การศึกษาการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ระหว่างผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด

STUDY ON THE GELATION OF THE PRODUCT FROM TOFU POWDER AND GROUND PORK

สันติธรรม โชติประทุม

SUNTITHAM CHOTIPRATOOM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-900-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ระหว่างผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด

STUDY ON THE GELATION OF THE PRODUCT FROM TOFU POWDER AND GROUND PORK

สันติธรรม โชติประทุม

SUNTITHAM CHOTIPRATOOM

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....49408
วัน, เดือน, ปี.....20 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-900-1

STUDY ON THE GELATION OF THE PRODUCT FROM TOFU POWDER AND GROUND PORK

SUNTITHAM CHOTIPRATOOM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

ISBN 974-324-900-1

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ระหว่างผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด
STUDY ON THE GELLATION OF THE PRODUCT FROM TOFU POWDER AND GROUND PORK

ชื่อนักศึกษา นายสันติธรรม โชติประทุม

รหัสประจำตัว 40066007

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.ยุพร พืชกมุทร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ยุพร	พืชกมุทร	
ผศ.เยาวลักษณ์	สุรพันธพิศิษฐ์	
ผศ.ดร.ระติพร	หาเรือนกิจ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 24 พฤศจิกายน 2546 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D213 อาคารเจ้าคุณทหาร

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 17 **เดือน** ธันวาคม **พ.ศ.** 2546

ที่ 80 : 20 มีคะแนนความชอบสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แซนแทนกัม 1 กรัมต่อสูตร มีคะแนนความชอบอยู่ที่ระดับปานกลาง

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูในถุงโพลีพอพิลีน ที่ 4 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเก็บมากกว่า 11 วัน จึงเริ่มมีกลิ่นหืน มีต้นทุนการผลิตโดยคิดจากวัตถุดิบเท่ากับ 60.94 บาทต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า เต้าหู้หมูประกอบด้วย ความชื้น 52.05 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 16.28 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18.56 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 8.71 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.59 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใย 0.81 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ดร.ยุพร พืชกมุทร ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาให้ความรู้ ข้อคิด และคำแนะนำอันมีค่าและเป็นประโยชน์ ตลอดช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และผศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำเพิ่มเติมแก่ข้าพเจ้า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อวัตถุดิบตลอดการทำวิจัย ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ปริญญาตรี และปริญญาโท ทุกท่านที่ให้กำลังใจ และคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ขอกราบขอบคุณพระคุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมไว้แต่เพียงผู้เดียว

นายสันติธรรม โชติประทุม

สารบัญ

บทคัดย่อไทย..... I

บทคัดย่ออังกฤษ..... III

กิตติกรรมประกาศ..... V

สารบัญ..... VI

สารบัญตาราง..... VIII

สารบัญภาพ..... X

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย..... 1

1.3 วัตถุประสงค์..... 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ผงเต้าหู้..... 3

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของผงเต้าหู้..... 4

2.3 การเติมเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์..... 5

2.4 การใช้สารเพิ่มความข้นหนืดเพื่อรักษาความคงตัวของอิมัลชั่น..... 7

2.5 การเกิดเจล..... 8

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ..... 17

3.1 วัตถุดิบ..... 17

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ..... 17

3.3 สถานที่ดำเนินงาน..... 18

3.4 วิธีการดำเนินงาน..... 18

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 25

4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิของวัตถุดิบและเวลาในการต้มที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจล ของเต้าหู้หมู..... 25

สารบัญ (ต่อ)

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดกับปริมาณสารให้ความข้นหนืดที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลของเต้าหู้หมู..... 28
4.3 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู.....38
4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู..... 39
4.5 ผลการคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู..... 39

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....41

ข้อเสนอแนะ..... 43

บรรณานุกรม..... 44

ภาคผนวก
ก. ตารางการวิเคราะห์ผลทางสถิติ..... 48
ข. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส..... 60
ค. ภาพขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าห้หมู.....65
ง. กราฟการวัดเนื้อสัมผัส.....68

ประวัติผู้เขียน..... 72

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงสูตรส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู..... 22

4.1 แสดงอุณหภูมิของวัตถุดิบและอุณหภูมิของผสมระหว่างพรีอิมัลชั่นและเนื้อหมูบด(paste) ที่อัตราส่วน 80 : 20 ในระหว่างการสับผสมที่เวลาต่างๆ.....25

4.2 ค่าความแข็งของเจล (g . Force) ของผลิตภัณฑ์ เต้าหู้หมูที่ใช้อุณหภูมิการแช่เย็นวัตถุดิบ และเวลาในการต้มต่างกัน..... 27

4.3 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อุณหภูมิการแช่เย็นวัตถุดิบ และเวลาในการต้มต่างกัน..... 28

4.4 ค่าความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อ หมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ 29

4.5 ค่าความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อ หมูบดและปริมาณแซนแทนกัมที่ระดับต่างๆ..... 29

4.6 ค่าความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อ หมูบดและปริมาณกัวกัมที่ระดับต่างๆ..... 30

4.7 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของ ผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ..... 32

4.8 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของ ผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแซนแทนกัมที่ระดับต่างๆ..... 33

4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่น ของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณกัวกัมที่ระดับต่างๆ.....34

4.10 แสดงค่าความแข็งของเจลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ หมูที่เติมสารให้ความข้นหนืดชนิดต่างๆ.....35

4.11 คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเนื้อหมูที่เติมสารให้ความข้น หนืดชนิดต่างๆ..... 37

4.12 คะแนนทางประสาทสัมผัสของการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูระหว่าง การเก็บรักษา..... 38

4.13 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชนิดอื่น.....39

4.14 ราคาของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู..... 40

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อุณหภูมิแช่เย็นวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่างกัน.... 49

ก.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อุณหภูมิแช่เย็นวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่างกัน..... 50

ก.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างกัน..... 51

ก.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแซนแมนกัมต่างกัน..... 52

ก.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณกัวกัมต่างกัน..... 53

ก.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 15 คน) ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างกัน..... 54

ก.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 15 คน) ของผลิตภัณฑ์จเต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแซนแทนกัมต่างกัน..... 55

ก.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 15 คน) ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณกัวกัมต่างกัน..... 56

ก.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูสูตรปรับปรุงรสชาติ..... 57

ก.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 12 คน) ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูสูตรปรับปรุงรสชาติ..... 58

ก.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 10 คน) ด้านอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู..... 59

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกของกรดอะมิโน..... 11

2.2 แสดงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสายโพลีเปปไทด์..... 13

3.1 การผลิตผงเต้าหู้.....19

3.2 วิธีการเตรียมพรีอิมัลชั่น..... 20

3.3 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู..... 20

ภาคผนวก ค. ภาพขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู..... 65-67

ง. 1 แสดงกราฟการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมแป้งมันสำปะหลัง..... 69

ง. 2 แสดงกราฟการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมแซนแทนกัม..... 70

ง. 3 แสดงกราฟการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมกัวกัม..... 71

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วเหลืองจัดเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์ และมีบทบาทในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนอยู่ในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังมีปริมาณของไขมันต่ำและย่อยง่าย จึงทำให้ถั่วเหลืองมีความสำคัญในการผลิตเป็นโปรตีนจากพืชเพื่อทดแทนเนื้อสัตว์ โดยเฉลี่ยคนปกติบริโภคถั่วเหลืองเพียงวันละ 150 กรัม ก็เพียงพอต่อความต้องการโปรตีนของร่างกาย(วรลักษณ์และยุพร , 2545) นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่สูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไขมันที่ดีและมีประโยชน์ต่อการบริโภค ซึ่งได้แก่ ไลโนเลอิก และไลโนเลนิก ในปริมาณที่สูงถึง 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นการแปรรูปถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ โดยเฉพาะการทำผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนเนื้อสัตว์ ในกรณีของผู้ที่ต้องการหลีกเลี่ยงเนื้อสัตว์ หรือต้องการควบคุมคลอเรสเตอรอล

