลต้าแลคโทน

ที่มา : Kohyama, Sano และ Doi (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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. โปรตีนของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน 35-40 เปอร์เซ็นต์ แต่จะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์ คือ มีปริมาณของกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (Sulfur containing amino acid) ที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ กรดอะมิโน เมทิลโอนีน+ซิสตีน (Methionine + Cystine) น้อย แต่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (Lysine) สูง องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองขึ้นกับพันธุ์ของถั่วเหลือง สภาพของสิ่งแวดล้อม และดินที่ใช้เพาะปลูกถั่วเหลือง (สมชาย, 2535)

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 แต่เนื่องจากได้มีนักวิจัยค้นคว้าและกำหนดชื่อเรียกกันตามลักษณะต่าง ๆ เช่น ใช้บรรทัดฐานของ Sedimentation Coefficient (S) ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของโมเลกุลของโปรตีนโดยค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 1) การฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลืองจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับโมเลกุลของ 7S และ 11S globulin การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใด ๆ ของโมเลกุลทั้งสองจะมีผลต่อการเกิดเจล

ตารางที่ 1

ปริมาณและชนิดของโปรตีนโดยการใช้ Ultracentrifuge แยกจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้

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

ที่มา : วันชัย (2527)

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

Smith และคณะ (1960) พบว่า ถั่วเหลืองที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของพันธุ์จะทำให้ลักษณะความแข็งของเจลเต้าหู้ที่ได้แตกต่างกันไป การเลือกถั่วเหลืองที่จะนำมาใช้ ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต้าหู้ เพื่อที่จะให้เต้าหู้มีผลผลิตสูง (yield) และได้เนื้อเต้าหู้ที่เหมาะสมจะต้องเลือกถั่วเหลืองที่ไม่เก็บไว้นานหลายเดือน หรือเป็นถั่วเก่าเก็บ และควรเป็นถั่วเหลืองที่เก็บไว้ในสภาวะที่พอเหมาะ กล่าวคือ อุณหภูมิและความชื้นต่ำ (วันชัย, 2527) ทั้งนี้เนื่องจากถั่วเหลืองที่เก็บไว้นานเกินไป หรือเก็บไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะมีค่าของ Nitrogen Solubility Index (NSI) ต่ำลงทำให้การสกัดเอาโปรตีนออกมาในนมถั่วเหลืองน้อยลง ฉรงค์ (2528) กล่าวว่า ถั่วเหลืองที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้ควรมีขนาดใหญ่ เปลือกบาง ขั้วเมล็ดไม่มีสีดำ อายุไม่เกิน 6 เดือน ถั่วเก่ามากจะให้เต้าหู้น้อย ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมาก เป็นที่ให้สารละลายโปรตีน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเนื้อเต้าหู้ภายหลังการตกตะกอนแล้ว ถั่วเหลืองที่ดีจะต้องมีของแข็ง (โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท เกลือแร่ต่าง ๆ)ละลายออกมามาก และให้กลิ่นถั่วน้อย ไม่มีรสขม ให้นมสีขาว ถั่วเหลืองที่ดีควรมีขนาดเมล็ดใหญ่ สีของตา (hilum) ถั่วเหลืองควรจะใกล้เคียงกับสีของเมล็ดถั่วเหลือง และมีการละลายดี นอกจากนี้ไม่ควรมีเมล็ดเน่าเสีย ก้อนหิน ก้อนดิน ปะปนอยู่ ขนาดของเมล็ดมีความสำคัญมาก ถั่วเหลืองที่มีเมล็ดขนาดใหญ่จะให้ส่วนที่เป็นเนื้อมาก สีของเมล็ดมีผลต่อสีของน้ำนมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้มาก ถั่วเหลืองที่ตาสีดำหรือสีที่เข้มกว่าเปลือกมาก จะทำให้นมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้มีสีคล้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองโดยไม่เอาเปลือกถั่วเหลืองออกก่อน ถั่วเหลืองที่มีของแข็งละลายน้ำได้มากจะให้ผลผลิตสูง

4.1.2. น้ำ น้ำที่เหมาะควรมีอุณหภูมิต่ำ สะอาด รสดี และมีราคาไม่แพง น้ำที่ใช้อาจมาจากแหล่งใดก็ได้ แต่ถ้าเป็นน้ำบ่อจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำประปา ทั้งนี้เพราะว่าน้ำประปามีอุณหภูมิสูงและมักจะมีคลอรีนผสมอยู่ระหว่าง 0.025-2.00 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งอาจจะทำให้เต้าหู้มีกลิ่นผิดปกติและมีเนื้อนิ่มกว่าปกติ ถ้าจำเป็นต้องใช้น้ำประปาควรผ่านกระบวนการกำจัดคลอรีนเสียก่อน โดยนำไปกรองผ่านผงถ่าน นอกจากนี้ถ้าจำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งอื่น ควรมีการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ก่อน (ฉรงค์, 2528)

4.1.3. สารตกตะกอน ในกระบวนการผลิตเจลเต้าหู้ขั้นตอนที่สำคัญ คือ การเติมสารตกตะกอนเพื่อให้เกิดเจล Watanabe และคณะ (1964) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารตกตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่มีอยู่ในน้ำนม สารเคมีที่ใช้กันอยู่มีหลายชนิด คือ

สารประกอบคลอไรด์ ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2.2H_2O$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) น้ำทะเล สารพวกนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสหอมหวาน เนื้อแข็ง เหมาะในการทำเต้าหู้ทอด (Aburage Tofu) (สมจิตและเพลินใจ, 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบซัลเฟต สารประกอบแคลเซียมซัลเฟต เป็นสารประกอบที่อยู่ในรูปของยิปซั่ม ชาวจีนส่วนใหญ่ใช้ในรูปของปูนพลาสเตอร์ ซึ่งได้จากการเผายิปซั่มที่อุณหภูมิสูงกว่า 46 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสูญเสียน้ำไปเป็นผลึก คนจีนเรียกสารประกอบชนิดนี้ว่า "เจี๋ยะกอ" สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมักจะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วถ้าสัมผัสกับอากาศ ไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 ปี วันชัย (2527) พบว่า แคลเซียมซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนที่ให้เต้าหู้มีลักษณะที่ดี และแคลเซียมซัลเฟตเองก็มีราคาถูกหาได้ง่าย การใช้แคลเซียมซัลเฟตในอัตราที่น้อย คือน้อยกว่า 0.008 โมล่าร์ จะไม่เกิดการจับตัวเป็นเต้าหู้ แต่อาจจะทำให้ได้น้ำนมนั้นมีลักษณะข้นขึ้นมาบ้าง และถ้าใช้ปริมาณ 0.01 โมล่าร์ของแคลเซียมซัลเฟตจะเกิดเป็นตะกอนบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ โดยที่ไม่สามารถนำมากดเป็นเต้าหู้ได้ ระดับการใช้ที่ควรจะใช้คืออยู่ในช่วง 0.02-0.04 โมล่าร์ ในการเตรียมทำเต้าหู้หลอดจะต้องนำสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมาละลายน้ำก่อน และต้องระมัดระวังไม่ให้สัมผัสกับน้ำเกิน 30 วินาที มิฉะนั้นปฏิกิริยาจะลดลงอย่างรวดเร็ว (ณรงค์, 2528) นอกจากนี้สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตจะทำให้เต้าหู้ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็งเหมาะในการทำเต้าหู้อ่อน เต้าฮวย ปริมาณที่ใช้ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง สารอีกตัวหนึ่ง คือ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$) หรือดีเกลือ เป็นสารสีขาว รสขมเฝื่อน เหมาะในการทำเต้าหู้แข็ง (สมจิตและเพลินใจ, 2538)

สารกลูโคโนเดลต้าแลคโทน (GDL) จะนำไปผสมกับนมถั่วเหลืองที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วนำไปต้มให้ร้อน สารประกอบชนิดนี้จะเปลี่ยนไปเป็นกรดกลูโคนิค ซึ่งอาจทำให้นมถั่วเหลืองตกตะกอน เป็นกระบวนการตกตะกอน ที่คล้าย ๆ กับกรดที่เกิดจากจุลินทรีย์ สารกลูโคโนเดลต้าแลคโทนเป็นผลึกสีขาว ละเอียด ไม่มีกลิ่นรส เตรียมจากแป้งข้าวโพดโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์ การทำงานของสารกลูโคโนเดลต้าแลคโทนแตกต่างไปจากการทำงานของสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมาก กล่าวคือ สารแลคโทนจะให้โปรตอนซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน ในขณะที่สารประกอบซัลเฟตนั้นตัวอิออนของแคลเซียมทำให้โปรตีนตกตะกอน โดยปกติจะนิยมใช้สารกลูโคโนเดลต้าแลคโทนกับการผลิตเต้าหู้หลอด ไม่นิยมใช้กับเต้าหู้แข็งกับเต้าฮวย เต้าหู้หลอดที่ได้มีลักษณะเหมือนเจลลี่ นุ่ม ไม่มีกลิ่นรส ปริมาณที่ใช้ประมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง หรือ 0.33 เปอร์เซ็นต์ของนมถั่วเหลือง ก่อนใช้ควรละลายในน้ำเย็นเล็กน้อยก่อนใส่ลงในนมถั่วเหลือง แต่ไม่ควรทิ้งไว้นานเกิน 10 นาที ในปัจจุบันนิยมที่จะใช้สารแลคโทนผสมกับแคลเซียมซัลเฟตในอัตราส่วน 8 ต่อ 2 กล่าวกันว่าของผสมนี้จะทำให้เต้าหู้หลอดมีรสดีกว่าการใช้สารแลคโทนแต่เพียงอย่างเดียว (ณรงค์, 2528)

กรด ที่นิยมใช้มีทั้งกรดอินทรีย์ และกรดแร่ เช่น กรดแลคติค น้ำส้ม กรดเกลือ กรดมะนาว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำผลไม้ในการตกตะกอนด้วย เช่น น้ำส้มคั้น น้ำมะนาว น้ำสับปะรด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกรอบ หักง่าย มีรสเฝื่อนเล็กน้อย (สมจิตและเพลินใจ, 2538)

4.2 กรรมวิธีการผลิตเจลโปรตีนจากถั่วเหลือง

การผลิตเจลโปรตีนถั่วเหลืองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการผลิตนมถั่วเหลืองให้มีความเข้มข้นพอเหมาะ ปราศจากกลิ่นรส ขั้นตอนที่สองเป็นการนำนมถั่วเหลืองที่ได้ไปตกตะกอน

ขั้นตอนที่ 1. การผลิตนมถั่วเหลือง ขั้นตอนการผลิตนมถั่วเหลืองพอสรุปได้ดังนี้

ก. การเอาเปลือกถั่วเหลืองออก ในการผลิตนมถั่วเหลือง อาจใช้ถั่วเหลืองทั้งเปลือกหรือถั่วเหลืองที่เอาเปลือกออกแล้วก็ได้ ถ้าเป็นถั่วเหลืองที่เอาเปลือกออกจะได้นมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วน้อย ไม่มีรสขม และมีสีขาวน่ารับประทาน แต่ถ้าใช้ถั่วเหลืองทั้งเปลือกจะให้ผลตรงกันข้าม คือมีกลิ่นถั่วแรง สีคล้ำ และมีรสขม การเอาเปลือกถั่วเหลืองออกจะต้องทำก่อนนำไปแช่น้ำ โดยนำถั่วไปโม่ผ่าซีก (ฉรงค์, 2528)

ข. การแช่ถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่ใช้ทำนมถั่วเหลืองอาจผ่านการแช่น้ำก่อนการบดหรือไม่ก็ได้ แต่การแช่น้ำก่อนการบดจะช่วยให้บดได้ง่าย มีของแข็งและโปรตีนละลายน้ำได้มากขึ้น การแช่น้ำอาจใช้เวลาต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ Hsu, Kim และ Wilson (1983) พบว่าหากใช้อุณหภูมิต่ำในการแช่ถั่วจะทำให้ระยะเวลาในการดูดซับน้ำของถั่วเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการแช่ถั่วจะทำให้ระยะเวลาในการดูดซับน้ำของถั่วลดลง และหากใช้น้ำที่ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) ในการแช่ถั่วที่ระดับต่างกันจะทำให้การดูดซับน้ำของถั่วแตกต่างกันด้วย กล่าวคือ ถ้าใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นยิ่งสูง อัตราการดูดซับน้ำของถั่วเหลืองก็จะยิ่งลดลง

ค. การบดถั่วเหลือง อุณหภูมิของถั่วเหลืองที่บดแล้วมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาที่ใช้ต้มให้น้อยลง โดยปกติแล้วควรใช้น้ำ 1 เท่าตัวในขณะทำการบดถั่วเหลือง (ฉรงค์, 2528) ถ้าใส่น้ำขณะบดมากถั่วที่ถูกบดจะหยาบ ทำให้ได้โปรตีนในช่วงการสกัดน้อยลง เป็นผลทำให้เต้าหู้มีเนื้อหยาบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Beddows และ Wong (1987a) ได้ทำการศึกษาทดลองปรับอัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลือง (9:1 ถึง 14:1) ที่มีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของ Silken tofu โดยใช้ $CaSO_4$ (0.4 กรัมต่อ 25 มิลลิลิตรของน้ำนม) เป็นตัวตกตะกอน พบว่า อัตราส่วนในช่วง 10:1 (น้ำ : ถั่วเหลือง) จะให้คุณภาพของ Silken tofu ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ

สำหรับในประเทศไทย เต้าหู้หลอดได้จากการตกตะกอนโปรตีนด้วยตัวตกตะกอน glucono-δ-lactone (GDL) อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเหลือง เท่ากับ 5 : 1 โดยน้ำหนัก (สมชาย (2538)

ง. การต้มน้ำนมถั่วเหลือง ความร้อนทำให้น้ำนมมีกลิ่นดีขึ้น เก็บได้นาน สกัดน้ำนมได้ง่าย เปลี่ยนโปรตีนให้อยู่ในรูปที่ตกตะกอนได้ง่าย

อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนที่สูงเกินไปอาจไปทำลายกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย อาทิเช่น Methionie และ Cystine

จ. การกรองเอากากออก คนญี่ปุ่นส่วนใหญ่นิยมที่จะต้มถั่วบดก่อนที่จะนำไปกรอง การต้มเป็นการลดความหนืดของถั่วเหลืองให้น้อยลง ทำให้กรองได้ง่าย พร้อมทั้งมีโปรตีนและของแข็งอื่น ๆ ละลายออกมาได้มากด้วย

ฉ. การล้างกาก ควรนำกากมาล้างด้วยน้ำร้อนอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จะช่วยให้โปรตีนละลายออกมามากขึ้น (ณรงค์, 2528)

ขั้นตอนที่ 2. การตกตะกอนโปรตีน การตกตะกอนโปรตีนเป็นขั้นตอนที่ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมไว้จับตัวกันเป็นก้อน มีลักษณะเหมือนเจล การตกตะกอนโปรตีน เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เพราะมีปัจจัยและสภาวะหลายอย่างที่เกี่ยวข้องอันมีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่

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

สมชาย และคณะ (2525) กล่าวว่าการใช้สารตกตะกอนในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ได้น้ำเวย์ (Whey) ซึ่งเป็นส่วนของน้ำนมถั่วเหลืองที่ตกตะกอนโปรตีนออกไปแล้วใส ถ้าหากใช้ในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้โปรตีนตกตะกอนไม่หมด น้ำเวย์จะขุ่น แต่ถ้าใช้สารในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้คุณภาพของเต้าหู้เสียไป เช่นการใช้กลูโคโนเดลต้าแลคโทนมากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้งในการทำเต้าหู้อ่อนจะทำให้กลิ่นรสของเต้าหู้นั้นเสียไป คือจะมีรสเปรี้ยว ขมเฝื่อน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Lu, Carter และ Chung (1980) ศึกษาถึงการใช้เกลือแคลเซียมชนิดต่าง ๆ สำหรับการตกตะกอนเต้าหู้แข็ง พบว่า ปริมาณของสารตกตะกอนที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนของเจลโปรตีนถั่วเหลืองนั้นแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตกตะกอนดัง คือ อะซิคติคแอสิด (acetic acid) และ แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) จะใช้ปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมอะซิเตด (calcium acetate) จะใช้ปริมาณ 0.15 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมแลค-เตส (calcium lactate) และกลูโคโนเดลต้าแลคโทน (glucono-δ-lactone) จะใช้ปริมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) จะใช้ปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ แคลเซียม-กลูโคเนต (calcium gluconate) จะใช้ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และสารตกตะกอนที่ใช้แตกต่างกันจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนถั่วเหลืองแตกต่างกันด้วย

สมชายและคณะ (2525) ได้ทดลองใช้ตัวตกตะกอนต่าง ๆ 4 ชนิด คือ $CaCl_2.2H_2O$, $CaSO_4.2H_2O$, GDL และ GDL:$CaSO_4.2H_2O$ (7:3) ในการผลิตเต้าหู้หลอด พบว่าตัวตกตะกอน $CaCl_2.2H_2O$ ใช้ในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของเต้าหู้หลอดอยู่ในระดับปานกลางส่วนกลิ่นรสของเต้าหู้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ชิม เนื่องจากมีรสขมเฝื่อนเพิ่มมากขึ้น สำหรับตัวตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ใช้ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ จะให้สี กลิ่นรส และเนื้อเต้าหู้ เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมค่อนข้างสูง สำหรับตัวตกตะกอน GDL จะใช้ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จะได้เต้าหู้หลอดที่มีลักษณะ สี กลิ่นรส และเนื้อเต้าหู้ที่ผู้ชิมยอมรับค่อนข้างสูง สำหรับตัวตกตะกอน GDL : $CaSO_4.2H_2O$ นั้น การใช้ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จะให้ สี กลิ่นรส และเนื้อเต้าหู้เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมในระดับสูง และการใช้ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ก็ยังได้เต้าหู้หลอดที่มีลักษณะต่าง ๆ ที่ผู้ชิมยอมรับได้ในระดับปานกลาง