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองในรูปของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิต อย่างไรก็ตามโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ขั้นตอนการสกัดเพื่อรักษาคุณภาพของโปรตีนเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ในขณะที่เต้าหู้เป็นอาหารพื้นบ้านที่มีวิธีการเตรียมง่าย วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ และยุพร พืชกมุทร (2545) ทดลองเตรียมผงเต้าหู้โดยการตกตะกอนน้ำนมถั่วเหลือง นำตะกอนมาอบแห้ง นำผงเต้าหู้ไปทดสอบ พบว่าสามารถตีผสมกับน้ำและ น้ำมันเป็นอิมัลชั่นที่มีความเสถียรไม่พบการแยกชั้นของน้ำและน้ำมัน เมื่อนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และผงเต้าหู้สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 3 เดือน โดยไม่เกิดกลิ่นหืน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้ โดยอาศัยคุณสมบัติการเกิดเป็นอิมัลชั่นที่ดีกับน้ำและน้ำมัน และทำการปรับปรุงกลิ่นรสเพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าโปรตีนสูงและสามารถใช้ทดแทนผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ระหว่างผงเต้าหู้และเนื้อหมูสับ ซึ่งผู้วิจัยขอตั้งชื่อผลิตภัณฑ์ว่า “เต้าหู้หมู” โดยทำการการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิของวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและการเกิดเป็นเจลของเต้าหู้หมู รวมถึงถึงศึกษาความสัมผัสระหว่างอัตราส่วนของพรีอีมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณสารให้ความข้นหนืด 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง

แซนแทนกัม และกัวกัม ที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้หมู เพื่อที่จะได้เลือกระดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู และทำการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่ผลิตได้

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิของวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่อการเป็นเจลของผลิตภัณฑ์ระหว่างผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด (เต้าหู้หมู)

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพรีอิมัลชั่น (pre – emulsion) ของผงเต้าหู้กับปริมาณเนื้อหมูบดและปริมาณสารให้ความข้นหนืด 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แซนแทนกัม และกัวกัม ที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้หมู

3. เพื่อทำการปรับปรุงกลิ่นรส และการยอมรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

4. เพื่อศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้ ลดการใช้เนื้อสัตว์ และเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งให้แก่ผู้บริโภคที่ต้องการที่ต้องการหลีกเลี่ยงเนื้อสัตว์ และต้องการควบคุมคลอเรสเตอรอล

บทที่ 2
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผงเต้าหู้ (tofu powder)

ผงเต้าหู้เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญแหล่งหนึ่งที่ได้จากการนำเต้าหู้มาลดความชื้น และบดละเอียด สามารถเก็บได้นานถึง 6 – 12 เดือน (Smith and Circle .1980) ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำโปรตีนถั่วเหลืองในรูปของผงเต้าหู้มาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากกระบวนการผลิตผงเต้าหู้เป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก ราคาถูก สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ

Halik *et al.* (1976) ได้ศึกษาคุณสมบัติของผงเต้าหู้ พบว่ามีความสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านปริมาณจุลินทรีย์ และความสามารถในการอุ้มน้ำ ลดปัญหาการเกิดกลิ่นถั่วที่บริโภคไม่ยอมรับ และสามารถเก็บได้เป็นเวลานาน

Chung and Kim (1996) ผลิตผงเต้าหู้โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์และกลูโคโนเดลต้าแลคโตนในการตกตะกอน ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติด้านการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์เปรียบเทียบกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง พบว่าผงเต้าหู้ทั้งสองชนิดจะมีการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์น้อยกว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง แต่คุณสมบัติเหล่านี้จะสูงขึ้นเมื่อมีโซเดียมคลอไรด์ โดยการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของเกลือ (Zayas . 1997)

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย (2540) ได้ศึกษาการผลิตผงเต้าหู้โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมซัลเฟตเป็นสารตกตะกอน โดยนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ผงเต้าหู้ที่มีความชื้นต่ำ และมีปริมาณโปรตีน 55 – 57 เปอร์เซ็นต์

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ (2545) ได้ศึกษาผลของสารที่ตกตะกอนและอุณหภูมิในการทำแห้งในกระบวนการผลิตผงเต้าหู้โดยใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนจากแมกนีเซียมซัลเฟตและอุณหภูมิในการทำแห้ง 70 องศาเซลเซียสให้อิมัลชั่นที่เตรียมจากผงเต้าหู้ น้ำและน้ำมันที่มีความคงตัวมากที่สุด และผงเต้าหู้มีองค์ประกอบทางเคมีคือ ปริมาณโปรตีน 51.45 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 29.78 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 4.65 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 13.03 เปอร์เซ็นต์

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของผงเต้าหู้

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย (2540) ศึกษาความสามารถในการละลายและการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ของผงเต้าหู้เปรียบเทียบกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง พบว่าผงเต้าหู้มีคุณสมบัติด้านการละลายไม่ดีเท่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองเนื่องจากผงเต้าหู้มีไขมันเป็นส่วนประกอบมาก นอกจากนี้กระบวนการผลิตผงเต้าหู้มีการใช้ความร้อนในระหว่างการตกตะกอนและทำแห้ง ทำให้โปรตีนในผงเต้าหู้เกิดการเสื่อมสภาพ (denature) ซึ่งการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนมีผลต่อคุณสมบัติด้านการละลายน้ำ unfolding protein อาจทำให้ surface hydrophobicity ของโปรตีนในผงเต้าหู้เพิ่มขึ้น ในการนำผงเต้าหู้มาเป็นส่วนประกอบในอาหารควรปรับปรุงคุณสมบัติด้านการละลายโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ช่วย เพื่อเพิ่ม ionic strength จะช่วยให้การละลายดีขึ้น ส่วนคุณสมบัติด้านอิมัลซิฟายเออร์โดยตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชั่น แสดงด้วยค่า turbidity พบว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติด้านความคงตัวของอิมัลชั่นดีกว่าผงเต้าหู้ อาจเนื่องมาจากความสามารถในการละลายที่ไม่ดีของผงเต้าหู้

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ (2545) ทำการผลิตผงเต้าหู้ใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นสารตะกอนอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันคือ 60 70 และ80 องศาเซลเซียส เมื่อนำผงเต้าหู้ทุกตัวอย่างมาทำการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้น ค่าความสว่าง (L) ลดลง นั่นคือถ้าอุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้นผงเต้าหู่จะมีสีคล้ำมากขึ้น สำหรับความคงตัวของอิมัลชั่น พบว่าวิธีการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์มีปริมาณที่แยกชั้นออกมาน้อยกว่าอิมัลชั่นที่ใช้ผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับไม่ว่าจะเปรียบเทียบที่ใช้อุณหภูมิที่ใช้อบใด ๆ นอกจากนี้ปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์โดยการเซนตริฟิวจ์สูงกว่าปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการเซนตริฟิวจ์ที่นอกจากจะสะดวกทำได้ง่ายกว่ายังให้ความคงตัวอิมัลชั่นที่ดีกว่าและให้ผลผลิตที่สูงกว่า เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้อบ ถึงแม้การใช้อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ระยะเวลาในการอบสั้นลง แต่ค่าความคงตัวของอิมัลชั่นต่ำกว่าการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้โปรตีนเสียสภาพทางธรรมชาติ ทำให้คุณสมบัติด้านหน้าที่มีคุณภาพลดลง เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิต่ำที่ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสมดุลของผงเต้าหู้สูงกว่าผงเต้าหู้ตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะกรณีของการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ ทำให้ปริมาณของโปรตีนที่มีอยู่ในอิมัลชั่นจริง ๆ ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ผงเต้าหู้ที่อบที่ 70 องศาเซลเซียส จึงทำให้ความคงตัวของอิมัลชั่นมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การอบที่ 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ และได้ทดลองนำผงเต้าหู้ไปเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู พบอิมัลชั่นที่ใช้ในอัตราส่วนของผงเต้าหู้ต่อน้ำต่อน้ำมันเท่ากับ 1:1:0.75 เป็นอิมัลชั่นที่มีความคงตัวไม่พบการแยกตัวของน้ำมันและเมื่อนำไปเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูพบว่าสามารถรวมตัวกับเนื้อหมูเกิดเป็นอิมัลชั่นที่มีความคงตัวดี

2.3 การเติมผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

Rahardjo *et al.* (1994) ศึกษาการใช้นมถั่วเหลืองผงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมู โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน พบว่าเมื่อเติมนมถั่วเหลืองผงในไส้กรอกหมู 3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูที่ได้มีปริมาณไขมันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน และทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน และความชื้นสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมนมถั่วเหลืองผงในผลิตภัณฑ์จะช่วยทำให้ในผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นจึงทำให้มีปริมาณความชื้นมากขึ้น และสัดส่วนของไขมันในสูตรที่เติมนมถั่วเหลืองลดลง

Lecomte *et al.* (1993) ศึกษาการใช้โปรตีนในรูปของแป้งถั่วเหลือง โปรตีนเข้มข้น และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ในผลิตภัณฑ์แฟรงเฟอร์เตอร์ โดยเติมในลักษณะที่เป็นผงและพรีอิมัลชั่น พบว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีนและความชื้นมากกว่าตัวอย่างควบคุม โดยการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยให้มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ และมีปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สัดส่วนของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง

การเติมโปรตีนนมถั่วเหลืองในรูปผงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วแรงกว่าเติมแบบพรีอิมัลชั่น เนื่องจากไขมันที่ใช้ทำให้เกิดพรีอิมัลชั่นจะหุ้ม (encapsulate) ส่วนที่ทำให้เกิดกลิ่นในถั่วเหลือง จึงทำให้การเติมลักษณะพรีอิมัลชั่นจะให้เกิดถั่วที่น้อยกว่าการเติมลักษณะผง และการเติมแป้งถั่วเหลืองจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วแรงกว่าโปรตีนเข้มข้นและโปรตีนสกัด ตามลำดับ (Lecomte *et al.* 1993)

Lin and Mei (2000) ศึกษาการเติมกัม และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ในผลิตภัณฑ์ meat batter โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65.6 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมกัม และ SPI ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณผลผลิตสูงขึ้น เนื่องจากกัม และ SPI ช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น และการเติม SPI จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางด้านโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์ โดยทำให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสัดส่วนของปริมาณไขมันลดลง ซึ่ง Lin and Mei (2000) กล่าวว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยทำให้คุณสมบัติด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกดีขึ้นจึงส่งผลให้มีสัดส่วนของปริมาณไขมันลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jeng *et al.* (1988)

จากการทดลองของ Lecomte *et al.* (1993) Rahardjo *et al.* (1994) และ Lin and Mei (2000) ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการทดลองของ Rakosky (1974) ซึ่งกล่าวว่าการผสมโปรตีนถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์เนื้อ โปรตีนถั่วเหลืองจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์และ binder ซึ่งมีผลต่อน้ำในเนื้อมากขึ้น (meat juices) โดยจะช่วยให้ไม่เกิดการสูญเสียในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น และทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการทางด้านโปรตีนในผลิตภัณฑ์เนื้อมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ถึงแม้จะช่วยส่งเสริมให้คุณสมบัติการดูดซับน้ำ การเกิดอิมัลชั่นดีขึ้น และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต แต่พบว่าเกิดปัญหาทางด้านกลิ่น และรสชาติ จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Jeng *et al.* 1988) นอกจากนี้

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในอาหารคือ สารยับยั้งคุณค่าทางอาหาร (antinutrition) สารพิษ (flaus faction) และกลิ่นถั่ว (beany flavor) ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ไลโปออกซิเดส (lipoxynase) ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะมีในโปรตีนเข้มข้นมากกว่าโปรตีนสกัด เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะเป็นอุปสรรคสำคัญในการแปรรูป และการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งปัญหาดังกล่าวในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์จึงมีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในเปอร์เซ็นต์ที่น้อย นอกจากนี้การผลิตโปรตีนสกัดยังคงมีค่าใช้จ่ายสูง

Jeng *et al.* (1988) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้เพื่อทดแทนเนื้อสัตว์และไขมันบางส่วนในโบโลญ่า โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมโปรตีนเข้มข้น พบว่าเมื่อเติมเต้าหู้และโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นจะส่งผลให้โบโลญ่าที่ได้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมีความชื้นมากกว่าตัวอย่างควบคุม และทำให้มีปริมาณไขมันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม โปรตีนที่เติมลงไปในรูปของผงเต้าหู้จะช่วยให้โบโลญ่ามีคุณสมบัติการเกิดอิมัลชั่น และความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าโบโลญ่าที่มีการเติมเต้าหู้ 31.6 เปอร์เซ็นต์ มีความเหนียวและกลิ่นถั่วมากกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้ 15.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้มีความเหนียวและกลิ่นถั่วที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนโบโลญ่าที่เติมโปรตีนถัวเหลืองเข้มข้นส่งผลให้โบโลญ่ามีกลิ่นถั่วแรงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

Kai – Lai *et al.* (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์แฟรงเฟอร์เตอร์เพื่อทดแทนไขมันบางส่วน โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมสูตรปกติ และแฟรงเฟอร์เตอร์สูตรไขมันต่ำ พบว่าแฟรงเฟอร์เตอร์ที่เติมผงเต้าหู้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้น เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าตัวอย่างสูตรปกติและตัวอย่างสูตรปกติที่เติมผงเต้าหู้มีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น รส สี และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกัน ส่วนสูตรไขมันต่ำ และสูตรไขมันต่ำที่เติมผงเต้าหู้มีกลิ่นรสที่ไม่แตกต่างกัน ผู้ทดสอบมีความชอบสีของสูตรไขมันต่ำมากกว่าสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมผงเต้าหู้ เนื่องจากผงเต้าหู้ที่เติมลงในผลิตภัณฑ์มีสีขาวทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีซีดลง และผู้ทดสอบชอบเนื้อสัมผัสของสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมผงเต้าหู้มากกว่าสูตรไขมันต่ำปกติ จึงทำให้ผู้ทดสอบให้การยอมรับรวมของสูตรไขมันต่ำที่เติมผงเต้าหู้มากกว่าสูตรไขมันต่ำปกติ

Kai – Lai *et al.* (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเพื่อทดแทนไขมันบางส่วน โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมได้แก่ สูตรปกติ สูตรไขมันต่ำ และตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้จะส่งผลให้ไส้กรอกมีปริมาณโปรตีนและมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น จึงทำให้มีสัดส่วนของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jeng *et al.*(1988) เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้ 3 เปอร์เซ็นต์ จะมีลักษณะเนื้อสัมผัส ความฉ่ำน้ำ และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกับตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ ส่วนลักษณะด้านกลิ่น รส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis : TPA) พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) ความเกาะตัวกัน (cohesiveness) ความยืด

หยุ่น (springiness) ความหนืบ (gumminess) และความบดเคี้ยว (chewiness) ของไส้กรอกที่มีการเติมผงเต้าหู้จะให้ค่าดังกล่าวสูงกว่าไส้กรอกหมูสูตรปกติ สูตรไขมันต่ำที่มีการเติมคาราจีแนน และสูตรไขมันต่ำ ซึ่งจากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างจากการทดลองของ Rahardjo *et al.* (1994) ซึ่งกล่าวว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยเพิ่มความนุ่มให้กับไส้กรอกหมูสูตรไขมันต่ำ

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย (2540) ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูสูตรที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและผงเต้าหู้โดยแยกตะกอนด้วยเซนทริฟิวจ์ พบว่าผู้ประเมินไม่สามารถบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เบอเกอร์หมูที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและผงเต้าหู้ได้ และเมื่อทำการทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์โดยใช้ preference test พบว่าคุณสมบัติด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง และผงเต้าหู้ไม่มีความแตกต่างกัน

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ (2545) นำผงเต้าหู้มาเตรียมในรูปของพรีอิมัลชั่น เติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู สามารถใช้ทดแทนการใช้เนื้อหมูได้ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อหมู โดยที่ผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างของลูกชิ้นระหว่างสูตรที่เติมผงเต้าหู้กับลูกชิ้นเนื้อหมูสูตรควบคุมได้

2.4 การใช้สารให้ความข้นหนืดเพื่อรักษาความคงตัวของอิมัลชั่น

สารเพิ่มความข้นหนืดส่วนใหญ่เป็นพวกไฮโดรคอลลอยด์ และอยู่ในกลุ่มของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งเหมาะกับระบบอิมัลชั่นแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เท่านั้น สารพวกนี้ประกอบด้วย เซลลูโลส โลคอสบีนกัม กัวกัม อะไมโลเพคติน อะไมโลส เพคติน อัลจีเนต วุ้น เด็กซแทรน และกัมอะราบิค มีเพียงเซลลูโลสเท่านั้นที่เหมาะสำหรับอิมัลชั่นแบบน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion) (ณรงค์ . 2537)

Nakamura *et al.* (1994) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างไลโซไซม์กับกาแลคโตแมนแนน โดยใช้ส่วนผสมระหว่างโปรตีนกับกาแลคโตแมนแนนในอัตราส่วนระหว่าง 1:1 โดยน้ำหนัก บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ แล้วสกัดแยกเอาของผสมนั้นออกมา ตรวจสอบคุณสมบัติด้านอิมัลชั่นและตรวจสอบขนาดของโมเลกุล พบว่าผลการรวมตัวกันระหว่างไลโซไซม์กับกาแลคโตแมนแนนสามารถช่วยให้อิมัลชั่นมีความคงตัวมากขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างโปรตีนกับกาแลคโตแมนแนน ทำให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของโปรตีนมีความแข็งแรงมากขึ้นและส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ก็มีความแข็งแรงมากขึ้นเช่นกัน