เยาวลักษณ์, อำนวยโชค และ เพียรชัย (2530) ได้ทดลองใช้สารตกตะกอน $CaCl_2.2H_2O$ 0.2 เปอร์เซ็นต์, $CaSO_4.2H_2O$ 0.4 เปอร์เซ็นต์, $(CH_3COO)_2Ca$ 0.3 เปอร์เซ็นต์, $MgSO_4.7H_2O$ 0.4 เปอร์เซ็นต์ และ CH_3COOH 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตเต้าหู้แข็ง พบว่าคุณสมบัติของเต้าหู้ที่ได้จากการใช้ $MgSO_4.7H_2O$ 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) ศึกษาถึงสภาพที่อำนวยประโยชน์ต่อผลผลิต และคุณสมบัติของ Silken tofu จากถั่วเหลือง พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง 10 ต่อ 1 ความเข้มข้นของสารตกตะกอนในระหว่างการผสมที่เหมาะสม คือ ปริมาณของแคลเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 9-10 มิลลิโมล จะให้ผลผลิตและเนื้อสัมผัสที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32078

สมชาย (2533) ได้ทำการศึกษาทดลอง พบว่า เต้าหู้หลอดที่ใช้แคลเซียม-ซัลเฟตในปริมาณร้อยละ 2-3 โดยน้ำหนักของถั่วเหลืองแห้งทั้งเมล็ด และเต้าหู้หลอดที่ใช้ กลูโคโนเดลต้าแลคโทน ในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของถั่วเหลืองแห้งทั้งเมล็ด เป็นสารตกตะกอนโปรตีนจากน้ำนมถั่วเหลืองเป็นที่ยอมรับในการบริโภคจากผู้ชิมสูงสุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Sun และ Breene (1991) ศึกษาถึงความเข้มข้นของแคลเซียมซัลเฟตที่มีอิทธิพลต่อปริมาณ และคุณภาพของเต้าหู้ที่ได้จากถั่วเหลือง 5 ชนิด คือ Vinto, Corsoy, Hardin, Stine 2510 และ Stine 2810 โดยหาปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟตที่เหมาะสม ปริมาณผลผลิต ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีน และคุณภาพของเนื้อสัมผัส ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารตกตะกอนแคลเซียมที่เหมาะสมกับถั่วทั้ง 5 ชนิดคือที่ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล แต่ถั่วทั้ง 5 ชนิดที่ความเข้มข้นเท่ากันจะมีความแตกต่างกันทั้งปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน ปริมาณของแข็ง และคุณภาพเนื้อสัมผัส

ข. อุณหภูมิขณะทำการตกตะกอน ถ้าอุณหภูมิสูง จะเกิดปฏิกิริยาเร็ว ใช้สารตกตะกอนน้อย เต้าหู้ที่ได้มีเนื้อแข็งหยาบ อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นกับชนิดของเจลเต้าหู้

ค. การผสมขณะตกตะกอน ต้องไม่แรงนัก ถ้าคนมากตะกอนจะแข็งกระด้าง มีฟองอากาศ

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

การกดทับ ในกรณีของเต้าหู้อ่อนทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง โดยการกำจัดน้ำเวย์ออกไปบางส่วน ทำได้โดยระยะแรกกดทับด้วยน้ำหนักน้อย ประมาณ 2-4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 5 นาที แล้วเพิ่มน้ำหนักเป็น 15 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 10-15 นาที แต่ถ้าเป็นเต้าหู้แข็งก็ใช้น้ำหนัก 20-100 กรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 20-30 นาที (สมจิตและเพลินใจ, 2538) หลังจากนั้นยกพิมพ์แช่ลงในน้ำเย็น คว่ำเต้าหู้ออก การแช่น้ำจะช่วยให้แกะออกจากพิมพ์ได้ง่ายโดยไม่ติดผ้า อย่างไรก็ตาม Beddows และ Wong (1987c) พบว่าน้ำหนักที่ใช้ในการกดทับ เพื่ออัดตะกอน Sliken tofu ที่ได้จากอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง 10 ต่อ 1 และสารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต ความเข้มข้น 9-10 มิลลิโมล ที่ดี คือ 4-6 กรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยจะทำให้ผลผลิต ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณของแข็ง และโปรตีนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และลักษณะเต้าหู้ที่ได้เรียบสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เต้าหู้หลอด

Kinugoshi Tofu ได้จากการนำน้ำนมถั่วเหลืองมาต้ม เติมสารตกตะกอน ซึ่งเป็นเต้าหู้ที่ไม่มีการกดทับน้ำเวย์ออกจากตะกอนโปรตีน ผู้บริโภคชาวญี่ปุ่นนิยมรับประทานกันมาก สำหรับในประเทศไทย การทำเจลเต้าหู้ที่ไม่มีการกำจัดน้ำเวย์ออก นิยมบรรจุอยู่ในถุง หรือที่เรียกว่า "เต้าหู้หลอด" ซึ่งกรรมวิธีการผลิตได้จากการนำนมถั่วเหลือง และสารตกตะกอนบรรจุลงในถุงพลาสติคที่ทนความร้อน ขนาดของถุงพลาสติคที่ใช้มีความจุประมาณ 200-300 กรัม หลังจากนั้นผนึกปิดปากถุงให้แน่นก่อนนำไปต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-60 นาที น้ำนมถั่วเหลืองทั้งหมดก็จะแข็งตัวเป็นเจลโดยไม่มีการแยกตัวระหว่างตะกอนโปรตีนกับน้ำเวย์ การทำเต้าหู้บรรจุถุงพลาสติกโดยวิธีนี้เต้าหู้จะสะอาดมาก เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคจะถูกทำลายหมด ให้ความสะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา แม้ว่าจะมีจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้สูงเหลืออยู่บ้างก็ตาม

ในประเทศญี่ปุ่นสารตกตะกอนที่เคยนิยมใช้ คือ Nigari (แมกนีเซียมคลอไรด์ที่ได้จากน้ำทะเล) หรือ Sumashiko (แคลเซียมซัลเฟตเตรียมจากยิปซัม) แต่ปัจจุบันโรงงานส่วนใหญ่หันมานิยมใช้กลูโคโนเดลต้าแลคโทน (Kohyama และคณะ, 1992) ข้อดีของสารกลูโคโนเดลต้าแลค-โทน คือ สามารถสกัดเตรียมสารนี้ขึ้นมาได้อย่างบริสุทธิ์ และการใช้ glucono-δ-lactone ตกตะกอนเต้าหู้จะไม่ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง แต่น้ำนมถั่วเหลืองจะเริ่มแข็งตัวภายหลังจากน้ำนมถั่วเหลืองถูกทำให้ร้อนขึ้นเท่านั้น โดย glucono-δ-lactone จะเกิดการสลายตัวทำให้น้ำนมถั่วเหลืองแข็งตัวเป็นเต้าหู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60 จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่

1.2 สารตกตะกอน

1.2.1 กลูโคโนเดลต้าแลคโทน (Glucono-δ-lactone)	E.Merck	Germany
1.2.2 แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4.2H_2O$)	E.Merck	Germany
1.2.3 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.2H_2O$)	E.Merck	Germany

1.3 สารเคมี

1.3.1 โซเดียมไฮโดรคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)	E.Merck	Germany

2. อุปกรณ์ในการผลิต

2.1 เครื่องปั่นผสมอาหาร (blender)	Mx-T1PN(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 เครื่องโม่ผ่าซีกถั่วเหลือง

2.6 ถุงพลาสติก (HD) กว้าง 7 ซม. ยาว 23 ซม. บริษัททรงสวัสดิ์จำกัด ถนนราชวงศ์ แขวงจักรวรรดิ์ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพ ฯ

2.7 ตะแกรงแยกเจิร์ม

2.8 ตู้เย็น

2.9 เตาแก๊ส

2.10 หนังยาง

2.11 ครีมครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 กะละมังสเตนเลส

2.13 หม้อสเตนเลส

2.14 กระชอน

2.15 กระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร

2.16 บีกเกอร์สเตนเลส 1000 และ 2000 มิลลิลิตร

2.17 บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร

2.18 ช้อนตักสาร

2.19 ตะแกรงสะเด็ดน้ำ

2.20 ผ้าขาวบางตาถี่ ขนาดกว้าง 65 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร

3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.1 เครื่องวัด pH	Suntex SP-701	Taiwan
3.2 Refactometer	ATAGO N-1	Japan
3.3 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน		
3.3.1 เครื่องย่อย	DK 6	Italy
3.3.2 เครื่องกลั่น	VAP 30	West Germany
3.4 ตู้อบลมร้อน	E 53	Germany
3.5 เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Metter 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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สถานที่ทดลอง

4.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างภายในเจลเต้าหู้หลอด ใช้เครื่องมือ Scanning electron microscope ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. วิธีการ

5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

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

5.2 การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด

5.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เจลเต้าหู้หลอดตัวอย่างจะถูกแกะออกจากถุงอย่างประณีตก่อนใช้แม่พิมพ์ (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 มิลลิเมตรจากความสูงของตัวอย่าง 25 มิลลิเมตร (40 % deformation) ความเร็วในการกดทับ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที หัวกดจะกดทับลงบนตัวอย่างแล้วถูกดึงกลับก่อนที่กดทับลงบนตัวอย่างอีกครั้ง ลักษณะของกราฟที่ทำการกดแบบ Compression test จะถูกบันทึกและทำการแปรผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์อย่างอัตโนมัติ

5.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid)

การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำล้างถั่ว น้ำแช่ถั่ว และในน้ำนมถั่วเหลือง ใช้เครื่องมือวัด Refractometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การตรวจสอบคุณภาพของเจลเต้าหู้หลอด

5.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง (Total solid) และปริมาณโปรตีนของเจลเต้าหู้หลอดตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์โดยวิธี AOAC (1995)

5.4.2 การตรวจสอบทางกายภาพ

5.4.2.1 การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส รายละเอียดดังข้อ 5.2

5.4.2.2 การตรวจวัดสี (Color)

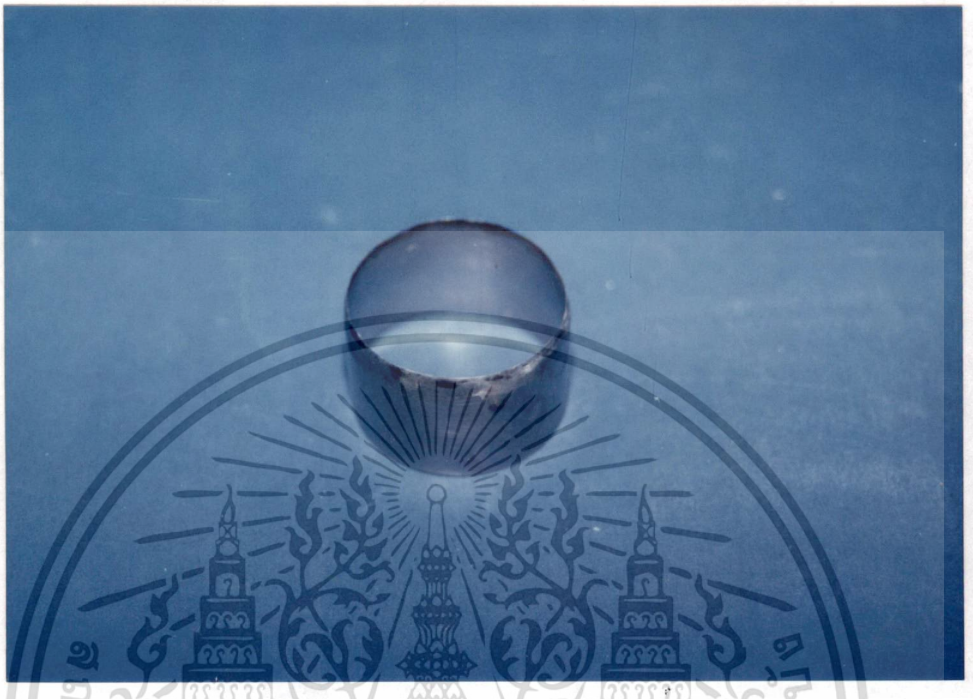
สีของเจลเต้าหู้หลอดทำการวัดด้วยเครื่องมือวัดสี (CR-300, Japan) โดยวัดในระบบ Hunter แล้วแสดงผลในเทอมของตัวแปร 3 เทอม คือ L, a และ b ซึ่งค่า L (linghtness) หมายถึงค่าความสว่าง หรือความขาว ค่า a ที่เป็น + หมายถึง สีที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีแดง ค่า a ที่เป็น - หมายถึง สีที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีเขียว และ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

5.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างภายใน (Scanning Electron Microscope)

นำตัวอย่างเจลเต้าหู้หลอดมาตัดให้มีขนาด 0.5x0.5x0.5 เซนติเมตร นำไป fixed ไว้ใน 2.5 % glutaraldehyde ใน 0.1 โมล่าร์ phosphate buffer pH 7.2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างไปล้างด้วย phosphate buffer pH 7.2 3 ครั้ง (ครั้งละ 15 นาที) และน้ำกลั่น 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 CO_2 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแล้วมาทำการหักให้ออกจากกันโดยธรรมชาติเพื่อมองดูโครงสร้างภายในที่แท้จริง แล้วนำมาติดบน stud ด้วยเทปกาว 2 หน้า นำไปเคลือบทอง ตัวอย่างทั้งหมดทำการวิเคราะห์และถ่ายภาพโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope รุ่น JSM-5410LV จาก Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

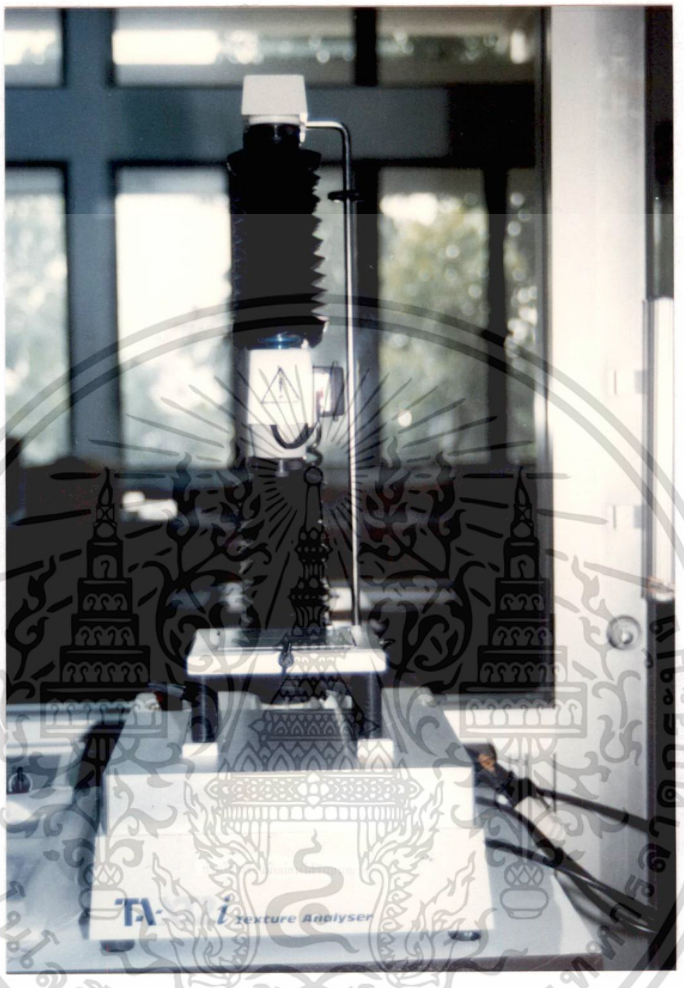
ภาพที่ 2



แสดงลักษณะของแบบพิมพ์ที่ใช้สำหรับในการกดเจลเต้าหู้หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

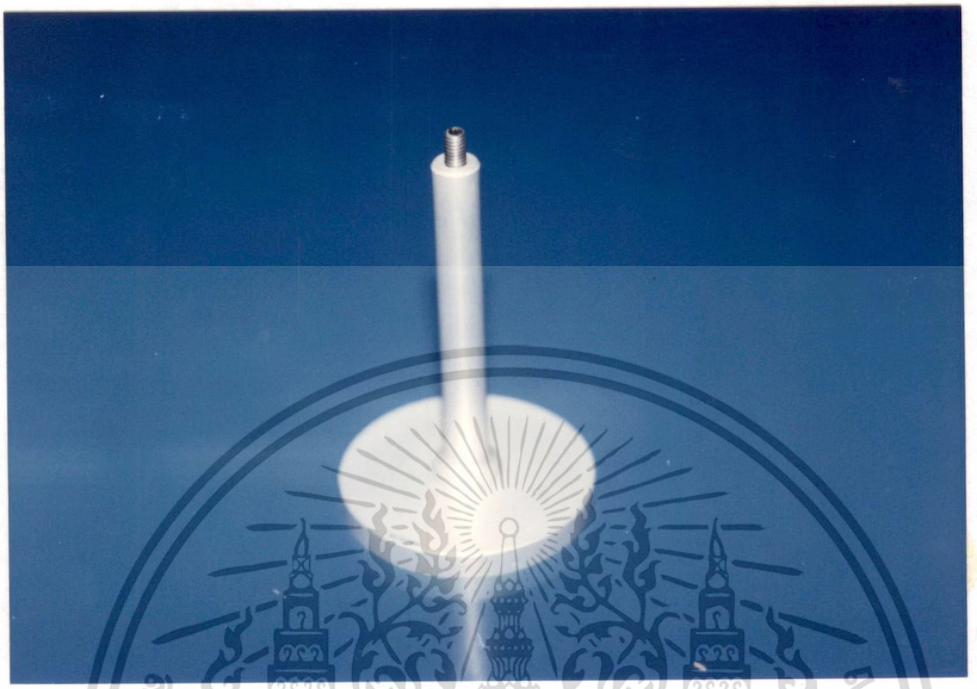
ภาพที่ 3



แสดงเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4



แสดงลักษณะของหัววัดเนื้อสัมผัส 75 mm compression platen

ภาพที่ 5

แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสีรุ่น CR-300, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเต้าหู้หลอด

5.5.1 การศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60 ถูกนำมาผลิตเป็นเจลเต้าหู้หลอดรายละเอียดดังแผนภูมิที่ 6 โดยสารตกตะกอนที่ใช้คือ กลูโคโนเดลต้าแลคโทนที่ระดับความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง แคลเซียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง และ แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง (สมชาย, 2525) และนำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4