Matsudomi *et al.* (1995) ศึกษาคุณสมบัติด้านการรักษาความคงตัวของอิมัลชั่นด้วยปฏิกิริยาเมลลาร์ดชนิดโครงสร้างตาข่ายแบบโควาเลนซ์ของพลาสม่าโปรตีนกับกาแลคโตแมนแนน ในอัตราส่วน 1:1 มาเตรียมอิมัลชั่น พบว่าจำนวนวันที่บ่มมีผลต่อความเร็วในการเข้ายึดเกาะพื้นผิวของของผสมระหว่างโปรตีนกับกาแลคโตแมนแนน ซึ่งของผสมจะมีโครงสร้างขนาดใหญ่มากน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนวันที่บ่ม เนื่องจากเกิดการรวมกัน (complex) ระหว่างหมู่เอมีนของพลาสม่าโปรตีนกับหมู่คาร์บอกซิล

ของกาแลคโตแมนแนนจึงส่งเสริมให้เกิดสภาพขั้วของโปรตีนให้มีความแข็งแรง ทำให้มีคุณสมบัติการเกิดอิมัลชั่นสูงขึ้น 1.4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการบ่มวันที่ 0 วัน เมื่อสภาพขั้วของโปรตีนมีความแข็งแรงสูงจึงทำให้อิมัลชั่นมีความคงตัวมากขึ้นถึง 10 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 ของการบ่ม

เนื่องจากกัวกัมเป็นโพลีเมอร์ของกาแลคโตแมนแนนที่มีส่วนโครงสร้างหลักเป็นโพลีเมอร์สายตรงของแมนโนสและมีส่วนที่เป็นโครงสร้างของกิ่งสาขาเป็นกาแลคโตส โดยทุกๆ 2 หน่วยของแมนโนสในโครงสร้างสายตรงจะมีกิ่งของกาแลคโตสแยกออกมา กัวกัมมีคุณสมบัติในการให้ความหนืดและมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี อีกทั้งมีราคาถูกกว่ากาแลคโตแมนแนน (วุฒิชัย . 2536)

Xie and Hettiarachchy (1997) ศึกษาการใช้ของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับแซนแทนกัมในอัตราส่วน 1:1 , 1:2 , 1:3 , 1:4 และ 2:1 โดยควบคุมให้มีโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เปรียบเทียบกับการใช้โบไวน์ซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin) 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำมาเตรียมอิมัลชั่นแบบน้ำมันในน้ำ พบว่าการละลายของไนโตรเจนจะมีมากในอิมัลชั่นที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับแซนแทนกัม เนื่องจากการละลายของไนโตรเจนมีมากทำให้มีความว่องไวในการเข้ายึดเกาะพื้นผิวของเม็ดไขมัน ส่งผลให้มีค่าการเกิดอิมัลชั่น (emulsion activity) มีค่ามากโดยเฉพาะที่อัตราส่วน 1:2 ของของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นร่วมกับแซนแทนกัม การใช้แซนแทนกัมอย่างเดียวทำให้ค่าความคงตัวของอิมัลชั่นเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า เมื่อเทียบกับการใช้โปรตีน

Noitup and Raksakulthai (1997) พัฒนากระบวนการผลิตและเก็บรักษาลูกชิ้นปลา โดยใช้แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลัง และสูตรควบคุมที่ไม่ใส่แป้ง พบว่าการเติมแป้งช่วยให้การเกิดเจลดีขึ้น มีความยืดหยุ่น ส่งผลดีต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ทำให้คะแนนของลูกชิ้นที่เติมแป้งได้รับการยอมรับดีกว่าลูกชิ้นสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมแป้ง

2.5 การเกิดเจล

เจล คือ เป็นการเชื่อมกันระหว่างหน่วยโครงสร้างเพื่อให้เป็นโครงสร้างตาข่ายที่ป้องกันการไหลของของไหล (ฉรงค์ , 2538) เจลเป็นกระบวนการผลิตพื้นฐานที่เกิดขึ้นในการผลิตอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อ ปลา ผลไม้ และขนมอบ เป็นต้น (Zayas , 1997)

การเกิดเจล (gelation) คือ

- ปรากฏการณ์ที่โปรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีแบบแผน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้น เจลที่ได้มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของซูริมิและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยการเกิดเจลที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นสูง (Kim and Lee , 1987)

- การคลายตัวของโปรตีนและมีการจับกันใหม่ที่จุดเฉพาะ เพื่อฟอร์มตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ การคลายตัวของโปรตีนเป็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนระดับที่ 2 ซึ่งการ

คลายตัวอาจมาจากการให้ความร้อน การมีกรด ด่าง ยูเรีย การเกิดโครงสร้าง 3 มิติเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และโปรตีนกับสารละลาย (น้ำ) โมเลกุลเกิดพันธะระหว่างกันจึงเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (Howe *et al.*, 1994)

วัตถุดิบและสารผสมที่สามารถเกิดเจลได้หรือมีคุณสมบัติในการเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ได้แก่ โปรตีน เช่น โปรตีนนม โปรตีนไข่ โปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ สตาร์ช เพคติน กัม แอลจีเนต คาราจีแนน เป็นต้น กลไกในการเกิดเจลของสารที่ได้กล่าวมานี้มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือสารเหล่านี้จะต้องถูกทำให้เปียก (wetting) มีการดูดน้ำ บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดพองตัวเมื่อดูดน้ำและอุ้มน้ำไว้ได้ สารที่ทำให้เกิดเจลบางชนิดจะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างของโมเลกุล เช่น การเสื่อมสภาพของโปรตีน การเจลลาติไนซ์เซชั่นของสตาร์ช เป็นต้น หลังจากนั้นโมเลกุลของโครงสร้างจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ประสานกันเป็นร่างแหสามมิติ เกิดเป็นเจลในสภาวะที่เหมาะสมกับสารที่ทำให้เกิดเจลนั้นๆ เช่น มีความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดเจลสูงเพียงพอ การเติมอิออนบางชนิด การลดอุณหภูมิ เป็นต้น โครงสร้างเจลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เป็นโครงสร้างผสม ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชนิดที่ยังคงสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น แฮม เมื่อผ่านการหุงต้มจะมีเส้นใยกล้ามเนื้อจัดเรียงตัวอยู่ในเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ เช่น ไส้กรอก มีเม็ดไขมันกระจายตัวอยู่ในเจลของโปรตีนเนื้อ (ปาริฉัตร . 2542)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลได้แก่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของสารนั้นๆ เช่น ขนาด รูปร่างของโมเลกุล ประจุ และความหนาแน่นของประจุ หมู่ไฮโดรฟิลิคและหมู่ไฮโดรโฟบิค เป็นต้น สำหรับปัจจัยภายนอกโมเลกุลเช่น ความเข้มข้นของวัตถุดิบ อุณหภูมิ และเวลาในการแปรรูป เป็นต้น

ลักษณะการฟอร์มเจลแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1. coagulum – type gel เกิดกับโปรตีนที่มี non – polar residue ภายใต้การตกตะกอนอย่างอิสระโดยเกิด hydrophobic interaction ซึ่งเจลจะมีความยืดหยุ่นและมี water holding capacity ต่ำ และไม่สามารถกลับไปเป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo – irreversible gel) เช่น การเกิดเจลของเนื้อสัตว์

2. translucent gel เกิดกับพวกโปรตีนที่มี non – polar เหลืออยู่น้อย ปกติเจลจะจัดตัวเรียงเป็นระเบียบ มีความยืดหยุ่นสูง มีค่า water holding capacity สูง สามารถหลอมละลายเป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo – reversible gel) เช่น เจลาติน วุ้น เมื่อโปรตีนใน progel state ถูกความเย็นเกิดโมเลกุลเสียสภาพบางส่วนมีการเกิด refold การเกิด refold และการฟอร์มเป็น intramolacular interaction จะลดจำนวนของหมู่ฟังก์ชั่นที่สามารถทำหน้าที่ได้สำหรับ intermolecular interaction ทำให้เจลมีความอ่อนและปริมาณโปรตีนที่น้อยที่สุดที่ต้องการฟอร์มตัว เพื่อให้เจลคงอยู่ได้ต้องมีมากกว่าการสูญเสียโปรตีน refold ขณะที่ cooling

โปรตีนที่มีกรดอะมิโนมากกว่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น non – polar เช่น วาลีน (Valine) , โปรลีน (Prolein) , ลิวซีน (Leucine) , ไอโซลิวซีน (Isoleucine) , ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanin) และทริปโตเฟน (Tryptophane) จะเกิดเจลแบบ coagulum – type gel และโปรตีนที่มีกรดอะมิโน non – polar น้อยกว่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดเจลแบบ translucent gel แต่การที่จะเป็นไปตามทฤษฎีนี้ต้องไม่คำนึงถึงค่าอื่น ๆ เช่น pH , ionic strength (Howe *et al.*, 1994)

อิมัลชั่นเจล เกิดจากการให้ความร้อนกับอิมัลชั่นที่มีความคงตัว (oil – in – water emusion) โปรตีนที่มีความเข้มข้นมาก เมื่อล้อมรอบเม็ดไขมันไว้จะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะฟอร์มตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย (gel network) กลายเป็นเจลที่แข็งแรง และโปรตีนที่มีสภาพไม่มีขั้วที่แทรกอยู่ในเม็ดไขมันได้จะทำให้เกิดอิมัลชั่นเจลที่มีความแข็งแรงกว่าอิมัลชั่นเจลที่เกิดจากโปรตีนที่ล้อมรอบอยู่ด้านนอกของเม็ดไขมัน ความแข็งแรงของ heat – set gel ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ปริมาณโปรตีน , อุณหภูมิในกระบวนการให้ความร้อน , ค่าความเป็รกรด – ด่าง และชนิดและความเข้มข้นของเกลือ (Dickinson and Yamamoto , 1996)

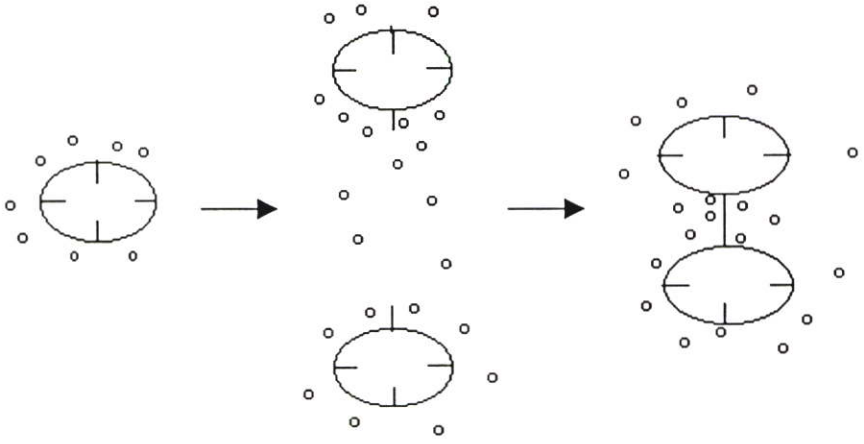
2.5.1 พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจล

1. พันธะไฮโดรโฟบิก

กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของไมโอซินที่ไม่ชอบน้ำมีประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เช่น อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน โปรลีน ทริปโตเฟน และฟีนิลอะลานีน เมื่อกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำเหล่านั้นสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำจะเกิดการจับกันโดยพันธะไฮโดรเจนรอบ ๆ กรดอะมิโน (hydrophobic hydration) แต่การจัดเรียงตัวในโมเลกุลดังกล่าวไม่ถาวร ดังนั้นกรดอะมิโนจึงหันด้านที่ไม่ชอบน้ำเข้าไปในโมเลกุลโปรตีน ซึ่งมีผลต่อความคงทนของโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีน โมเลกุลจึงจัดเรียงตัวคล้ายหยดน้ำมันที่ล้อมรอบด้วยน้ำ เรียกว่าแคล็ธเร็ธ (clathrate)

การเกิดพันธะแสดงดังภาพที่ 2.1 และสามารถอธิบายการเกิดได้ดังนี้ เมื่อหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนสัมผัสกับน้ำก่อนการให้ความร้อน (a) โมเลกุลของโปรตีนที่แยกจากกันเป็น 2 โมเลกุลที่ล้อมรอบด้วยน้ำ (b) โมเลกุลของโปรตีน 2 โมเลกุลที่เชื่อมต่อกัน (c) ดังนั้นพันธะไฮโดรโฟบิกจะเกิดขึ้นเมื่อผ่านการให้ความร้อนกับโปรตีน พันธะชนิดนี้เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เกิดจากอิทธิพลของน้ำเป็นสำคัญ การเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกจะถูกยับยั้งโดยโพลิออล เช่น กลีเซอรีน ซูโครส ซอร์บิทอล และกรดอะมิโนบางชนิด เช่น กลูตามิก และไลซีน หรืออาจกล่าวได้ว่าพันธะไฮโดรโฟบิกเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำของโมเลกุลไมโอซิน แรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการคลายตัวของกลุ่มอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำจะเกิดได้มากที่อุณหภูมิสูง (Howe *et al.* 1994)

เมื่อได้รับความร้อน ผิวหน้าของโมเลกุลของโปรตีนจะเปิดออก ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำและเกิดแรงทำให้โมเลกุลของโปรตีนเคลื่อนที่เข้าหากัน



ภาพที่ 2.1 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกของกรดอะมิโน
ที่มา : Zayas , 1997

2. พันธะไดซัลไฟด์

เป็นพันธะโควาเลนท์ประเภทหนึ่ง การเกิดพันธะนี้เกิดจากการออกซิเดชันของซิสเตอีน 2 โมเลกุลดังสมการ

$$\text{Protein} - \text{SH} + \text{SH} - \text{Protein} \xrightarrow{O_2} \text{Protein} - \text{S} - \text{S} - \text{Protein}$$

ซึ่งมีค่าพลังงานพันธะในช่วง 330 – 380 kJ / mol ดังนั้นพันธะนี้จึงมีค่าความแข็งแรงมากกว่าแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก กรดอะมิโนที่สามารถสร้างพันธะนี้คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลไฮดริล เช่น ซีสเตอีน Samajima *et al.* (1981) พบว่าส่วน globular head ของไมโอซินหรือเอส – 1 เป็นบริเวณที่มีกลุ่มซัลไฮดริลมาก การเชื่อมต่อของ globular head ระหว่างโมเลกุลไมโอซินจึงสันนิษฐานได้ว่าเกิดพันธะไดซัลไฟด์และการเติมสารออกซิแดนท์จะทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น เพราะจะเกิดพันธะไดซัลไฟด์ขึ้นภายในโมเลกุลเมื่อให้ความร้อนพันธะไดซัลไฟด์ภายในโมเลกุลสามารถเปลี่ยนเป็นพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุล เจลจะมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อมีการเติมสารออกซิแดนท์ก่อนกระบวนการให้ความร้อน แต่การเติมสารรีดิวซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และซีสเตอีนก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

พันธะไดซัลไฟด์จะเกิดที่อุณหภูมิสูง (80 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า) เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิต่ำ การออกซิเดชั่นของหมู่ซัลไฮดริลเป็นพันธะไดซัลไฟด์จะเริ่มต้นอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส

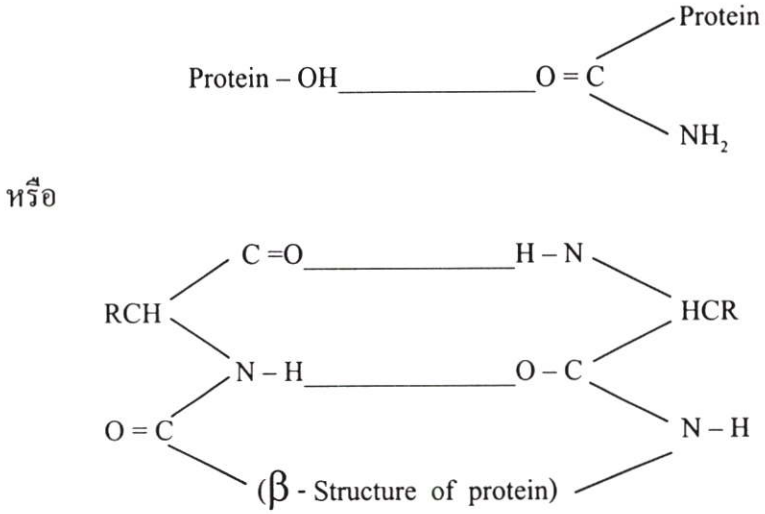
3. พันธะโควาเลนต์

เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มแกมมา – คาร์บอกซีเอไมด์ของกรดอะมิโนกลูทามีน และกลุ่มเอพซิลอน – อะมิโนของกรดอะมิโนไลซีนมีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของเจล เนื่องจากพันธะโควาเลนท์มีค่าพลังงานพันธะที่สูง การเพิ่มพันธะชนิดนี้จึงมีผลให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง การเชื่อมโยงระหว่างกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ transglutaminase นอกจากปริมาณ transglutaminase แล้วการเปิดตัวออกของโปรตีนไมโอโฟรบริล โดยเฉพาะไมโอซินจะต้องคลายตัวออกเพื่อให้กลุ่มแกมมา – คาร์บอกซิเอไมด์ของกรดอะมิโนกลูทามีน และกลุ่มเอพซิลอน – อะมิโนของกรดอะมิโนไลซีนออกสู่ภายนอกและเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังนั้นการที่จะให้เกิด setting จึงต้องบดผสมเนื้อกับเกลือให้เกิดประจุ(เฟส) ก่อนที่จะนำไปให้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อเกิดการเซ็ทตัว เนื่องจากเกลือสามารถละลายโปรตีนไมโอโฟบริล และทำให้โปรตีนคลายตัวออกในระดับหนึ่ง นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการเซ็ทตัวจะต้องเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไมโอซิน โดยต้องไม่สูงเกินไปจนเกิดการเสียโครงสร้างดั้งเดิมหรือการเสียสภาพ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดการเซ็ทตัวจะแตกต่างตามชนิดของเนื้อสัตว์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความคงตัวต่ออุณหภูมิของไมโอซิน