5.5.2 การศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 โม่ผ่าซีก แยกเจิร์มและเปลือกออก นำถั่วเหลืองที่ได้ล้างทำความสะอาด แช่น้ำ และชั่งน้ำหนักถั่วที่เพิ่มขึ้นทุก 15 นาที ทำการจดบันทึกโดยอุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ทำการศึกษามีอยู่ 3 ระดับ คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ณรงค์, 2528) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง , ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ณรงค์, 2528) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และที่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ทศพร, 2527) เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปผลิตเป็นเจลเต้าหู้หลอดตามขั้นตอนดังแผนภูมิที่ 6 โดยใช้สารตกตะกอน กลูโคโนเดลต้าแลคโตนที่ระดับความเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และนำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4

5.5.3 การศึกษาผลของปริมาณสารละลาย $NaHCO_3$ ที่ใช้ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับต่างๆ

สารละลาย $NaHCO_3$ ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ถูกเติมลงในน้ำที่ใช้ในการแช่ถั่ว หลังจากนั้นนำถั่วเหลืองที่ได้ไปทำเป็นเจลเต้าหู้หลอดดังแผนภูมิที่ 6 นำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4 และวิเคราะห์หาค่า pH ของน้ำนมโดยใช้เครื่องวัด pH meter

5.5.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจล

อุณหภูมิในการให้ความร้อนในการเกิดเจลเต้าหู้หลอดที่ทำการศึกษา มี 4 ระดับ คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียส โดยจะทำการต้มน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 60 นาที ก่อนทำให้เย็นทันที เพื่อได้เจล และนำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4

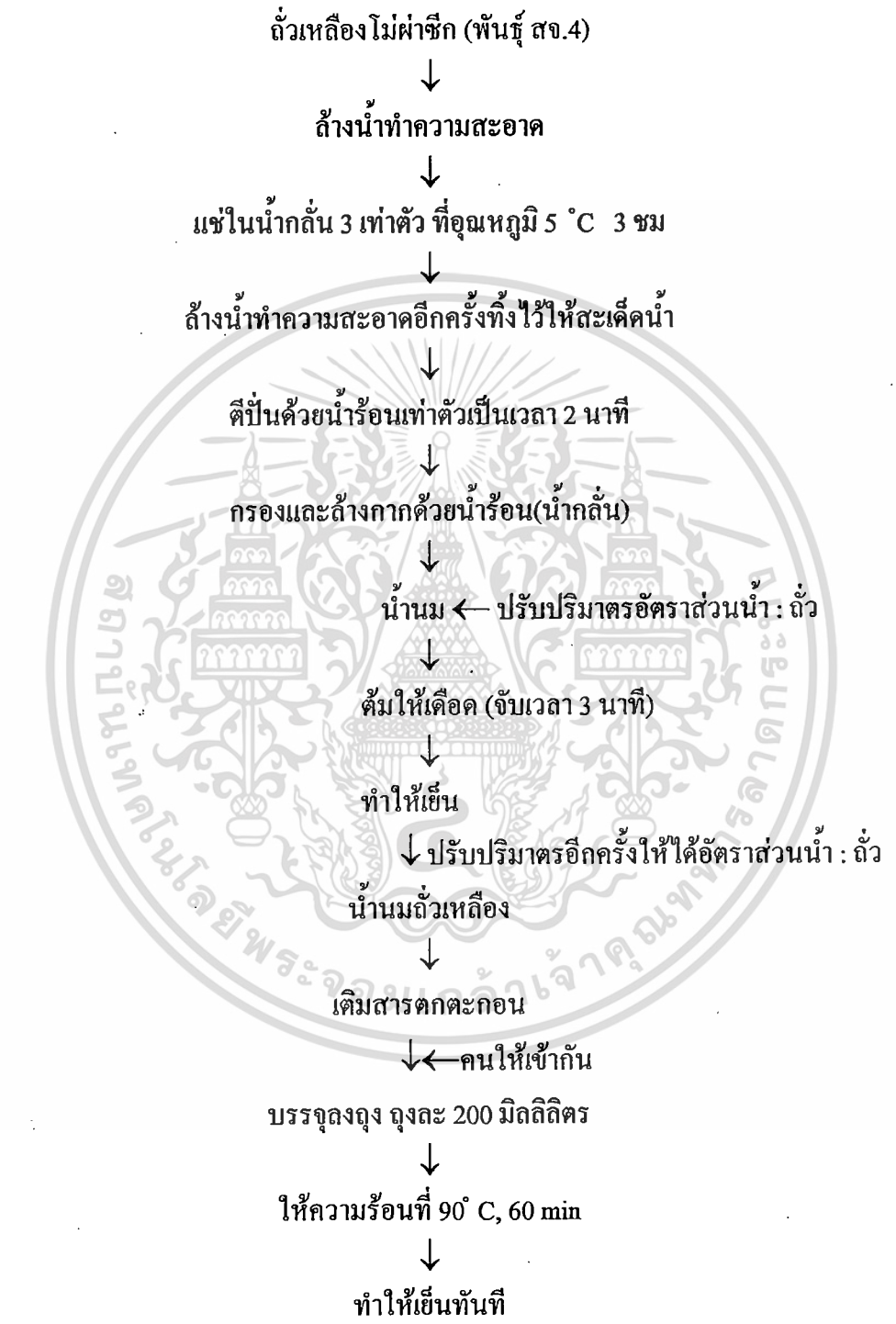
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.5 การศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน

อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักถั่วแห้งที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 8 ระดับ คือ 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 และ 10:1 และในแต่ละระดับใช้สารตกตะกอน 2 ชนิด คือ กลูโคโนเดลต้าแลคโทน และ แคลเซียมซัลเฟต โดยปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโทนที่ใช้ในการทดลอง คือ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง ส่วนระดับความเข้มข้นของแคลเซียมซัลเฟต คือ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง เจลเต้าหู้หลอดที่ผลิตได้ทุกตัวอย่าง นำไปประเมินเปรียบเทียบคุณภาพดังรายละเอียดในข้อ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 6



แสดงขั้นตอนการผลิตเจลเต้าหู้หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ ที่นำมาทำเจลเต้าหู้หลอด พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 2

แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60

องค์ประกอบทางเคมี	พันธุ์ถั่วเหลือง		
	สจ. 4	สจ. 5	เชียงใหม่ 60
โปรตีน (%)*	40.43 $\pm$ 0.36	39.24 $\pm$ 0.20	38.00 $\pm$ 0.26
ความชื้น (%)*	13.18 $\pm$ 0.25	12.51 $\pm$ 0.05	12.68 $\pm$ 0.06

* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากศูนย์วิจัยเชียงใหม่ ที่นำมาทำการทดลองจะมีน้อยกว่าปริมาณโปรตีนในถั่วพันธุ์อื่น ๆ อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองในแต่ละพันธุ์จะขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูก สภาพของฤดูกาลปลูก และวิธีการปลูก ปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองพันธ์ สจ.4 สจ.5 เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในบริเวณอื่น อาจมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าลักษณะเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์จะมีความแตกต่างกัน คือ สจ.4 เมล็ดมีลักษณะค่อนข้างกลม ผิวสีเหลืองค่อนข้างจะด้าน ตาสีน้ำตาลอ่อน ขนาดเมล็ดใหญ่ สจ.5 เมล็ดค่อนข้างด้านไม่เป็นผิวมัน ตาเมล็ดสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดใหญ่ปานกลาง และ เชียงใหม่ 60 เมล็ดมีลักษณะกลม ผิวเมล็ดเป็นมัน ตาสีน้ำตาลเข้ม ขนาดเมล็ดปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 7

แสดงลักษณะของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

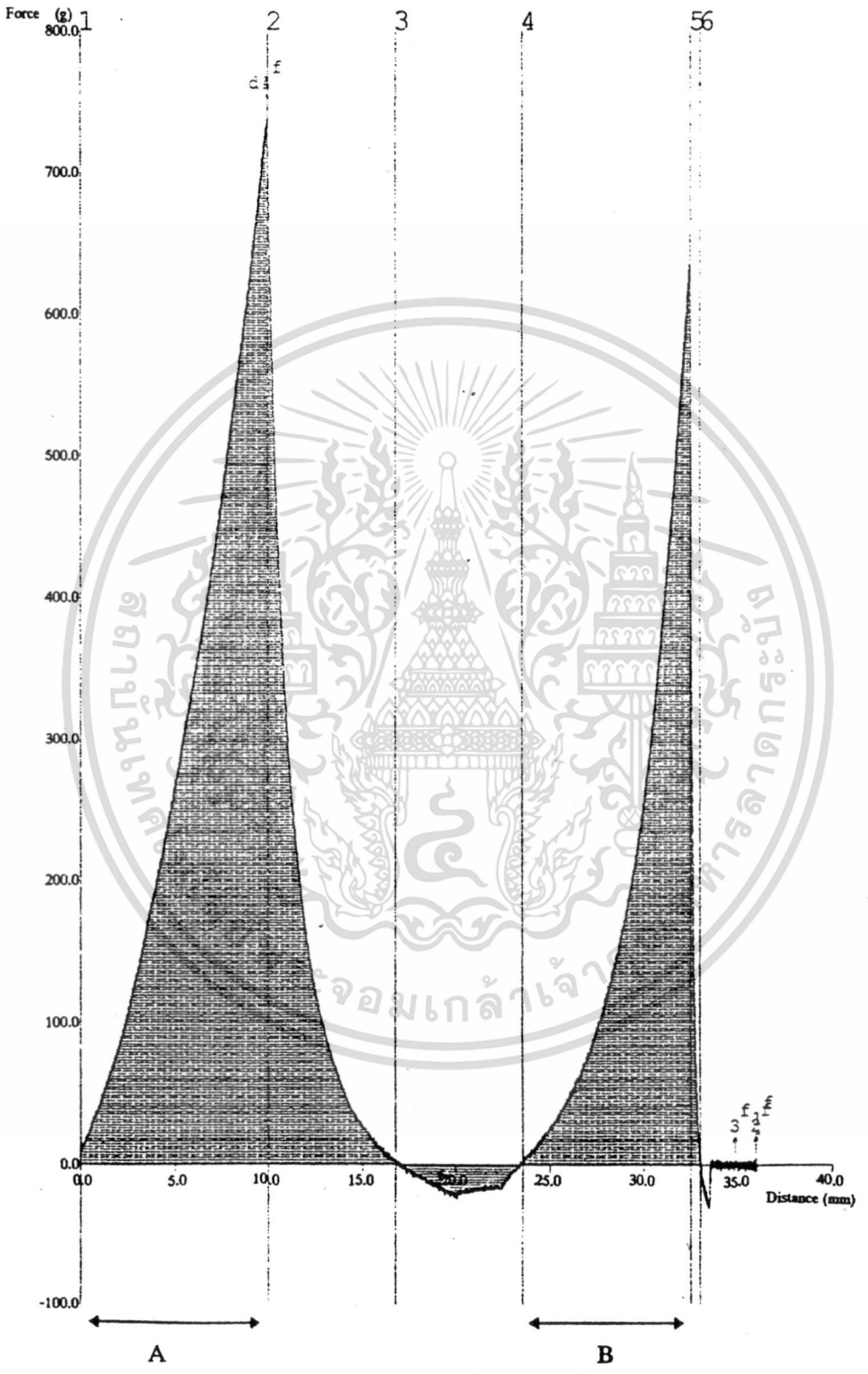
2. ผลของการทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด

เจลเต้าหู้หลอดที่ระดับความแข็งและความยืดหยุ่นต่าง ๆ ถูกนำมาตรวจสอบเนื้อสัมผัสโดยการใช้แรงกด (compression test) โดยการทดสอบ หัวกดจะกดทับลงบนเจลลงไปประมาณ 10 มิลลิเมตร (40 % deformation) (Peak ที่ 1 ของกราฟภาพที่ 8) ก่อนที่หัวกดจะถูกดึงกลับ และจะกดทับลงบนเจลอีกครั้ง (Peak ที่ 2 ของกราฟภาพที่ 8) ความแข็ง (Hardness) ของเจลจะอ่านจากค่าแรงสูงสุด (Peak ที่ 1) มีหน่วยเป็นกรัม ส่วนความยืดหยุ่นของเจลจะหาจากอัตราส่วน B/A (ภาพที่ 8)

เพื่อเป็นการทดสอบความแม่นยำของวิธีการวัดและเครื่องมือวัด จึงทำการตรวจวัดเจลเต้าหู้หลอดจากตัวอย่างเดียวกัน กราฟภาพที่ 9 แสดงให้เห็นถึง Texture Profiles ของสามตัวอย่างเจลเต้าหู้หลอด A B C ที่สุ่มมาจากตัวอย่างเดียวกัน (ลักษณะเนื้อสัมผัสเหมือนกัน) จะเห็นได้ว่ารูปกราฟทั้งสามมีลักษณะใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเจลที่อ่านได้จากกราฟของทุกตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (ข้อมูลไม่ได้แสดง) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างกันโดยการสุ่มตัวอย่างเจลเต้าหู้หลอดที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างกันมาทำการวิเคราะห์ พบว่าเครื่องมือที่ใช้สามารถแยกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสได้อย่างชัดเจน ดังกราฟภาพที่ 10 พบว่า Texture Profiles ของเจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างกันคือระหว่างตัวอย่าง A B และ C D มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

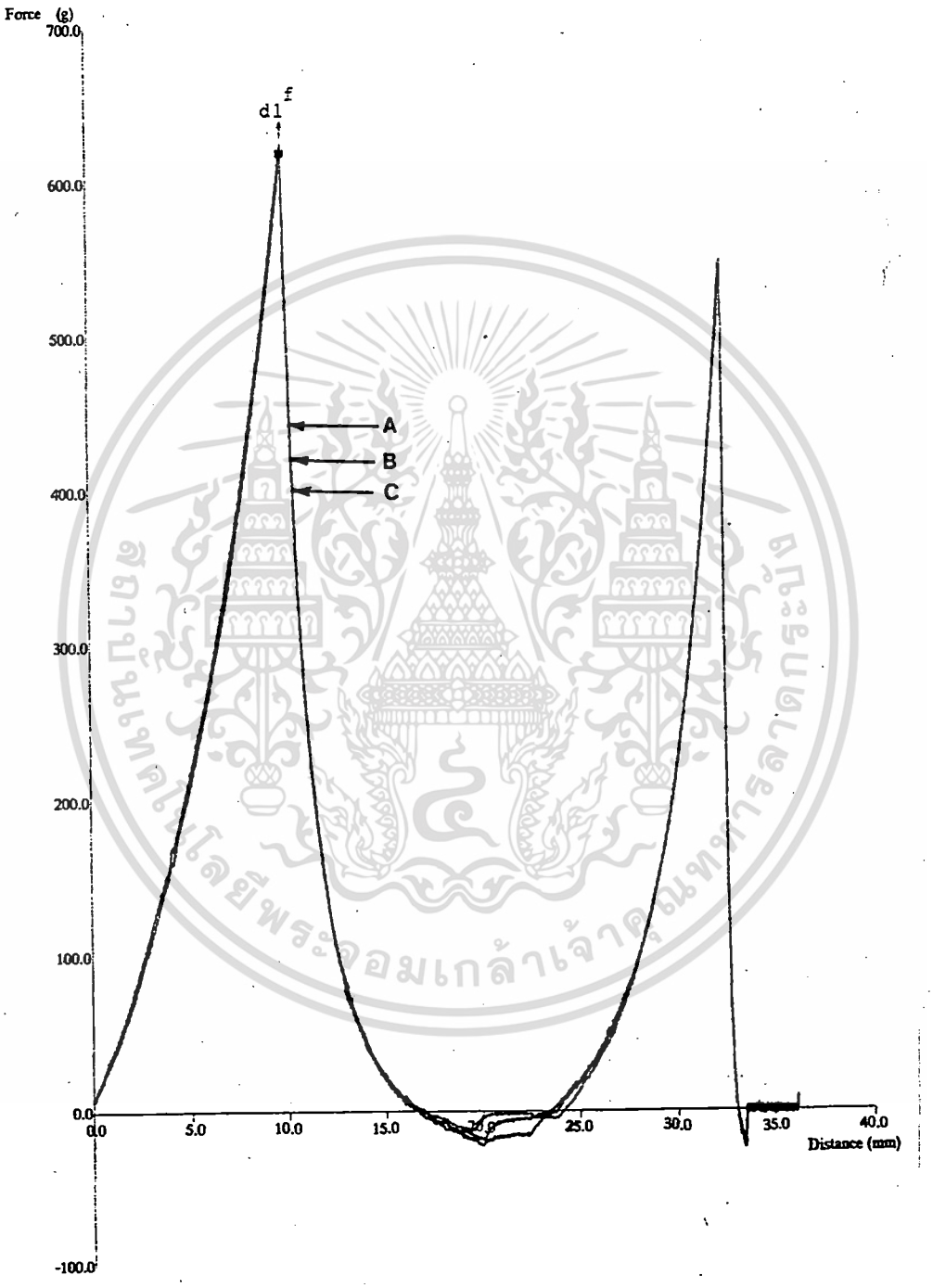
ภาพที่ 8



แสดงลักษณะกราฟ Texture Profiles ของเจลเต้าหู้หลอดที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

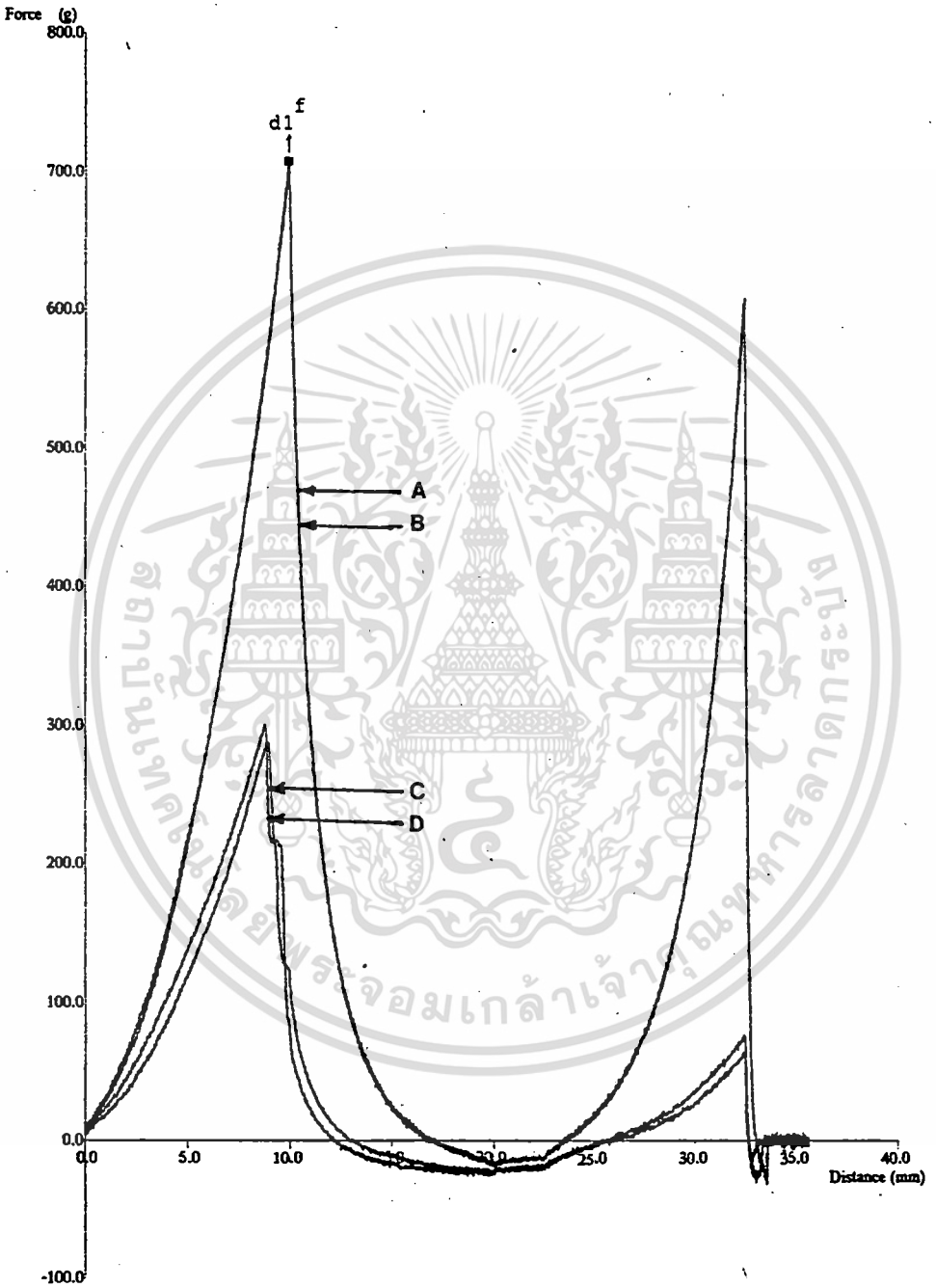
ภาพที่ 9



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 10



แสดงลักษณะกราฟ Texture Profiles ของเจลเต้าหู้หลอดที่มีความแข็งต่างกันที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable Micro Systems TA-XT2; A และ B = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1 % อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 5° C; C และ D = อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1 % อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 25° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของปัจจัยที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเต้าหู้หลอด

3.3 ผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล

ภาพที่ 11 และ 12 แสดงให้เห็นถึงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดที่ผลิตจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60 เมื่อใช้สารตกตะกอน แคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์ และกลูโคโนเดลต้าแลคโทน 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง ในกรณีของแคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเท่ากับ 5:1 จะไม่สามารถเกิดการ ฟอร์มเจลที่ดีได้ (ภาพที่ 11) แต่เกิดลักษณะของเจลอ่อน (weak curd) ที่ไม่สามารถอุ้มน้ำเวย์ได้ ถึงแม้จะลดปริมาณของแคลเซียมซัลเฟตเป็น 1 เปอร์เซ็นต์ หรือเพิ่มเป็น 2.5 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งได้ผลสัมพันธ์กับตารางที่ 2 กล่าวคือปริมาณโปรตีนในน้ำนมของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่60 มีค่าต่ำสุด(ตารางที่ 3) เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองพันธุ์อื่น ($P<0.05$) ปริมาณโปรตีนที่ต่ำที่สกัดได้ในน้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 อาจเป็นผลทำให้เกิดเจลอ่อนไม่สามารถอุ้มน้ำเวย์ได้ การลดปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนอาจสามารถทำให้เกิดการ ฟอร์มเจลได้ โดยผู้วิจัยได้ทดลองลดอัตราส่วนน้ำต่อถั่วเป็น 4:1 เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในน้ำนมแล้วนำไปตกตะกอนด้วย $CaSO_4$ 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถเกิดเจลเต้าหู้หลอดที่มีลักษณะดีได้

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

ตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และเชียงใหม่ 60

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

* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

** น้ำนมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1

[abc] ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 11

แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 12

แสดงลักษณะปรากฏของผลผลิตเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้สารตกตะกอนแคลกลูโคโนเดลต้า-แลคโทน 1 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพ และลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จากถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ (ตารางที่ 4) พบว่าเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 จะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากพันธุ์อื่น ๆ ไม่ว่าจะใช้สารตกตะกอน GDL หรือแคลเซียมซัลเฟต (ภาพที่ 13) ความแข็งแรงของเจลนอกจากจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนมคือ ปริมาณของ 7S และ 11S globulin ค่า hydrophobicity ของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ รวมทั้งโครงสร้างของโปรตีน การวิเคราะห์องค์ประกอบ โครงสร้างของโปรตีนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 อาจจะช่วยอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์อื่น ในเรื่องของสี (ตารางที่ 5) เจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 จะมีความขาวสว่าง (L) มากกว่า ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 เพราะนอกจากจะให้เจลที่มีเนื้อสัมผัสแข็งยืดหยุ่นแล้วยังเป็นพันธุ์ที่มีขายกันมากในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4

ผลการวิเคราะห์เจลเต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60 เมื่อใช้และสารตกตะกอน GDL หรือ $CaSO_4$

ชนิดสารตกตะกอน	การวิเคราะห์	พันธุ์ถั่วเหลือง		
		สจ. 4	สจ. 5	ชม. 60
GDL 1 %	ปริมาณน้ำที่ถูกอุ้มไว้ (g/g dry bean)*	0.89	0.89	0.90
	ปริมาณของแข็ง (%)*	10.69	10.64	9.58
	ปริมาณโปรตีน (%)**	5.30[a]	5.11[a]	4.76[b]
	อัตราส่วนน้ำ : ของแข็ง	8.35	8.40	9.44
	อัตราส่วนน้ำ : โปรตีน	16.84	17.50	18.99
	ลักษณะเนื้อสัมผัส (g)***	761.4[a]	518.3[b]	572.9[b]
	ความยืดหยุ่น***	0.85[a]	0.82[ab]	0.80[b]
$CaSO_4$ 2 %	ปริมาณน้ำที่ถูกอุ้มไว้ (g/g dry bean)*	0.89	0.89	-
	ปริมาณของแข็ง (%)*	11.35	10.96	-
	ปริมาณโปรตีน (%)**	5.35[a]	5.02[a]	-
	อัตราส่วนน้ำ : ของแข็ง	7.81	8.12	-
	อัตราส่วนน้ำ : โปรตีน	16.57	17.72	-
	ลักษณะเนื้อสัมผัส (g)***	923.9[a]	377.1[b]	-
	ความยืดหยุ่น***	0.86[a]	0.59[b]	-

[abc] ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 9 ซ้ำ

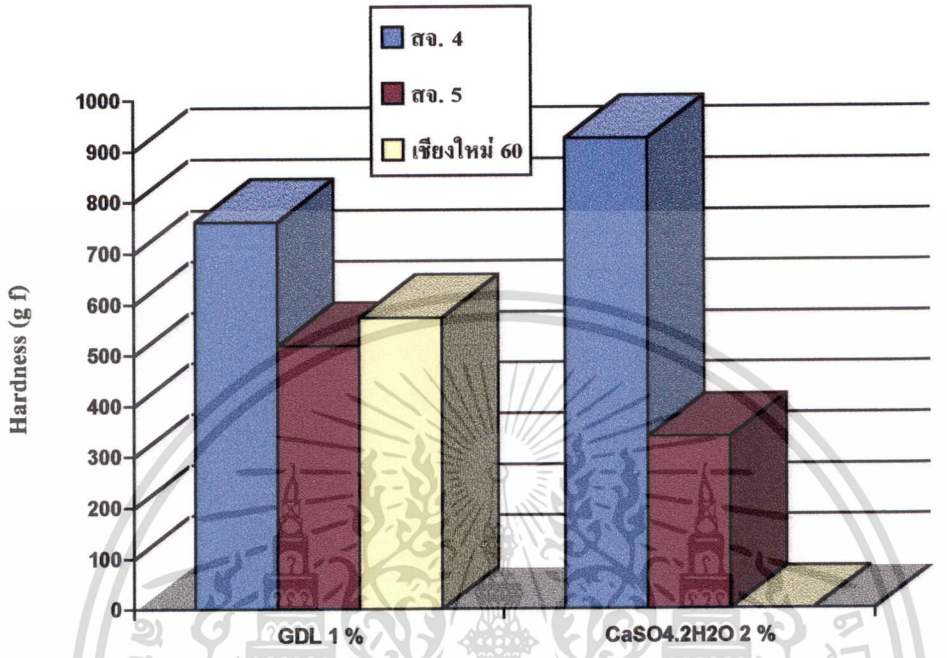
** ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

*** ได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 10 ซ้ำ

\- ไม่เกิดการฟอร์มเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 13



แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5

ผลการวัดค่าสีของเจลเต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, สจ.5 และ เชียงใหม่ 60 เมื่อใช้และสารตกตะกอน GDL หรือ $CaSO_4$

สารตกตะกอน	พันธุ์ถั่วเหลือง	ค่าของการวัดสี		
		L	a	b
GDL 1 %	สจ. 4	89.1^{a}	$+0.40^{a}$	$+12.2^{c}$
	สจ. 5	87.3^{c}	$+0.49^{a}$	$+13.1^{b}$
	เชียงใหม่ 60	88.4^{b}	$+0.39^{a}$	$+13.3^{a}$
$CaSO_4$ 2 %	สจ. 4	90.7^{a}	$+0.15^{b}$	$+12.0^{b}$
	สจ. 5	89.5^{b}	$+0.38^{a}$	$+13.2^{a}$
	เชียงใหม่ 60	-*	-*	-*

^{abc} ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งของสารตกตะกอนเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* ไม่เกิดการฟอร์มเจล

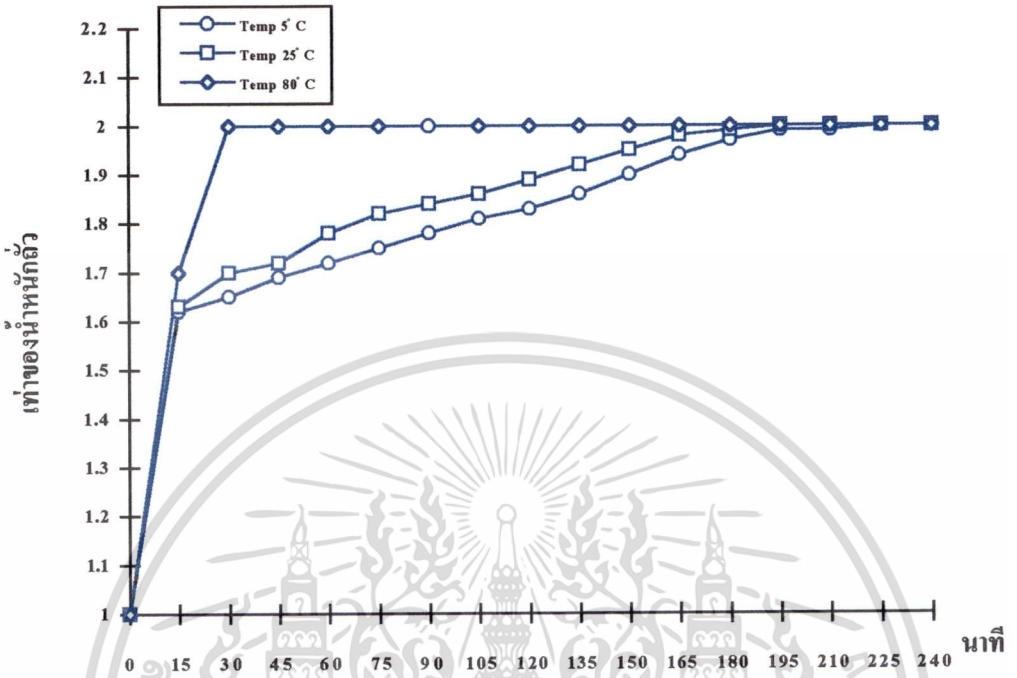
3.2 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

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

น้ำที่ใช้ในการบดและล้างกากหากเป็นน้ำประปาจะทำให้เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้มีลักษณะนิ่ม เละ โดยเฉพาะถ้าใช้ GDL เป็นสารตกตะกอน สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากน้ำประปามีอุณหภูมิสูง มีคลอรีนผสมอยู่ 0.025-2.00 ส่วนในล้านส่วน (ณรงค์, 2528) มีความกระด้างสูง มีอิออนของเกลือของโลหะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 14



แสดงกราฟของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

เมื่อนำถั่วเหลืองไปแช่ที่อุณหภูมิต่างๆ ทำการบันทึกน้ำหนัก กราฟภาพที่ 14 แสดงให้เห็นถึงน้ำหนักของถั่วที่เพิ่มขึ้นเมื่อแช่ไว้ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความอิ่มตัวของถั่วจะเพิ่มขึ้นเป็นน้ำหนัก 2 เท่าของน้ำหนักถั่วเริ่มต้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 นาที หากทำการแช่ถั่วต่อไปจะพบว่าถั่วมีลักษณะนิ่ม ยุ่ย และผิวของเมล็ดถั่วที่แช่น้ำจะเหี่ยวย่น ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความอิ่มตัวของถั่วจะคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และหากทำการแช่ถั่วมากกว่า 24 ชั่วโมงจะพบว่ามีกลิ่นหมักของแอลกอฮอล์เกิดขึ้น และที่อุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียสถั่วจะอิ่มตัวเมื่อระยะเวลาการแช่ผ่านไป 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมินี้สามารถที่จะแช่ถั่วได้มากกว่า 24 ชั่วโมงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการนำถั่วไปแปรรูปเป็นเจลเต้าหู้หลอด

ลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จากการแช่ถั่วที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 15 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จะนิ่ม เละ ไม่สามารถฟอร์มเป็นรูปร่างได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียสจะให้ลักษณะของการเกิดเจลที่ดีได้ โดยเจลที่ได้มีลักษณะเรียบ เนียนและสม่ำเสมอ และจากการนำน้ำนมและเจลเต้าหู้หลอดไปวิเคราะห์จะได้ผลดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่ยิ่งสูงปริมาณของการสกัดของของแข็งที่ละลายน้ำได้ก็จะน้อยลง สอดคล้องกับ ประชา (2518) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำแช่ถั่วก็จะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ที่ผู้ใช้งานสามารถใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สูงขึ้น จึงเป็นผลให้โปรตีนที่สกัดได้มีปริมาณลดลง เจลของเต้าหู้หลอดที่อุณหภูมิในการแช่ถั่วสูงมีความแข็งแรงน้อยกว่าโดยเฉพาะที่ 80 องศาเซลเซียส ไม่สามารถเกิดการฟอร์มขึ้นรูป สาเหตุอาจจะเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ลดลง เป็นผลให้ปริมาณโปรตีนในก้อนเจลไม่เพียงพอที่จะอุ้มเก็บกักน้ำ whey ไว้ได้หมด ในการทดลองต่อไปจึงเลือกอุณหภูมิที่ 5 องศา-เซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ภาพที่ 15

ภาพแสดงผลของอุณหภูมิในการแช่ถั่วต่อลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6

ผลการวิเคราะห์ของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อุณหภูมิในการแช่ถั่วที่ 5, 25 และ 80 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์	อุณหภูมิในการแช่ถั่ว (องศาเซลเซียส)*		
	5	25	80
น้ำนม			
ปริมาณของแข็งในน้ำแช่ถั่ว (° Brix)	4.0[c]	4.4[b]	5.0[a]
ปริมาณของแข็งในน้ำนม (° Brix)	11.0[a]	10.0[b]	7.0[c]
ปริมาณโปรตีน (%)	5.31[a]	5.09[a]	4.70[b]
เจลเต้าหู้หลอด			
ปริมาณของแข็ง (%)	9.18[a]	8.86[b]	8.69[c]
ปริมาณโปรตีน (%)	5.25[a]	4.98[b]	4.56[c]
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[a]	325.8[b]	-
ความยืดหยุ่น	0.87[a]	0.56[b]	-
ลักษณะปรากฏ	เนื้อเนียนเรียบสม่ำเสมอ	เนื้อเนียนเรียบสม่ำสมอ	นิ่ม ไม่คงตัว เจลที่ได้จับแล้วและไม่สามารถฟอร์มขึ้นรูป

* อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักถั่วแห้ง 5:1 สารตกตะกอน GDL ความเข้มข้น 1 %

[abc]ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ผลของปริมาณสารละลาย $NaHCO_3$ ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าการเติมสารละลาย $NaHCO_3$ ลงในน้ำที่ใช้แช่ถั่วนั้นจะช่วยให้น้ำนมมีสีและกลิ่นดีขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของ $NaHCO_3$ ที่สูงจะทำให้น้ำนมมีสีขาวเหลืองสวยและมีกลิ่นถั่วน้อยลง แต่เมื่อนำน้ำนมที่ได้ไปเติมสารตกตะกอน GDL 1 % และไปให้ความร้อนเพื่อทำให้เกิดเจล จะพบว่า น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการใช้ $NaHCO_3$ ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์จะไม่สามารถเกิดการฟอร์มเจล (ตารางที่ 7) เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า $NaHCO_3$ ที่ระดับความเข้มข้นยิ่งสูงค่าของ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองสูงขึ้น (ตารางที่ 8) สภาวะที่เป็นด่างเพิ่มขึ้นของน้ำนมซึ่งเป็นการเพิ่มประจุลบให้แก่น้ำนม อาจเป็นสาเหตุทำให้เมื่อเติมสารตกตะกอนแล้วไม่เกิดการฟอร์มเจล (Kohyama และคณะ, 1993) การแก้ไขอาจเพิ่มความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL เพื่อเพิ่มประจุบวก โดยได้ทดลองเพิ่มปริมาณของ GDL เป็น 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการใช้ $NaHCO_3$ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถเกิดการฟอร์มเจลที่มีเนื้อสัมผัสที่ดีได้แต่การเพิ่มสารตกตะกอนทำให้รสชาติของเจลเค้าหู้หลอดที่ได้มีรสขมเฝื่อน