4. พันธะไฮโดรเจน

การเชื่อมต่อของพันธะ salt linking เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและมีขั้วในสายของโปรตีน ซึ่งกรดอะมิโนที่แสดงความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน ได้แก่ ไทโรซีน ซีรีน ไฮดรอกซีโพรลีน และทรีโอนีน ซึ่งจะมีหมู่ไฮดรอกซิล และกรดอะมิโนโพรลีน และไฮดรอกซีโพรลีน ซึ่งจะมีหมู่อะมิโน ซึ่งสองกลุ่มนี้จะแสดงตัวเป็นตัวให้และรับโปรตรอนขณะที่กลูตามิกและแอสพาร์ติกจะมีหมู่คาร์บอนิล ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน มีจำนวนของอะมิโนและหมู่คาร์บอนิลเป็นจำนวนมากในสายโพลีเปปไทด์ ซึ่งการเกิดพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสายโพลีเปปไทด์ดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 2.2

เมื่อ R = กรดอะมิโน ซึ่งแรงดึงดูดของพันธะไฮโดรเจนได้แก่ แรงที่เกิดจากประจุไฟฟ้า และจะมีค่าน้อยลงเมื่อให้ความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคงสภาพรูปแบบภายในของโปรตีนซึ่งน้ำแพร่กระจายไปไม่ถึง ซึ่งอธิบายได้ว่าทำไม แอลฟา – ฮีลิค (α - helix) และเบต้า – สตรักเจอร์ (β - structure) ของโปรตีนจึงเสถียรในน้ำ เนื่องจากการศึกษาด้วยอินฟาเรดพบว่า แอลฟา – ฮีลิค จะเกิดการแตกสลายในระหว่างการให้ความร้อนกับซูริมิที่ 80 องศาเซลเซียส แต่จะคืนตัวภายหลังการให้ความร้อน โครงสร้างของเบต้า – สตรักเจอร์ของโปรตีนจะถูกสร้างในช่วงนี้ซึ่งจะมีผลต่อค่าความยืดหยุ่นของเจลซูริมิ พันธะไฮโดรเจนจะมีความสำคัญต่อการคงสภาพของน้ำภายในเจล จำนวนโมเลกุลของน้ำที่มีมากเกิดจากพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโนที่มีขั้วซึ่งมีมากบนผิวหน้าของโมเลกุล



ภาพที่ 2.2 แสดงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสายโพลีเปปไทด์
ที่มา : Zayas , 1997

เมื่อนำเจลมาทำให้เย็นความแข็งของเจลเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากบทบาทของพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการตรวจคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของเจลโดยเฉพาะ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพจำเป็นต้องวิเคราะห์ที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับการเกิดเจลระหว่างการให้ความร้อนของเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆที่ไม่ใช่เนื้อปลามีองค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยแอกตินและไมโอซินจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงอุณหภูมิคือ ช่วงอุณหภูมิ 45-60 องศาเซลเซียส จะเหมาะสมต่อการเกิดเจลของไมโอซิน ช่วงอุณหภูมิ 60-76 องศาเซลเซียส จะเหมาะสมต่อการเกิดเจลของซาโคพลาสมิคโปรตีน แอกโตไมโอซิน และโปรตีนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ช่วงอุณหภูมิ 76-92 องศาเซลเซียส จะเหมาะสมต่อการเกิดเจลของแอกติน เนื่องจากเนื้อสัตว์เหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิดจึงมีความแตกต่างของช่วงการให้ความร้อนที่มีผลต่อการเกิดเจลพบว่าการให้ความร้อนกับเนื้อสัตว์จาก 17 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง แล้วค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 38 และ 85 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง จะได้เจลที่ไม่แข็งแรง และการให้ความร้อนกับเนื้อสัตว์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จะได้เจลที่ไม่มีความคงตัว ดังนั้นการเกิดเจลของเนื้อสัตว์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโปรตีน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ (Zayas . 1997)

2.5.2 การเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนในถั่วเหลืองมีคุณสมบัติทางด้านหน้าที่(Functional property) ที่สามารถเกิดการฟอร์มเจล การเกิดเจลสามารถทำได้โดยการให้ความร้อน (Heat-induced gel) หรือการใช้สารตกตะกอนโปรตีน (Coagulant) เจลโปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จากสารตกตะกอนที่รู้จักกันดีคือเต้าหู้ ถั่วเหลืองมี

ปริมาณโปรตีน 35-40 เปอร์เซ็นต์ แต่จะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์คือมีปริมาณของกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบน้อย (Sulfur containing amino acid) ได้แก่ กรดอะมิโนเมทิลโอนีน+ซีสตีน (Methionine + Cystine) แต่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนสูง (Lysine) โปรตีนถั่วเหลืองจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ที่เรียกว่า Protein bodies หรือ Storage proteins เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สามารถเชื่อมต่อกันได้อีกด้วย disulfide linkage ในส่วนของ Protein bodies ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีชื่อว่า globulin ประกอบด้วย fraction ของ 2S 7S 11S และ15S โดยมี fraction ของ 7S และ 11S เป็นองค์ประกอบหลัก การฟอร์มเจลของโปรตีนถั่วเหลืองจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับโมเลกุลของ 7S และ 11S globulin การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใดๆของโมเลกุลทั้งสองจะมีผลต่อการเกิดเจล (น้ำทิพย์ ,2544) เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองมีส่วนประกอบหลักคือ ไกลซินินและเบต้าคอนไกลซินิน ซึ่งโครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure) ของโปรตีนชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (pH) และสภาพอิออน ซึ่งมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยสะพานไดซัลไฟด์ (Single disulfide bridge) สำหรับโพลิเปปไทด์ที่มีสภาพเป็นเบสที่พีเอช 7.6 ไกลซินินจะฟอร์มโครงสร้างคอมเพลกซ์ (hexmeric complexes) เป็น 11S และที่พีเอช 3.8 จะฟอร์มโครงสร้างคอมเพลกซ์ (trimeric comolexes) เป็น 7S ดังนั้นการให้ความร้อนในการฟอร์มเจลของโกลบูลาร์โปรตีนจะต้องมีอุณหภูมิสูง และสภาพอิออนที่แข็งแรง สำหรับไกลซินินจะเกิดการเปลี่ยนสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 80 – 90 องศาเซลเซียส (11S) และ 60 – 70 องศาเซลเซียส (7S) และเบต้าคอนไกลซินิน เริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นเจลที่อุณหภูมิ 60 – 75 องศาเซลเซียส (Renkema and Vlite , 2002)

Renkema and Vlite (2002) ศึกษาการให้ความร้อนต่อการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองที่มีค่าพีเอช (pH 7) เป็นกลาง พบว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 84 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากการเสียสภาพของไกลซินิน (glycinin) และเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส ค่าความยืดหยุ่นของเจลเพิ่มสูงขึ้น จากการเสียสภาพของโปรตีน ค่าความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการเชื่อมกันในโครงสร้างเป็นโครงข่าย 3 มิติ และเมื่อลดอุณหภูมิของเจลลง ค่าความยืดหยุ่นของเจลจะเพิ่มขึ้นอีก ค่าความยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการลดอุณหภูมินี้เกิดจากการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ เพราะการเชื่อมต่อกัน (rearrangement) ของโครงข่ายจะไม่เกิดขึ้นในกระบวนการลดอุณหภูมิ

Xiong and Jong (2002) ศึกษาการรวมตัวกันระหว่างไมโอฟีบิลลาร์ของเนื้อหมู และโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกให้ความร้อนที่ 90 และ 95 องศาเซลเซียสนาน 3 นาที พบว่าการให้ความร้อนกับโปรตีนถั่วเหลืองทำให้สภาพไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ของโปรตีนเพิ่มขึ้นและลดการรวมตัวกันตกตะกอน (aggregation) ของ 11S ในหน่วยย่อยที่เป็นกรดและเบส เมื่อเติมโปรตีนที่ถูกให้ความร้อนก่อนร่วมกับไมโอฟีบิลลาร์ของเนื้อหมูพบว่า ทำให้เกิดเจลที่เป็นบวก เนื่องจากการรวมตัวกันไมโอซินและ 11S ของโปรตีนถั่วเหลือง