ตารางที่ 7

ผลของสารละลาย $NaHCO_3$ ในน้ำแช่ถั่วต่อลักษณะปรากฏของเจลเค้าหู้หลอด

ปริมาณสารละลาย $NaHCO_3$ (%)	ลักษณะปรากฏ
0	เนื้อเนียน ดี เรียบสม่ำเสมอมีความยืดหยุ่นดี
1	ไม่เกิดการฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลือง ยังคงเป็นน้ำนม
2	ไม่เกิดการฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลือง ยังคงเป็นน้ำนม
3	ไม่เกิดการฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลือง ยังคงเป็นน้ำนม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8

ผลการวิเคราะห์ของน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมสารละลาย $NaHCO_3$ ในน้ำแช่ถั่ว

ปริมาณสาร ละลาย $NaHCO_3$ (%)	การวิเคราะห์		
	ปริมาณของแข็ง ในน้ำแช่ถั่ว (°Brix)	ปริมาณของแข็ง ในน้ำนม (°Brix)	pH
0	4.0	11.0	6.39[a]
1	4.6	10.4	7.02[b]
2	4.8	10.0	7.73[c]
3	5.0	9.0	8.23[d]

[abcd] ค่ากับกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

3.4 ผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจล

ในการศึกษาถึงอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลของเต้าหู้หลอด โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 ที่ระดับอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 5:1 พบว่า อุณหภูมิที่ทำการศึกษา คือ 80, 85, 90 และ 95 องศาเซลเซียสสามารถทำให้เกิดการฟอร์มเจลของเต้าหู้หลอด ผลการวิเคราะห์ทางด้านองค์ประกอบ (ตารางที่ 9) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในสารตกตะกอนชนิดเดียวกัน

ลักษณะเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 10) พบว่าในสารตกตะกอน GDL หรือ $CaSO_4$ ที่อุณหภูมิ 90 หรือ 95 องศาเซลเซียส เจลจะมีความแข็งกว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 85 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 16) เนื่องมาจากการให้ความร้อนที่น้อยเกินไปหรือที่อุณหภูมิต่ำแก่โปรตีนถั่วเหลือง อาจทำให้โปรตีนถั่วเหลืองถูกทำลายสภาพธรรมชาติได้น้อย ส่งผลให้โครงสร้างของ fractions 7S และ 11S ที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนถั่วเหลืองเกิดการคลายตัวได้น้อยลง เป็นผลให้การสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลโปรตีนที่เหนี่ยวนำให้เกิดการฟอร์มเจล เช่น Hydrophobic bonding มีโอกาสเกิดน้อยลง (Kohyama และคณะ, 1995) ดังนั้นจึงทำให้เจลที่ได้มีลักษณะนิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อให้ความร้อน เพื่อเกิดการฟอร์มเจลที่อุณหภูมิในระดับต่าง ๆ

ชนิดของสารตกตะกอน	อุณหภูมิของการเกิดเจล (°C)	ปริมาณน้ำที่ถูกอุ้มไว้ (g/g dry bean)	การวิเคราะห์เจลเต้าหู้หลอด		อัตราส่วนในการเกิดเจลเต้าหู้หลอด	
			ของแข็ง (%)	โปรตีน (%)	น้ำ : ของแข็ง	น้ำ : โปรตีน
GDL 1 %	80	0.89[a]	10.5[a]	5.6[a]	8.5	15.9
	85	0.89[a]	10.6[a]	5.4[a]	8.4	16.6
	90	0.90[a]	10.4[a]	5.7[a]	8.6	15.7
	95	0.89[a]	11.1[a]	6.0[a]	8.0	14.9
$CaSO_4$ 2 %	80	0.88[a]	11.6[a]	5.6[a]	7.6	15.9
	85	0.89[a]	10.9[a]	5.9[a]	8.2	15.2
	90	0.89[a]	11.2[a]	6.0[a]	8.0	14.8
	95	0.89[a]	11.2[a]	5.1[a]	8.0	17.3

[ab] ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งของสารตกตะกอนเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10

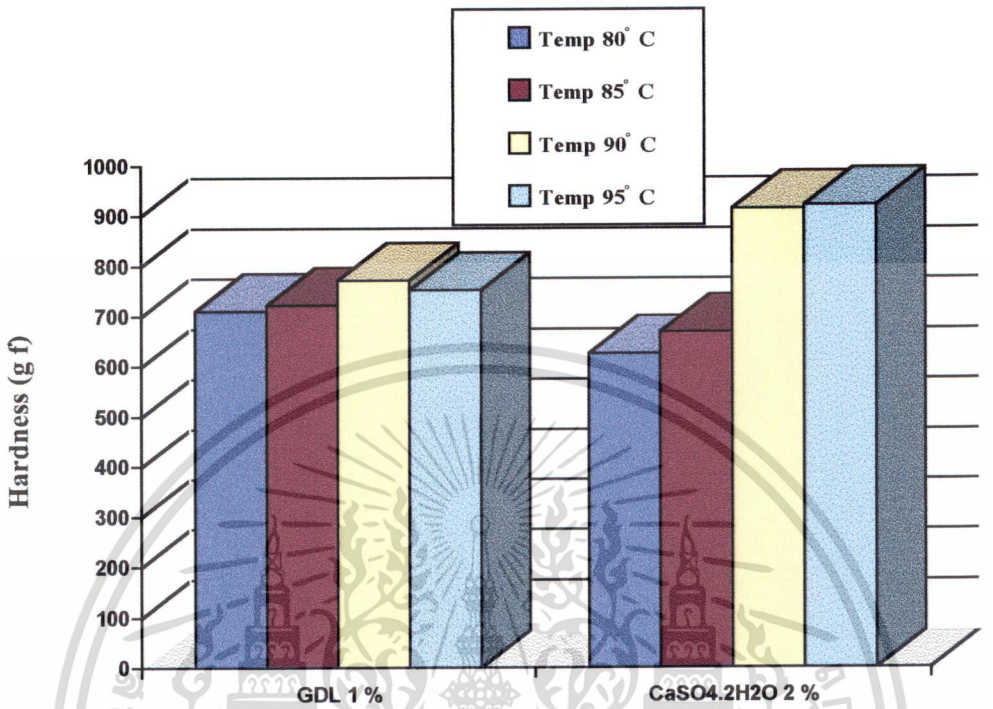
ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจล ที่อุณหภูมิในระดับต่าง ๆ

ชนิดของสารตกตะกอน	อุณหภูมิการเกิดเจล(°C)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		ค่าการวัดสี		
		ความแข็ง(กรัม)	ความยืดหยุ่น	L	a	b
GDL 1 %	80	710.5^{c}	0.84^{a}	90.0^{a}	+0.30^{b}	+12.6^{b}
	85	721.8^{c}	0.85^{a}	89.1^{a}	+0.29^{b}	+12.4^{b}
	90	771.2^{a}	0.88^{a}	88.5^{b}	+0.41^{a}	+13.8^{a}
	95	751.5^{b}	0.87^{a}	88.8^{a}	+0.32^{b}	+13.6^{a}
CaSO4 2 %	80	625.5^{c}	0.86^{a}	90.0^{c}	+0.17^{b}	+13.7^{a}
	85	667.9^{b}	0.83^{b}	90.5^{b}	+0.54^{a}	+12.5^{b}
	90	912.8^{a}	0.83^{b}	90.9^{a}	+0.22^{b}	+12.6^{b}
	95	919.7^{a}	0.84^{b}	91.2^{a}	+0.10^{b}	+13.4^{a}

^{abc} ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งของสารตกตะกอนเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 16



แสดงผลของค่าความแข็งของเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จากอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจลที่ระดับต่าง ๆ

3.5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดหรือปริมาณสารตกตะกอน

จากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าอัตราส่วนน้ำที่ระดับ 3 ต่อถั่วแห้ง 1 จะทำให้มีปริมาณของแข็งค้างอยู่ในถั่วเป็นปริมาณมากทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตค่อนข้างสูง และเมื่อนำน้ำนมมาทำเป็นเจลเต้าหู้หลอด พบว่า ลักษณะเนื้อของเจลที่ได้มีเนื้อหยาบและรูพรุนจำนวนมาก ส่วนที่ระดับ 9 และ 10 ต่อถั่วแห้ง 1 ไม่เกิดการฟอร์มเจล ดังนั้นอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ทำการศึกษาต่อไป คือ 4, 5, 6, 7 และ 8 ต่อถั่วแห้ง 1 และได้ทำการวิเคราะห์ผลแสดงดังตารางที่ 11

จากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่า ถ้าลดปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อถั่วลง ปริมาณของแข็งและปริมาณโปรตีนในน้ำนมจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อนำน้ำนมไปเติมสารตกตะกอนเพื่อทำเป็นเจลเต้าหู้หลอด พบว่า ความสามารถในการเกิดเจลขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วและปริมาณสารตกตะกอน ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากันของสารตกตะกอนชนิดเดียวกันจากลักษณะปรากฏ พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอัตราส่วนของน้ำในสูตรที่ใช้สูงจะทำให้ได้ลักษณะเจลที่นิ่ม มีการแยกชั้นของน้ำ (Syneresis) สูง (ภาคผนวก ข.) (ภาพที่ 17 และ 18) โดยเฉพาะถ้าปริมาณสารตกตะกอนที่ใช้ต่ำ อาจทำให้ไม่เกิดการฟอร์มเจล (ตารางที่ 12) 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 % เริ่มมีการฟอร์มเป็นเจลเต้าหู้หลอด แต่เจลที่ได้ไม่แข็งแรง นิ่มมาก การเพิ่มปริมาณสารตก-ตะกอนให้สูงขึ้นอาจทำให้เจลมีความแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าถ้าปริมาณสารตกตะกอนของ GDL สูงกว่า 1.2 % หรือ $CaSO_4.2H_2O$ สูงกว่า 2.5 % ทำให้เกิดรสขมเฝื่อน

ตารางที่ 11

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำนมที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ระดับต่าง ๆ

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

[abcde] ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ความแข็งแรงของเจล (กรัม) เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วและปริมาณสารตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารตกตะกอน GDL และ $CaSO_4.2H_2O$ แสดงในภาพที่ 19 และ 20 ตามลำดับ เช่นเดียวกับลักษณะปรากฏที่สังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเจล (ตารางที่ 13) จะลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (ภาพที่ 21-22) ปริมาณโปรตีนที่มีในเจลเต้าหู้หลอด (ภาพที่ 23-24) ไม่ว่าจะเป็นสารตกตะกอน GDL หรือ $CaSO_4.2H_2O$ ปริมาณโปรตีนจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อถั่วเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนหรือปริมาณของแข็งที่พบในเจลเต้าหู้หลอดจะสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแข็งแรงของเจล ปริมาณโปรตีนที่ต่ำอาจจะไม่เพียงพอที่จะเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเหนี่ยวนำทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห (network) ของเจลที่แข็งแรง ที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่เท่ากันลักษณะเนื้อสัมผัสจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวตกตะกอน คือ หากมีการเพิ่มความเข้มข้นของตัวตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ จาก 1 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 2.5 เปอร์เซ็นต์ หรือการเพิ่ม GDL 0.6 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 1.2 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงของเจลก็จะเพิ่มมากขึ้น

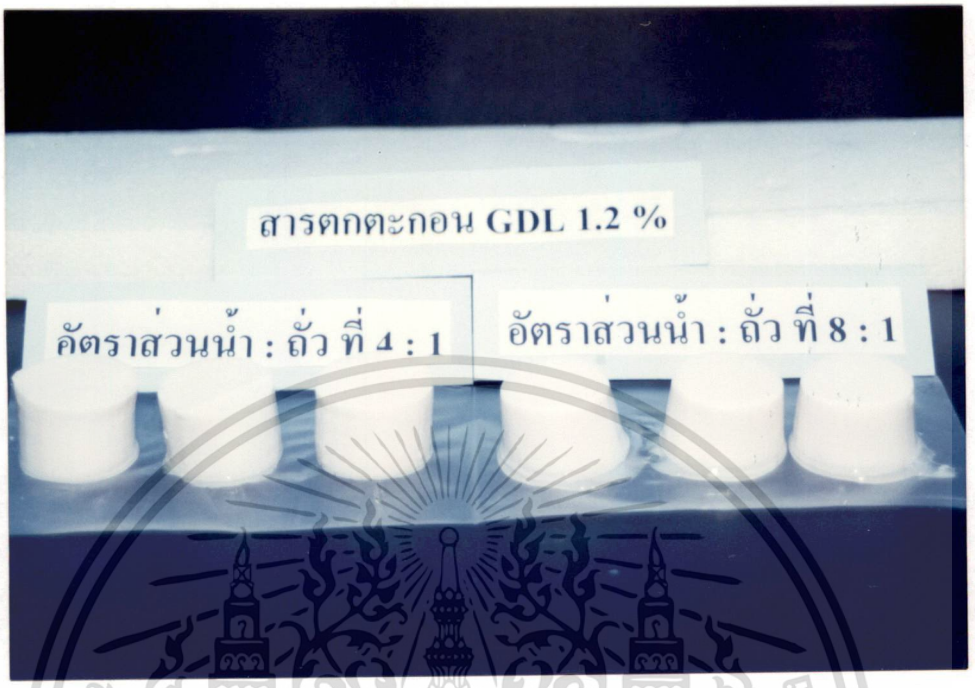
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการออกแรงกดเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จาก GDL และ $CaSO_4.2H_2O$ พบว่าสามารถให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วเหลือง 5:1 GDL 1.0 % กับ $CaSO_4.2H_2O$ 1.5 % ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากการกดใกล้เคียงกันคือประมาณ 780 กรัม ค่าความยืดหยุ่นที่คำนวณได้เท่ากับ 0.86 และเมื่อนำเจลเต้าหู้หลอดทั้งสองไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี Triangle test (ภาคผนวก ง.) พบว่าผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างของเจลทั้งสอง ในทำนองเดียวกัน Kohyama และคณะ (1995) ได้ศึกษากลไกการเกิดเจลของเต้าหู้โดยสารตกตะกอน GDL และ $CaSO_4$ โดยการทดสอบคุณสมบัติทางด้าน Rheology พวกเขาพบว่าโครงสร้างของเจลที่ได้จาก $CaSO_4$ ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติทางด้าน Rheology มีลักษณะใกล้เคียงกับเจลของ GDL กล่าวคือ ค่า Saturated Storage Modulus ของน้ำนมถั่วเหลือง 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ GDL 20 mM และ $CaSO_4$ 30 mM มีค่าใกล้เคียงกัน

โดยอาศัยกราฟความสัมพันธ์ในภาพที่ 19 และ 20 การปรับอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อถั่วกับชนิดหรือปริมาณสารตกตะกอน สามารถใช้ผลิตเจลเต้าหู้หลอดที่มีเนื้อสัมผัสที่ต้องการได้ เช่น ถ้าต้องการผลิตเจลที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง (ประมาณ 923 กรัม) สามารถเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 GDL 1 % หรือ $CaSO_4$ 2 % หรือที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1.2 % หรือ $CaSO_4$ 2.5 %

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของค่าการวัดสี อัตราส่วนน้ำที่แตกต่างกัน แต่เป็นสารตกตะกอนชนิดเดียวกัน พบว่าค่าความขาว (L) จะไม่แตกต่างกัน หากเปรียบเทียบระหว่างสารตกตะกอน GDL กับ $CaSO_4.2H_2O$ พบว่าเจลที่ได้จาก $CaSO_4.2H_2O$ จะมีค่าความสว่าง หรือความขาว (L) มากกว่า GDL

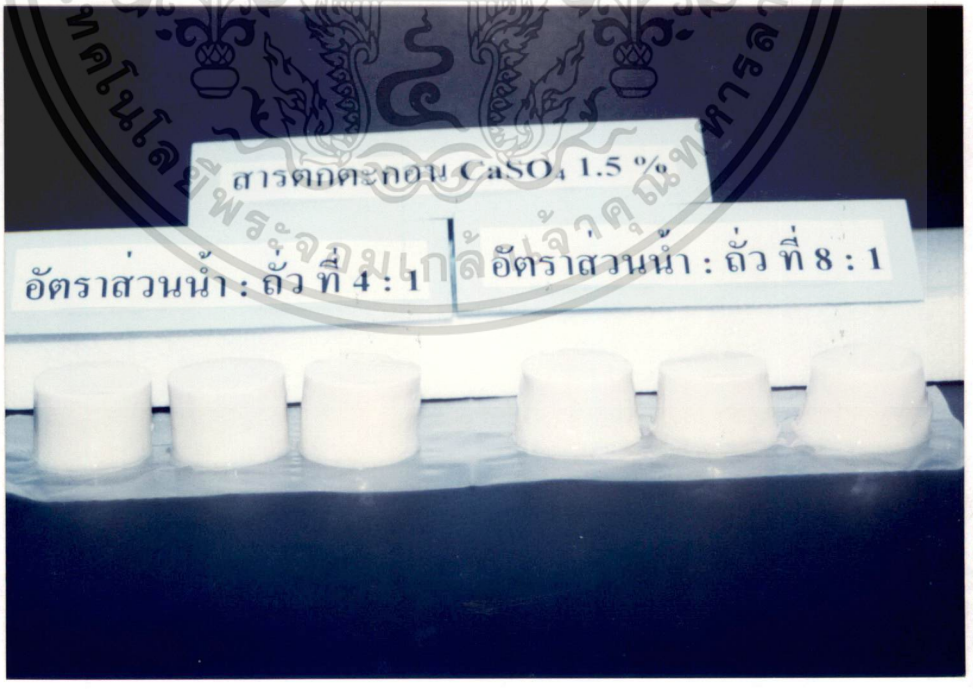
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 17



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

ภาพที่ 18



แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 8:1 โดยใช้สารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12

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
	$CaSO_4$	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 เจลที่ได้มีลักษณะนิ่ม มีสีขาว
		0.8	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
	$CaSO_4$	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 เจลที่ได้มีลักษณะนิ่มมาก
		0.8	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

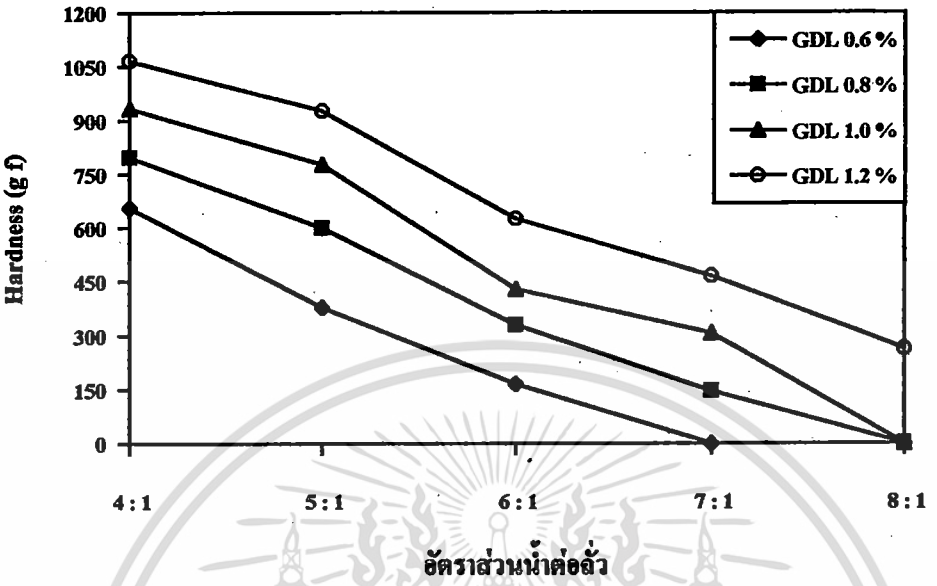
ตารางที่ 12 (ต่อ)

แสดงลักษณะปรากฏของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตกตะกอน	ปริมาณสารตกตะกอน (%)	ลักษณะปรากฏ
6 : 1	$CaSO_4$	1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีลักษณะนิ่มมาก
		1.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
		2.5	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
7 : 1	GDL	0.6	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้นิ่มมาก จับแล้วเละทันที
		0.8	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีความนิ่มมาก
		1.0	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้มีลักษณะนิ่ม
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว
	$CaSO_4$	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 เละ
		0.8	เกิดการฟอร์มเจลไม่ดี เนื้อนิ่มมากจับไม่ได้ เละ
		1.0	เกิดการฟอร์มเจลไม่ดี เนื้อนิ่มมากจับแล้วเละ
		1.2	เนื้อเนียนเรียบ เจลที่ได้นิ่มมากต้องประคอง
	$CaSO_4$	1.0	ไม่เกิดการฟอร์มเจลที่ดี เละจับไม่ได้
		1.5	เนื้อหยาบนิ่มต้องประคอง มีสีขาว
		2.0	เนื้อหยาบ นิ่ม มีสีขาว
		2.5	เนื้อหยาบ เจลมีความยืดหยุ่น มีสีขาว

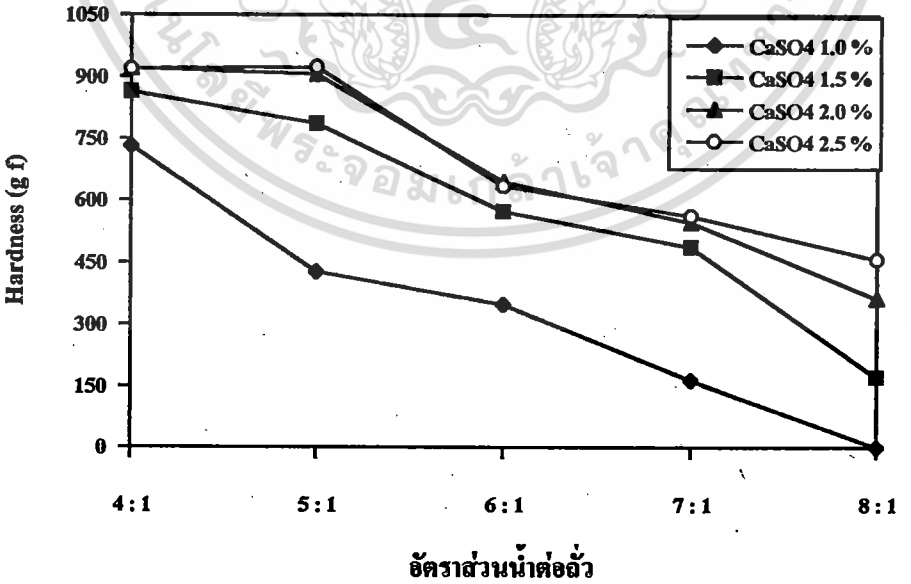
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 19



แสดงกราฟค่าความแข็งของเจล ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL

ภาพที่ 20



แสดงกราฟค่าความแข็งของเจล ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการกดของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วนน้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตกตะกอน	ปริมาณสารตกตะกอน (%)	Force (g)	Springeness
4 : 1	GDL	0.6	655.8^{f}	0.88^{ab}
		0.8	796.0^{d}	0.89^{a}
		1.0	933.0^{b}	0.89^{a}
		1.2	1067.4^{a}	0.88^{ab}
	$CaSO_4$	1.0	732.7^{e}	0.88^{b}
		1.5	863.8^{c}	0.87^{abc}
		2.0	920.7^{b}	0.87^{bc}
		2.5	918.5^{b}	0.85^{c}
5 : 1	GDL	0.6	379.2^{e}	0.58^{c}
		0.8	600.1^{c}	0.85^{ab}
		1.0	777.3^{b}	0.87^{a}
		1.2	925.7^{a}	0.85^{ab}
	$CaSO_4$	1.0	427.0^{d}	0.82^{b}
		1.5	786.1^{b}	0.86^{ab}
		2.0	907.0^{a}	0.86^{ab}
		2.5	923.7^{a}	0.86^{ab}
6 : 1	GDL	0.6	166.5^{e}	0.37^{d}
		0.8	330.2^{d}	0.60^{c}
		1.0	428.1^{c}	0.78^{b}
		1.2	625.0^{a}	0.84^{a}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการกดของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

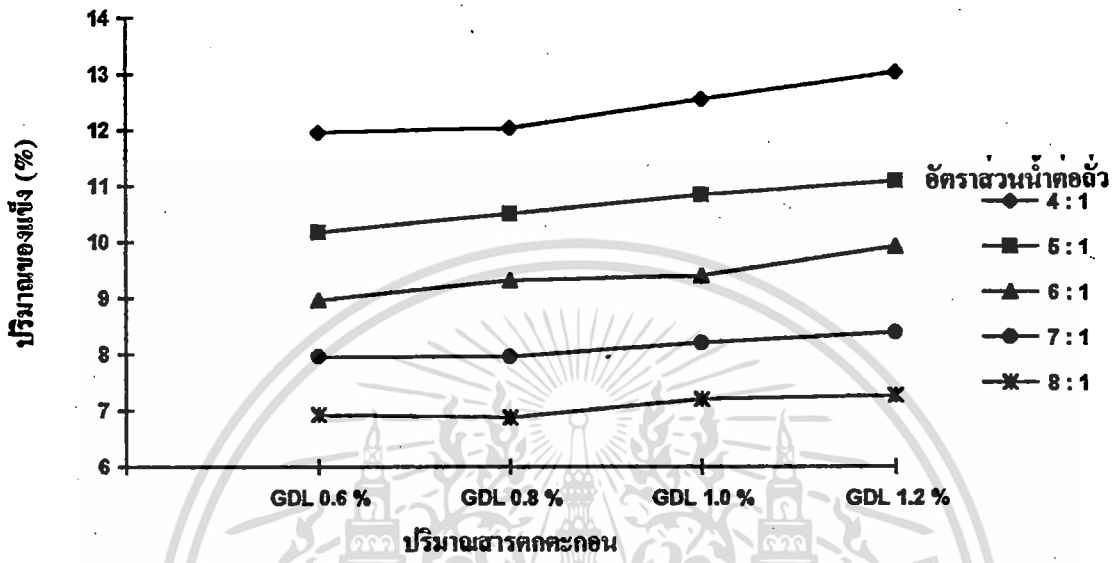
อัตราส่วนน้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตกตะกอน	ปริมาณสารตกตะกอน (%)	Force (g)	Springeness
6 : 1	$CaSO_4$	1.0	348.1^{d}	0.77^{b}
		1.5	573.8^{b}	0.83^{a}
		2.0	646.9^{a}	0.84^{a}
		2.5	634.9^{a}	0.80^{ab}
7 : 1	GDL	0.6	-*	-*
		0.8	145.1^{d}	0.34^{d}
		1.0	306.7^{c}	0.70^{b}
		1.2	464.4^{b}	0.81^{a}
	$CaSO_4$	1.0	165.4^{d}	0.46^{c}
		1.5	487.3^{b}	0.82^{a}
		2.0	547.7^{a}	0.81^{a}
		2.5	563.4^{a}	0.83^{a}
8 : 1	GDL	0.6	-*	-*
		0.8	-*	-*
		1.0	-*	-*
		1.2	262.4^{c}	0.61^{b}
	$CaSO_4$	1.0	-*	-*
		1.5	172.1^{d}	0.44^{c}
		2.0	362.0^{b}	0.74^{a}
		2.5	457.4^{a}	0.76^{a}

$^{abc...}$ค่าเฉลี่ยกำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งของอัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ชนิดและปริมาณสารตกตะกอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* ไม่เกิดการฟอร์มเจล

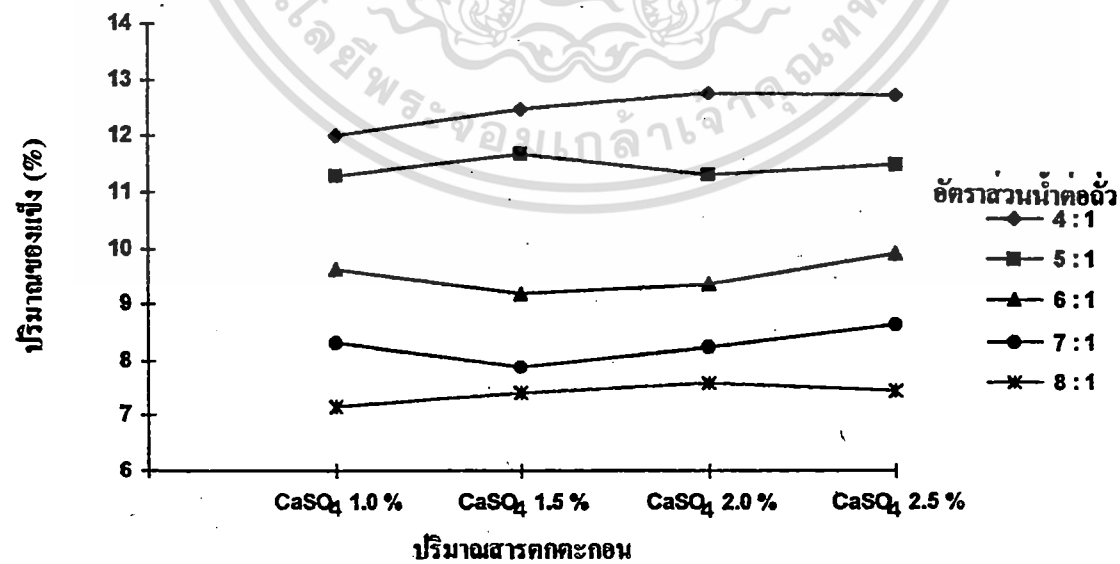
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 21



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ

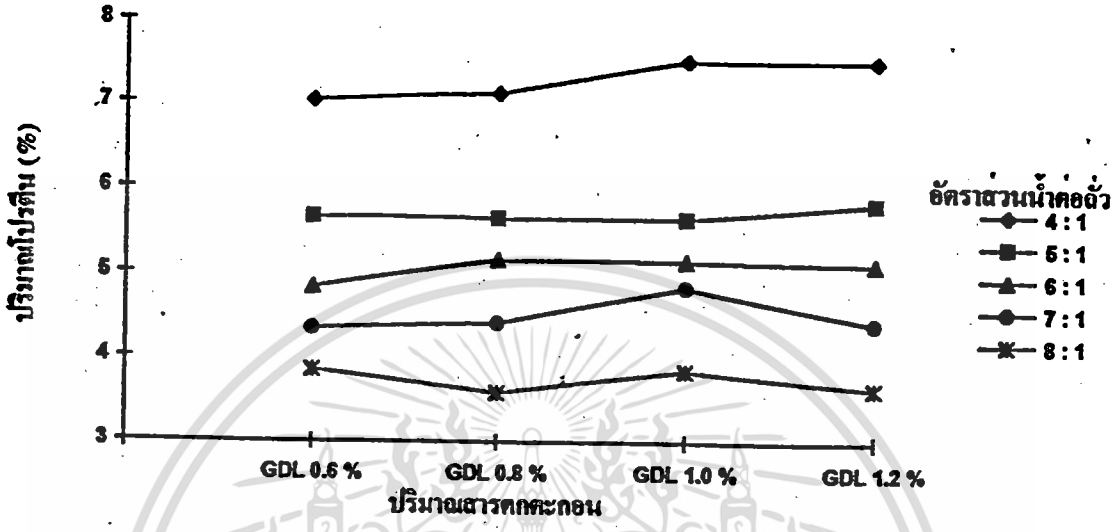
ภาพที่ 22



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับปริมาณสารตกตะกอน $CaSO_4$ ในระดับต่าง ๆ

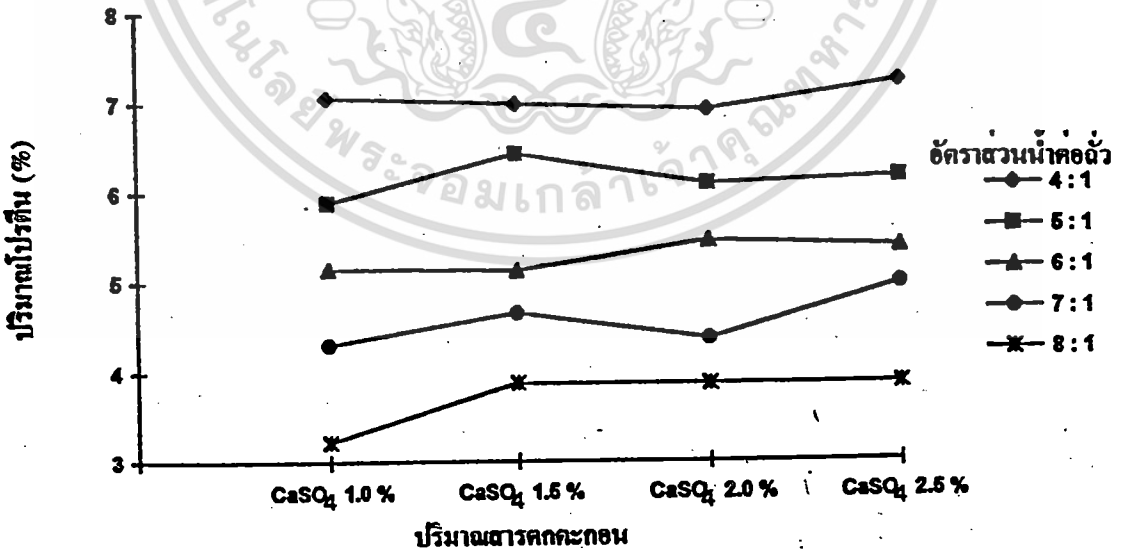
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 23



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับปริมาณสารตกตะกอน GDL ในระดับต่าง ๆ

ภาพที่ 24



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับปริมาณสารตกตะกอน $CaSO_4$ ในระดับต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14

ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสีของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วนน้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตกตะกอน	ปริมาณสารตกตะกอน (%)	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
	$CaSO_4$	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
	$CaSO_4$	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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสีของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วนน้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตกตะกอน	ปริมาณสารตกตะกอน (%)	L	a	b
6 : 1	$CaSO_4$	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
	$CaSO_4$	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
	$CaSO_4$	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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายใน (Microstructure) ของเจลเต้าหู้หลอด โดยการถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ภาพที่ 25-32 จะเห็นว่าเจลเต้าหู้หลอดเกิดจากโปรตีนที่ถูก denatured รวมตัวกันเป็น random aggregates ก่อนประสานตัวกันเป็นโครงสร้างร่างแห (network) ขนาดของ aggregates การรวมตัวเป็น cluster ความแน่นหนา (compact) ของการจัดเรียง จะขึ้นกับสภาวะในการเกิดเจล

เมื่อเปรียบเทียบเจลเต้าหู้หลอดระหว่างการใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 7:1 โดยใช้สารตกตะกอน GDL 1 % (ภาพที่ 25) พบว่าถ้าใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ต่ำ (4:1) การจัดเรียงตัวของ random aggregates จะมีความแน่นหนามากกว่าการใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูง (7:1) เมื่อดูที่กำลังขยายสูงขึ้น (X 35,000) (ภาพที่ 26) พบว่าการจัดเรียงตัวของ random aggregates เกิดโครงสร้างร่างแหที่มีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบ (develop) มากกว่า ลักษณะเช่นนี้ก็พบได้ในการทดลองเมื่อใช้ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นสารตกตะกอน ภาพที่ 27-28 แสดงภาพถ่ายด้วย SEM ของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 และ 7:1 โดยใช้สารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ 2 % พบว่าการจัดเรียงตัวของ aggregates เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 4:1 มีความเป็นระเบียบและแน่นหนากว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 7:1 ผลการจัดเรียงตัวของโครงสร้างร่างแหจะสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส กล่าวคือการใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงทำให้โครงสร้างร่างแหภายในที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของ random aggregates ไม่แน่นหนา ไม่เป็นระเบียบ จึงเป็นผลให้เนื้อสัมผัส (texture)ของเจล นิ่ม