Remirez – Suarez and Xiong (2003) ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ชักนำให้เกิดการเชื่อมข้าม (cross – linking) ระหว่างไมโอฟีบิลลาร์กับโปรตีนถั่วเหลืองในการเกิดเจล พบว่าเอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนสช่วยให้การเกิดเจลดีกว่าการใช้ไมโอซิน โปรตีนถั่วเหลืองและของผสมระหว่างไมโอซินกับโปรตีนถั่วเหลือง โดยทุกหน่วยการทดลองที่เติมเอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนสเริ่มฟอร์มเจลที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ยกเว้นโปรตีนถั่วเหลืองอย่างเดียวไม่เกิดการฟอร์มเจล ซึ่งมี 5 หน่วยการทดลองที่เติมเอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนส คือ โปรตีนถั่วเหลือง , ไมโอซิน , ไมโอซินกับโปรตีนถั่วเหลือง , ไมโอซินกับโปรตีนถั่วเหลืองบ่ม 30 นาที , ไมโอซินกับโปรตีนถั่วเหลืองบ่ม 4 ชั่วโมง และค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิระหว่าง 55 - 65 องศาเซลเซียส สาเหตุที่กราฟค่าโมดูลัสสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการเชื่อมข้ามระหว่างไกลซินีนกับไลซีนของโปรตีนผสมทั้งสองซึ่งเกิดจากการชักนำของเอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนส ซึ่งไม่เกิดขึ้นกับหน่วยการทดลองที่ไม่เติมเอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนส

Hua *et al.* (2003) ศึกษาคุณสมบัติการเกิดเจลของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับกัม แคปปคาราจีแนน แซนแทนกัม โลคอสบีนกัม และโพพิวลีนไกลคอลอัลจีเนต โดยวัดคุณสมบัติของเจลด้วย small deformation พบว่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) ของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับคาราจีแนนมีค่าแรงต้านทานทั้งสูงและต่ำจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของส่วนผสม ส่วนของผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับแซนแทนกัมจะมีแรงต้านสูงเมื่อโปรตีนถั่วในเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) คงที่ แรงต้านของเจลจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแซนแทนกัม สำหรับเจลของโปรตีนถั่วเหลืองกับโพพิวลีนไกลคอลอัลจีเนต จะมีค่าความแข็งแรงของเจลและความคงตัวสูงกว่ากัมชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเกิดพันธะโควาเลนท์ระหว่างโพพิวลีนไกลคอลอัลจีเนตกับโปรตีนถั่วเหลือง

2.5.3 การเติมแป้งหรือสตาร์ชช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล

การเติมแป้งหรือสตาร์ชลงในผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยในด้านความยืดหยุ่น ซึ่งเมื่อนำเนื้อปลาบดที่นวดแล้วให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส โมเลกุลของแป้งจะเกิดการพองตัว สันนิษฐานว่าโมเลกุลของแป้งที่พองตัวนั้นไปดันให้โมเลกุลของโปรตีนมาชิดกันมากยิ่งขึ้น การเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งช่วยก่อให้เกิดความแข็งแรงของเจล แต่การเติมแป้งที่เกิดเจลาติไนซ์ลงไปในเนื้อปลาบด จะได้ผลดีเมื่อกระบวนการเจลาติไนเซชันเกิดขึ้นในเนื้อปลาบด(โสรยา , 2545)

Wu *et al.* (1985) ศึกษาความสามารถในการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนของเนื้อปลาที่มีการผสมแป้งและมีการให้ความร้อน พบว่าการเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นขึ้น เนื่องจากเกิดการจับกันของส่วน actomysin จากโปรตีนปลากับแป้งเกิดเป็น actomyosin – starch combination ในระหว่างที่มีการให้ความร้อน โดยเม็ดแป้งจะเกิดการบวมพองในขณะที่เกิดเจลและการที่มีส่วนผสมของเกลือ น้ำตาลซูโครส ในกระบวนการเป็นสาเหตุที่ทำให้แป้งเกิดเจลาติไนเซชันที่อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย

Sikorski (1990) กล่าวว่า ในขณะที่มีการให้ความร้อน แป้งจะดูดซับน้ำจากเนื้อปลาบด ทำให้แป้งเกิดเจลาติไนซ์บางส่วน และจะไปแทรกตามช่องว่างของโครงสร้างโปรตีน มีผลทำให้โครงสร้างแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้แป้งยังทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น (humectant) และเพิ่มความคงตัวของเนื้อปลาบดในกระบวนการแช่แข็ง

Kong *et al.* (1999) ศึกษาผลของการเติมแป้งที่มีต่อคุสมบัติด้านความยืดหยุ่นของเจลเนื้อปลาบด สังเกตโดยการใช้ microscopic ผลการส่องดูด้วย microscopic เมื่อเม็ดแป้งเริ่มเกิดเจลบางส่วนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่มีอยู่ในโปรตีนปลา ทำให้เม็ดแป้งบวมพองอยู่ภายในโครงสร้างของเนื้อปลา เจลเนื้อปลาจึงมีความแน่นและแข็งแรงมากขึ้น สัดส่วนของแป้งที่ใช้และน้ำมีความสำคัญต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ การใช้แป้งในปริมาณที่สูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะและแตกง่าย ปกติปริมาณแป้งที่ใช้จะอยู่ในช่วง ร้อยละ 5 – 8

ปริมาณและชนิดของแป้งมีผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ความสามารถด้านการไหลของแป้งในสภาวะที่เกิดเจลาติไนซ์และปริมาณอะไมโลเพคติน (amylopactin) ที่มี แป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง เช่น แป้งมันฝรั่งจะให้เจลที่ยืดเกาะกันแน่น ในขณะที่แป้งที่มีอะไมโลเพคตินต่ำจะให้เจลที่อ่อนนุ่มและเปราะ แป้งสาลีจะให้เจลที่มีลักษณะยืดหยุ่นคล้ายกับแป้งมันสำปะหลัง แต่ให้ลักษณะยึดเกาะน้อยกว่า แป้งมันสำปะหลังที่ให้เจลเนื้อปลาบดที่แน่นที่สุด และมีคุณสมบัติยึดเกาะมากที่สุด

Kim and Lee (1987) ศึกษาการใช้สตาร์ช 8 ชนิด ได้แก่ อะมิโอกา (Amioca) เมโลเจล (Melojel) ไฮลอนห้า (Hylon V , 50 % อะไมโลส) ไฮลอนเจ็ด (hylon VII , 75 % อะไมโลส) อายเทคพี (Aytex P , สตาร์ชข้าวสาลี) เพย์เจล 290 (Paygel 290 , พรีเจลของสตาร์ชข้าวสาลี) สตาร์ชมันฝรั่งฤดูร้อน และสตาร์ชมันฝรั่งฤดูใบไม้ร่วง เพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสังผัสเจลของ ซูริมิ พบว่าค่าความฉ่ำ (firmness) และความเกาะตัวกัน (cihesiveness) เพิ่มขึ้นตามความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความหนืดของสตาร์ช แรงต้านของเจลและความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้น ทำให้สภาพตามสภาพธรรมชาติ (retrogradation) ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 มีเปอร์เซ็นต์การงอก 92 เปอร์เซ็นต์ ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยพืชไร่ จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2 เนื้อหมูส่วนสันนอก จากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.3 แป้งมันสำปะหลัง ตราช้างสามเศียร

3.1.4 น้ำมันถั่วเหลือง ตราองุ่น

3.1.5 เกลือ ตราปรุงทิพย์

3.1.6 พริกไทย ตรามือที่หนึ่ง

3.1.7 กระเทียมสด จากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.8 ไข่ไก่ จากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.9 เครื่องปรุงรส ตรารสดี

3.1.10 น้ำแข็งบด จากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.11 น้ำตาลทราย ตรามิตรผล

3.1.12 สารเคมี

- calcium carbonate
- magnesium sulphate
- xanthan gum
- guar gum

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมผงเต้าหู้

3.2.1.1 เครื่องโม่แยกเปลือกถั่วเหลือง		ไทย
3.2.1.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร	Mx-T1PN(G) National	ไต้หวัน
3.2.1.3 เครื่องชั่งชนิดหยาบ	Mettler,AE 204	สวิตเซอร์แลนด์
3.2.1.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Mettler,AE3000	สวิตเซอร์แลนด์
3.2.1.5 เครื่องทำแห้งแบบถาด(tray dryer)	B.W.S-3	
3.2.1.6 รีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer)	ATAGO.N-1E	ญี่ปุ่น
3.2.1.7 เทอร์โมมิเตอร์		
3.2.1.8 นาฬิกาจับเวลา		