และเมื่อนำเจลเต้าหู้หลอดที่มีความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่แตกต่างกันไปทำการถ่ายภาพ SEM เพื่อดูโครงสร้างภายใน ภาพที่ 29 แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าขนาดของกลุ่ม aggregates เมื่อใช้สารตกตะกอนที่ความเข้มข้นสูง (GDL 1.2 %) มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อใช้สารตกตะกอนที่มีความเข้มข้นต่ำ (GDL 0.6 %) เมื่อดูที่กำลังขยายสูง (X 35,000) (ภาพที่ 30) จะเห็นความแตกต่างของขนาดของอนุภาคอย่างชัดเจน รวมทั้งพบว่าการจัดเรียงตัวของ aggregates เมื่อใช้ GDL 1.2 % (ภาพที่ 30 ล่าง) มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากกว่า ลักษณะเช่นนี้ก็พบได้ในการทดลองเมื่อใช้ $CaSO_4.2H_2O$ เป็นสารตกตะกอน (ภาพที่ 31-32) ขนาดของ aggregates ที่ใหญ่กว่ารวมทั้งการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบและแน่นหนา ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอดที่ใช้ GDL 1.2 % หรือ $CaSO_4.2H_2O$ 2.5 % มีความแข็งแรงของเจลมากกว่าที่ใช้ GDL 0.6 % หรือ $CaSO_4.2H_2O$ 1.0 %

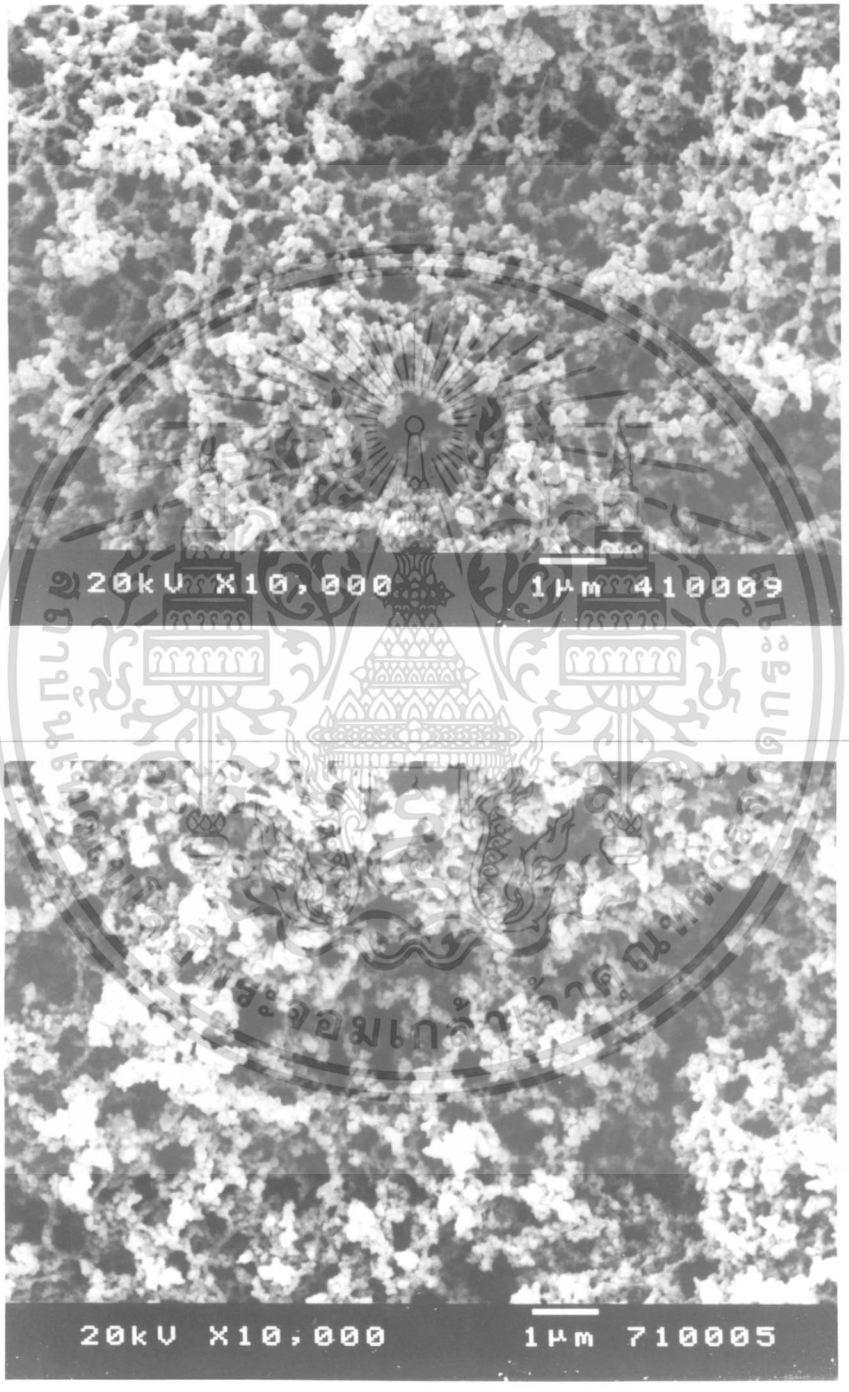
เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างภายในระหว่างเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จาก GDL กับ $CaSO_4.2H_2O$ พบว่า ที่ลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน ภาพถ่าย SEM 30 (ล่าง) กับภาพถ่าย SEM ที่ 32 (ล่าง) ลักษณะโครงสร้างภายในที่สังเกตจาก SEM ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ deMan และคณะ (1986) การที่ลักษณะโครงสร้างภายในที่ถ่ายจากภาพ SEM ของเจลเต้าหู้ที่ได้จากสารตกตะกอน GDL และ $CaSO_4$ มีลักษณะเหมือนกัน อาจช่วยอธิบายเหตุผลของเจลที่ได้จากสารตกตะกอนทั้งสองมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกันจนผู้ชิมไม่สามารถบอกความแตกต่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

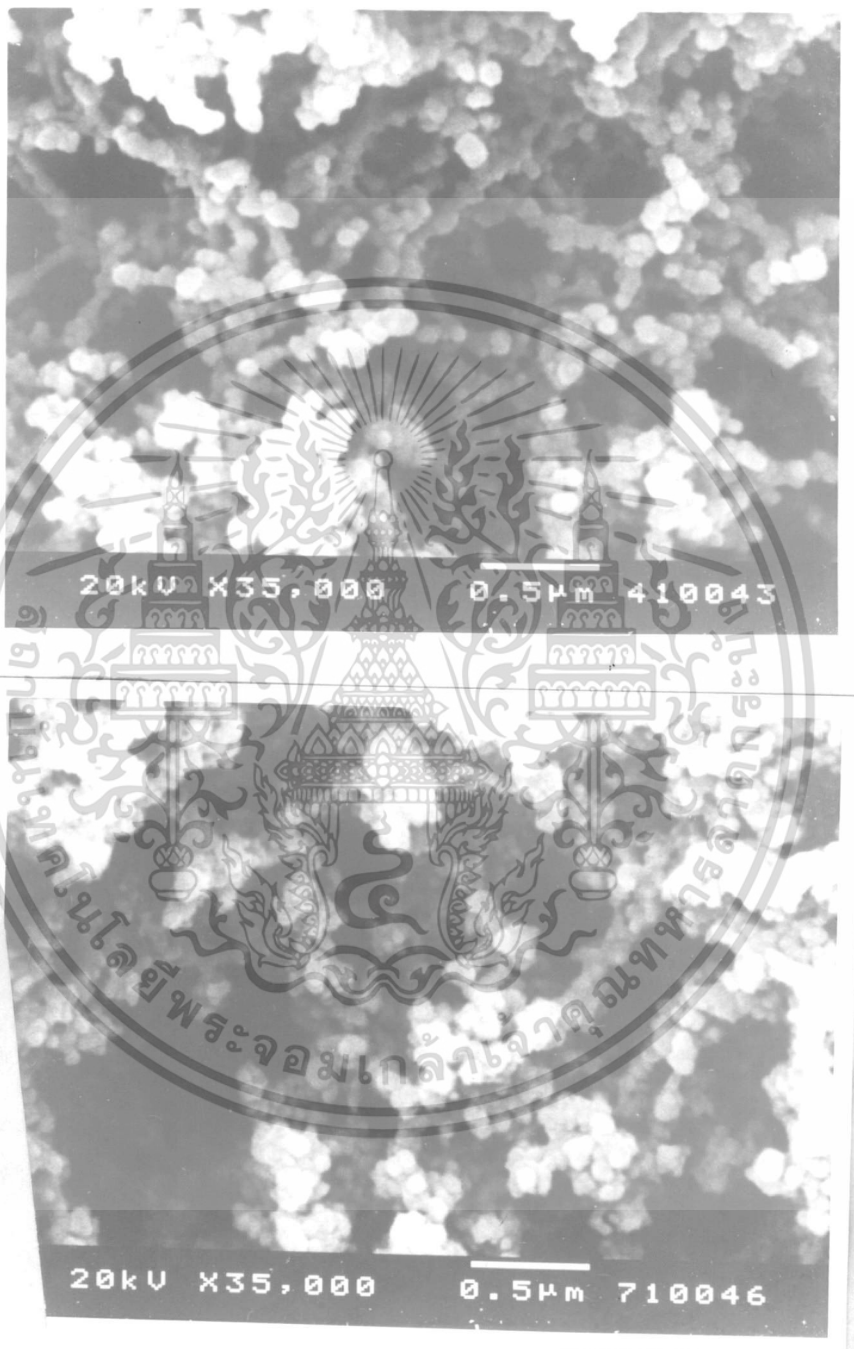
ภาพที่ 25



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด 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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

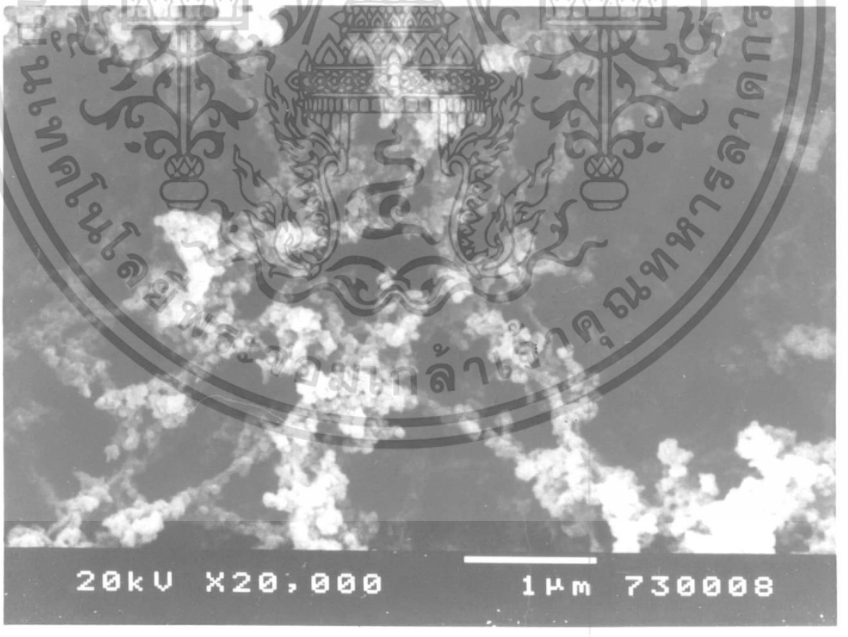
ภาพที่ 26



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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

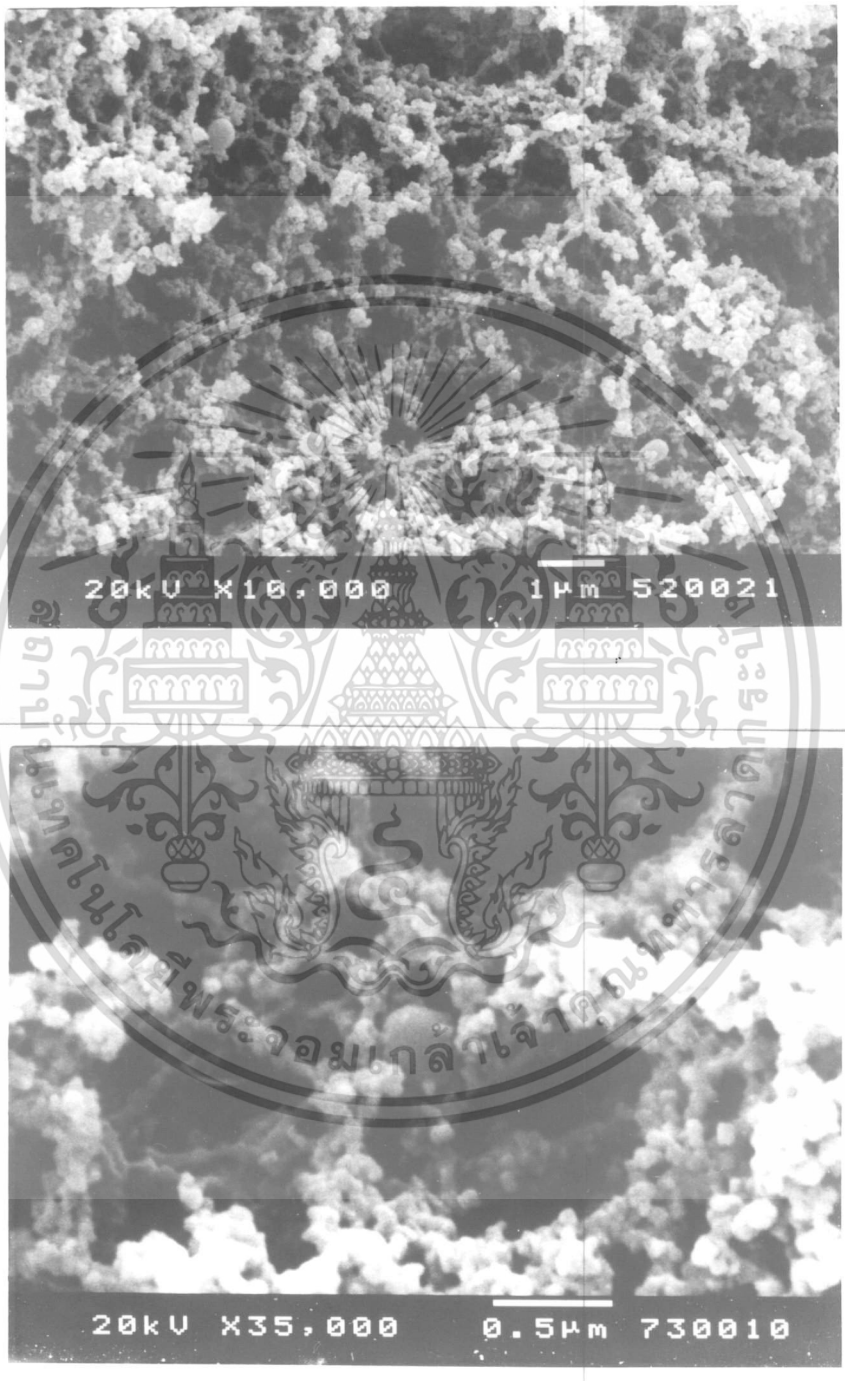
ภาพที่ 27



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 4:1 (บน) และ 7:1 (ล่าง) โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29

แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

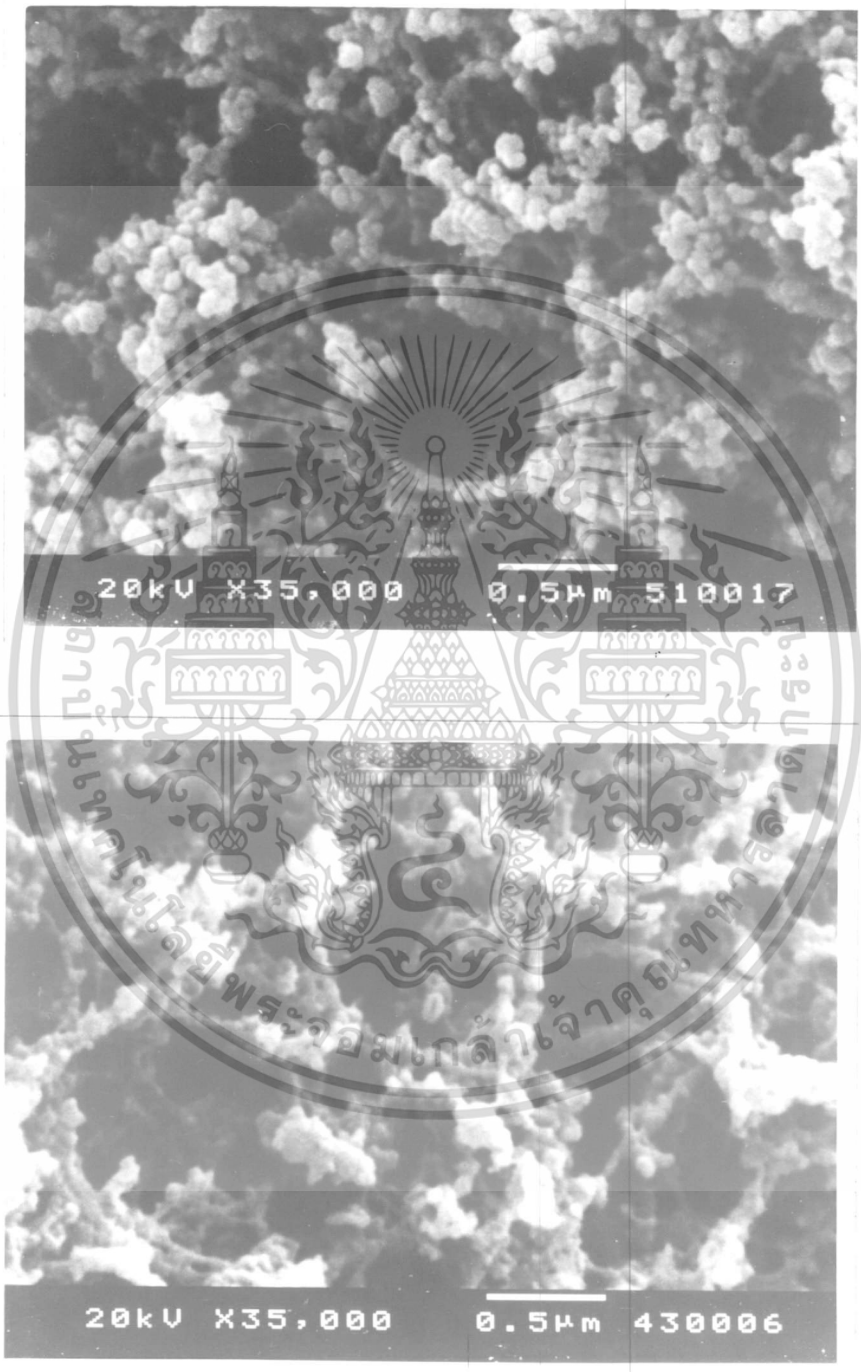
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 30

แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน GDL ที่ความเข้มข้น 0.6 (บน) และ 1.2 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

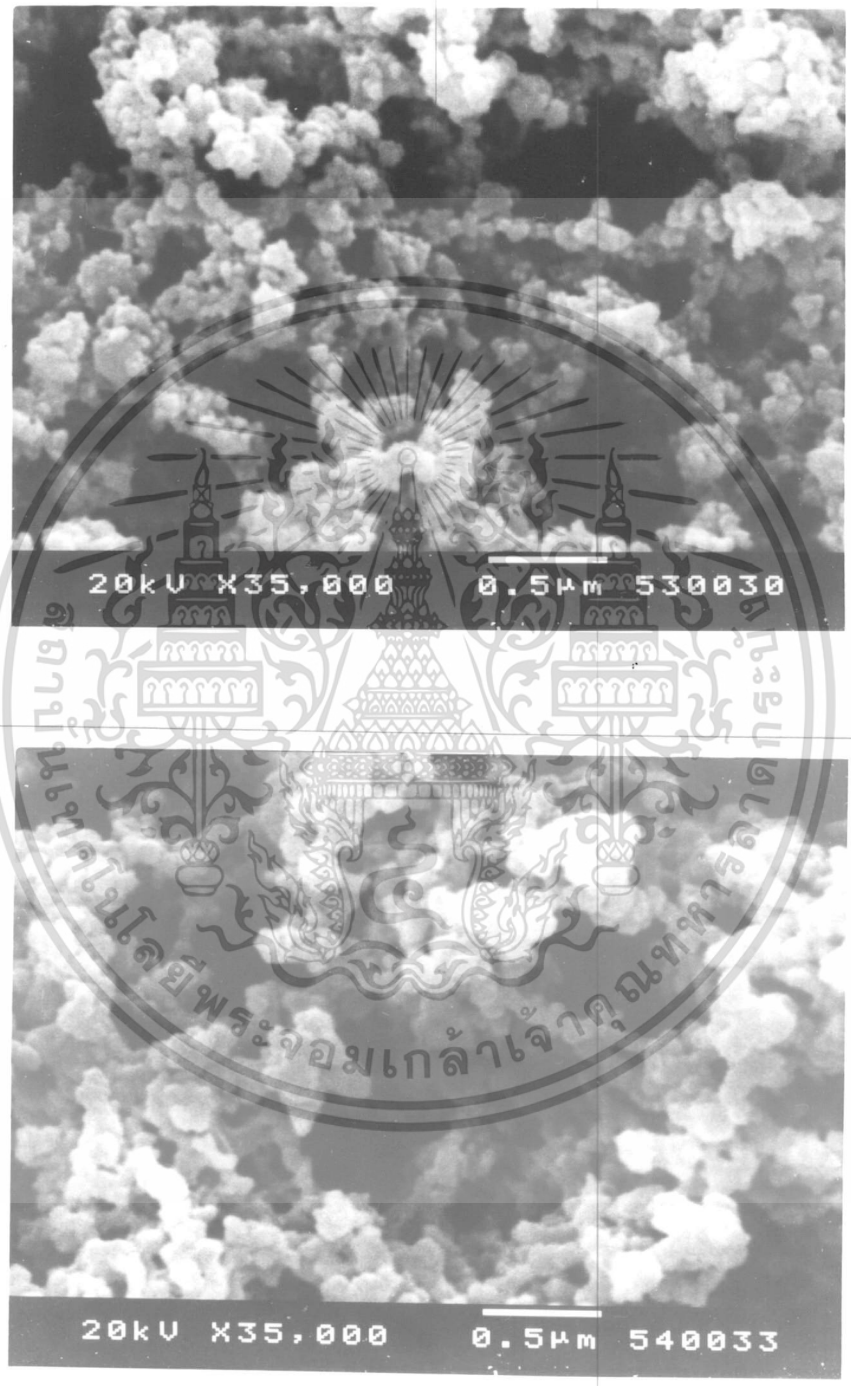
ภาพที่ 31



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ 2.5 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 32



แสดงโครงสร้างภายในของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 โดยสารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 1.0 (บน) และ 2.5 (ล่าง) เปอร์เซ็นต์ ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง พบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนของถั่วเหลืองพันธุ์ 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 และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเหลืองพันธุ์ 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. การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด

การทดลองหาวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด พบว่า การตรวจวัดโดยวิธี Compression Test ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro System TA-XT2 ของ England ใช้หัวกดขนาด 75 mm compression platen เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเจลเต้าหู้หลอด 35 มิลลิเมตร ความเร็วในการกดทับตัวอย่าง 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางที่ทำการกดทับ 10 มิลลิเมตรจากความสูงของตัวอย่าง 25 มิลลิเมตร (40 % deformation) สามารถบ่งบอกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสและความยืดหยุ่นของเจลเต้าหู้หลอดได้

3. การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลเต้าหู้หลอด

3.1 การศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะต่อการแปรรูปและคุณภาพของเจล

จากการทดลอง พบว่า การใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักถั่วแห้ง 5:1 น้ำนมถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 มีปริมาณโปรตีน 5.309 เปอร์เซ็นต์, สจ. 5 มีปริมาณโปรตีน 5.117 เปอร์เซ็นต์ และ เชียงใหม่ 60 มีปริมาณโปรตีน 4.699 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสามพันธุ์เมื่อใช้สารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ 2 % พบว่า สจ.4 และ สจ.5 สามารถเกิดเจลได้ โดยเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 มีความแข็งแรงมากกว่าเจลที่ได้จากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ส่วนเชียงใหม่ 60 ไม่มีการฟอร์มเจล สาเหตุอาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ต่ำ หากมีการลดอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักถั่วแห้ง (4:1) เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนก็จะทำให้สามารถเกิดการฟอร์มเจลได้ และเมื่อใช้สารตกตะกอน GDL 1 % พบว่าสามารถเกิดเจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลได้ทั้งสามพันธุ์ โดย สจ.4 จะให้เจลที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น และลักษณะสีของเจลที่ได้จะมีความขาวสว่าง (L) มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์อื่น

3.2 การศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว

จากการทดลองหาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ถั่ว พบว่า น้ำล้างถั่วจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 0.4 ° Brix และถั่วจะดูดซับน้ำจนมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 2.0 $\pm$ 0.16 เท่าของน้ำหนักถั่วเริ่มต้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ถั่ว พบว่า ที่ 5 องศาเซลเซียสถั่วจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 2.0 $\pm$ 0.16 เท่าของน้ำหนักถั่วแห้งเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมินี้จะสามารถสกัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด และเจลเต้าหู้หลอดที่ได้จะมีค่าความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของเจลที่ดี

3.3 การศึกษาผลของปริมาณสารละลาย $NaHCO_3$ ที่ใช้ในน้ำแช่ถั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

จากการทดลอง พบว่า ถึงแม้สารละลาย $NaHCO_3$ ที่ใช้แช่ถั่ว ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์จะทำให้น้ำนมมีกลิ่นและสีดีขึ้นแต่จะไม่เกิดการฟอร์มเจล เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 ความเข้มข้นของสารตกตะกอน GDL 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง หากมีการเพิ่มปริมาณสารตกตะกอนก็จะสามารถเกิดการฟอร์มเจลได้ แต่เจลเต้าหู้หลอดจะมีรสชาติขมเฝื่อนเกิดขึ้นซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพื่อเกิดการฟอร์มเจล

จากการทดลอง พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการฟอร์มเจลของสารตกตะกอน GDL และ $CaSO_4.2H_2O$ ที่ดี คือ 90-95 องศาเซลเซียส โดยทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหของเจลที่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่ดี

3.5 การศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อถั่ว กับชนิดและปริมาณของสารตกตะกอน

จากการทดลอง พบว่า อัตราส่วนน้ำที่มีปริมาณสูงขึ้นปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณโปรตีนจะลดลง การใช้สารตกตะกอน GDL ที่สูงกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ สารตกตะกอน $CaSO_4.2H_2O$ ที่สูงกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์จะทำให้รสขมเฝื่อน เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารที่ใช้ในการตกตะกอน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เท่ากัน เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่สูงขึ้นจะทำให้ได้เจลที่อ่อนนิ่ม เมื่อนำเจลที่มีลักษณะอ่อนนิ่มไปถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) จะเห็นโครงสร้างภายในที่มีโครงสร้างร่างแหที่มีขนาดของ aggregates ที่มีขนาดเล็ก การจัดเรียงตัวของอนุภาคไม่ค่อยเป็นระเบียบและไม่แน่นหนา แต่ที่ระดับอัตราส่วนน้ำที่เท่ากัน เมื่อใช้ปริมาณสารตกตะกอนมากขึ้นก็จะทำให้ได้เจลที่แข็งขึ้น เจลที่แข็งเมื่อนำไปถ่ายภาพ SEM จะเห็นโครงสร้างร่างแหที่มีขนาดของ aggregates ที่มีขนาดใหญ่ การจัดเรียงตัวของอนุภาคที่เป็นระเบียบ และแน่นหนา ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสรวมทั้งโครงสร้างภายในจากภาพถ่าย SEM พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างเจลที่ได้จากสารตกตะกอนของ GDL หรือ $CaSO_4.2H_2O$ ผลการทดสอบทางประสาท-สัมผัสด้วยวิธี Triangle test พบว่าผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเจลทั้งสอง การปรับอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อถั่วกับปริมาณสารตกตะกอน GDL หรือ $CaSO_4.2H_2O$ สามารถใช้ผลิตเจลเต้าหู้หลอดที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. องค์ประกอบของโปรตีน 7S และ 11S จะมีผลต่อความแข็งแรงของเจลเต้าหู้หลอด การศึกษาถึงองค์ประกอบของโปรตีนที่มีอยู่ในถั่วแต่ละพันธุ์ เช่น สจ. 4, สจ. 5 และ เชียงใหม่ 60 อาจสามารถบอกเหตุผลถึงความแตกต่างของเจลที่เกิดขึ้นในถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์ได้ นำไปสู่การปรับปรุงความแข็งแรงของเจลเต้าหู้หลอดขั้นต่อไป

2. เจลเต้าหู้หลอดถือได้ว่าเป็นเต้าหู้ที่มีความสะอาด และปราศจากเชื้อจุลินทรีย์มากกว่าเจลเต้าหู้ชนิดอื่น การศึกษาถึงอายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของเจลในระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งวิธีการชะลอการเสื่อมเสีย อาจจะเป็นประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมต่อไป

3. การใช้อัตราส่วนน้ำในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองที่มากเกินไป ทำให้เจลเต้าหู้หลอดไม่สามารถฟอร์มเจลได้ การใช้สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แป้งดัดแปร หรือ เจลาติน เติมลงไปในน้ำนมถั่วเหลือง อาจทำให้การฟอร์มเจลของเต้าหู้หลอดเกิดขึ้นและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กองส่งเสริมพืชพันธุ์. เอกสารวิชาการเรื่องถั่วเหลือง. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร, 2531.

กองส่งเสริมพืชพันธุ์. เอกสารวิชาการเรื่องผลการจัดงานแสดงผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง. กรุงเทพฯ : กลุ่มพืชน้ำมัน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2523.

ณรงค์ นิยมวิทย์ "เต้าหู้หลอด" วารสารอาหาร. ปีที่ 15, ฉบับที่ 4 (2528) : 224-244.

ปณัฐฐา กรีติพัฒน์ และ ปริยาพร เขียวขำ. ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของเต้าหู้อ่อน. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะ-เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.

เพลินใจ ตังคณะกุล และ สมจิต อ่อนเหม. "การทำเต้าหู้และเต้าหู้ยวย," หลักเกณฑ์และวิธีการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมอาหาร. หมวด ข. ธัญพืชและถั่ว. สถาบัน- ค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2527. (อัดสำเนา)

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, อำนวยโชค ยอดแก้ว และ เพียรชัย ตั้งเมธากุล "อาหารว่างจากเต้าหู้แข็ง" วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. ปีที่ 5, ฉบับที่ 1 (2530): 1-4.

ศุภชัย แก้วมีชัย. การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองของประเทศไทย. กรุงเทพ ฯ : ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2537.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กรุงเทพ ฯ : บริษัทสยามออฟเซ็ท จำกัด, 2527. ตอน 1 : คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง, โดย วันชัย สมชิต.

สมจิต อ่อนเหม และ เพลินใจ ตั้งคณะกุล "ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง," เอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคนิคการถนอมอาหาร และการควบคุมคุณภาพให้แก่บุคคลากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

deMan,J.M.; deMan,L. and Gupta,S. "Texture and microstructure of Soybean curd (Tofu) as affected by different coagulants." Food Microstruct, no. 5 (1986) pp. 83-89

Hsu,K.H.; Kim,C.J. and Wilson,L.A. "Factors Affecting Water Uptake of Soybeans During Soaking." Cereal Chem, no. 60 (1983) pp. 208-211

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

Kohyama,K.; Yoshida,M. and Nishinari,K. "Rheological Study on Geltion of Soybean 11S Protein by Glucono-δ-lactone." J. Agric. Food Chem, no. 40 (1993) pp. 740-744

Kohyama,K.; Sano,Y. and Doi,E. "Rheological Characteristics and Gelation Mechanism of Tofu (Soybean Curd)." J. Agric.Food Chem, no. 43 (1995) pp. 1808-1812

Lu, J.Y.; Carter, E. and Chung, R.A. "Use of calcium salts for soybean curd preparation." J. Food Sci, no. 45 (1980) pp. 32-34

Saio, K. "Tofu-Relationships Between Texture and Fine Structure." Cereal Food World, no. 24 (1979) pp. 342-354

Shih, C.Y. Beans and Soybean product. Biol Dept, Soochow Univ, Shanghai Chaina, 1918.

Shurtleff, W. and Aoyagi, A. Tofu and Soymilk Production. 1979.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Smith,A.K.: Watanabe,T. and Nash,A.M. "Tofu from Japanese and United States Soybeans." Food Technology, no. 9 (1960) pp. 332-336

Sun, N. and Breene, W. "Calcium Sulfate Concentration influence on yield and quality of tofu form five Soybean Varites." J. Food Sci, no. 56 (1991) pp. 1604-1607

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

Tsai, S.J. and others. "Studies on the yield and quality characteristics of tofu." J. Food Sci, no. 46 (1981) pp. 1734-1740

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็ง (AOAC, 1995)

1. นำ moisture can อบที่อุณหภูมิ 130 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (จดน้ำหนักไว้)

2. ชั่งตัวอย่างอาหาร 3 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียด

3. นำไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 130 $\pm$ 3 องศาเซลเซียสโดยเปิดฝา moisture can จนน้ำหนักคงที่ (ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง)

4. เมื่อครบเวลาให้ปิดฝา moisture can

5. ทิ้งให้เย็นใน desicator

6. นำมาชั่งน้ำหนัก บันทึก

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

ปริมาณร้อยละของของแข็ง = 100 - ปริมาณร้อยละของความชื้น

2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนแบบ Buchi-Kjedahe-systems

สารเคมี

1. กรดซัลฟุริคเข้มข้น

2. กรดบอริค 4 เปอร์เซ็นต์

3. กรดไฮโดรคลอริค 0.1 นอร์มัล

4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์

5. Catalyst :

K_2SO_4 8 ส่วน

$CuSO_4.5H_2O$ 1 ส่วน

6. Mixed indicator

ก. เตรียม 0.1 เปอร์เซ็นต์ Bromocresol green ใน 95 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ Methyl red ใน 95 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ผสม 10 มิลลิลิตร Bromocresol green กับ 2 มิลลิลิตร Methyl red ในขวดหยด

วิธีวิเคราะห์

1. ปีเปตตัวอย่าง (ของเหลว) 3 มิลลิลิตร (ของแข็งประมาณ 1 กรัม) ลงใน Kjeldahl flask 250 ml เวลาใส่อย่างให้เลอะคอขวด
2. เติม Catalyst 5 กรัม กรดซัลฟุริคเข้มข้น 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 ในปริมาตรที่ทำปฏิกิริยากันพอดี (สารละลายสีน้ำตาลเข้ม) ทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ประมาณ 6 นาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริค 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2-3 หยด ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. นำส่วนที่กลั่นได้ไปไตรเตรทกับกรดไฮโดรคลอริค 0.1 นอร์มัล จนสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี (หรือเป็นสีชมพู แล้วหักมิลลิลิตรของ HCl ออก 0.02 มิลลิลิตรเพื่อให้เห็นชัดเจน)

$$\text{การคำนวณ} = \frac{\text{N. HCl x ml. HCl x 14 x 6.25 x100}}{\text{ml. ตัวอย่าง x 1000}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเจลเต้าหู้หลอดเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อถั่วกับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนในระดับต่าง ๆ

อัตราส่วน น้ำ : ถั่ว	ชนิดสารตกตะกอน	ปริมาณสารตกตะกอน (%)	ปริมาณของแข็ง (%)	ปริมาณโปรตีน (%)
6 : 1	$CaSO_4$	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
	$CaSO_4$	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
	$CaSO_4$	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 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

แบบทดสอบประสาทสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอด

แบบ Triangle Test

วันที่ทำการทดสอบ.....

ชื่อ..... อายุ..... เพศ.....

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

ข้อปฏิบัติในการทดสอบ

1. ให้พิจารณาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในถาดทั้ง 3 ตัวอย่างเปรียบเทียบกันโดยการชิม ดมกลิ่น ดูสี และเคี้ยวสัมผัส

2. จากตัวอย่างที่ให้กรุณาประเมินผลตัวอย่างเหล่านี้ให้ตรงกับความรู้สึกของท่านให้มากที่สุด โดยทำเครื่องหมาย O ในช่องตัวอย่างที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต่างจากตัวอย่างอื่น

คำแนะนำ ควรชิมตัวอย่างตามลำดับและใส่เครื่องหมาย O ให้ตรงกับตัวอย่างที่ประเมินที่กำหนดให้

ตัวอย่าง
A
B
C

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Triangle test ใช้ผู้ชิม 20 คน เพื่อบอกลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเต้าหู้หลอดที่อัตราส่วนน้ำต่อถั่ว 5:1 GDL 1 % กับ $CaSO_4$ 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 $CaSO_4$ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P = 0.01)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้