49408

3.2.1.9 ฮอท เพลท (hot plate)

3.2.2 อุปกรณ์ในการเตรียมผลิตภัณฑ์

3.2.2.1 เครื่องสับผสมอาหาร	Phillip , Masterchef 450	ญี่ปุ่น
3.2.2.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร	Mx-T1Pn(G) , National	ไต้หวัน
3.2.2.3 เครื่องชั่งชนิดหยาบ	Mettler,AE 204	สวิตเซอร์แลนด์
3.2.2.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Mettler,AE3000	สวิตเซอร์แลนด์

3.2.2.5 ฮอทเพลท

3.2.2.6 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.2.7 นาฬิกาจับเวลา

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2.3.1 ถ้วยชิม

3.2.3.2 แก้วน้ำ

3.2.4 อุปกรณ์ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

3.2.4.1 ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ	Misubichi	ไทย

3.2.4.2 ห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส

3.2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

3.2.5.1 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer)	TA-XT2I	อังกฤษ

3.3 สถานที่ดำเนินงาน

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 วิธีการดำเนินงาน

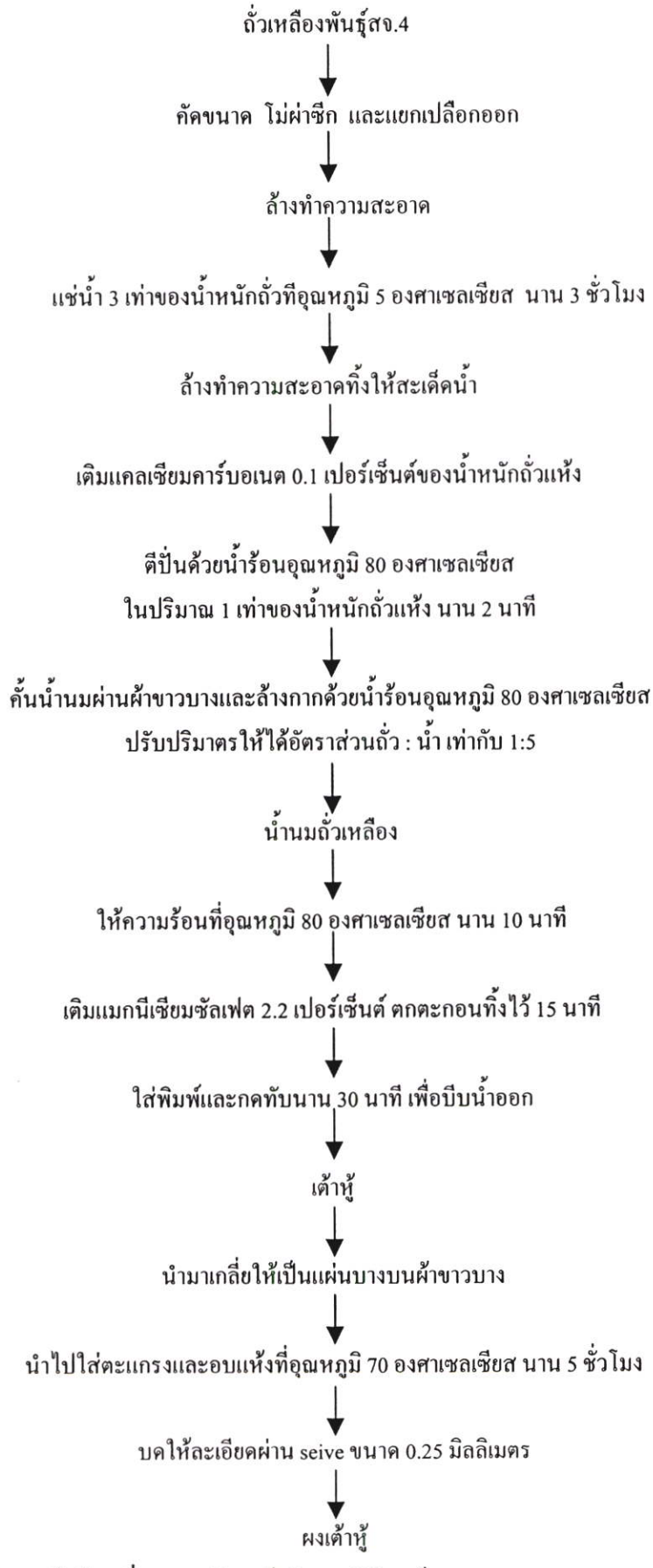
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

3.4.1.1 การเตรียมผงเต้าหู้

ทำการเตรียมผงเต้าหู้แสดงดังภาพที่ 3.1 ผงเต้าหู้ที่เตรียมได้เก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในหัวข้อต่อไป

3.4.1.2 การเตรียมพรีอิมัลชั่น

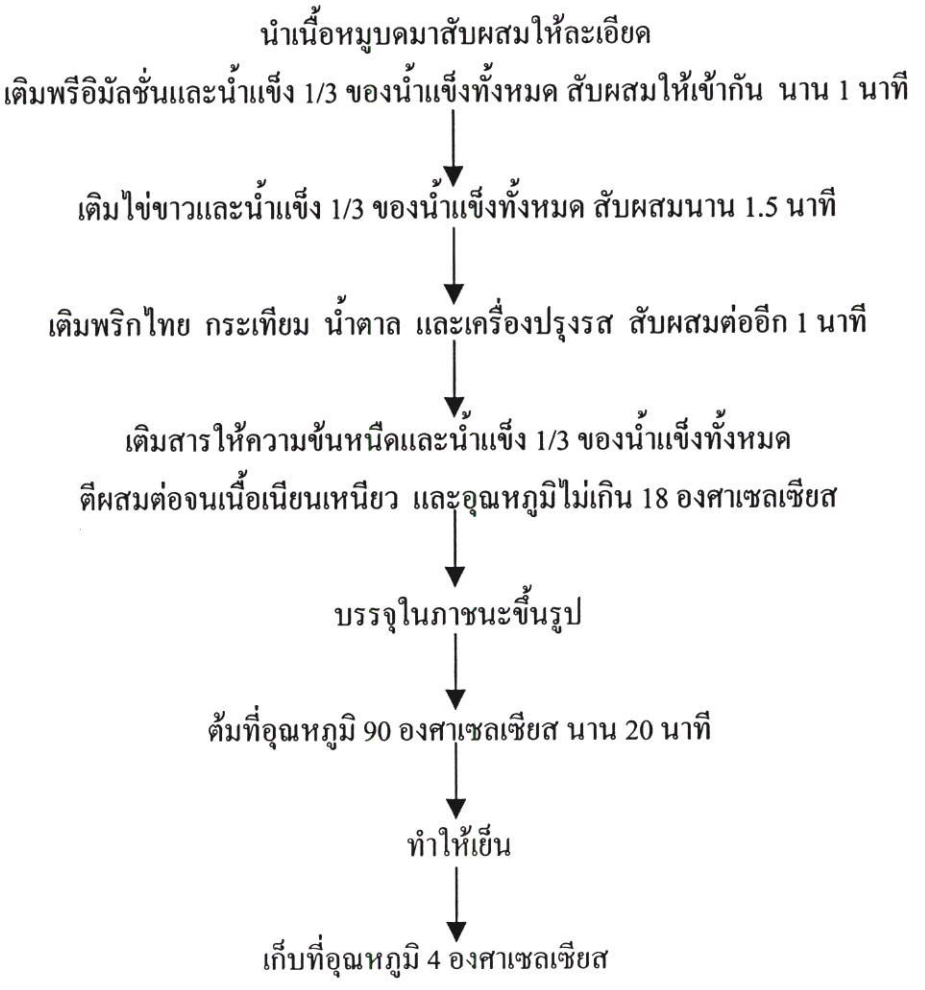
ทำการเตรียมพรีอิมัลชั่นดังภาพที่ 3.2 โดยใช้ผงเต้าหู้:น้ำ:น้ำมัน ในอัตราส่วน 1:1:0.75 ตีสับผสมด้วยเครื่องสับผสมอาหารในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.1 การผลิตผงเต้าหู้ ที่มา : วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ (2545)

ภาพที่ 3.2 วิธีการเตรียมพรีอิมัลชั่น

ที่มา : วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ . 2545.



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ . 2545

3.4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิของวัตถุดิบและเวลาในการต้มที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์จากการตีผสมระหว่างพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้กับเนื้อหมูบดด้วยเครื่องสับผสมอาหารในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 18 องศาเซลเซียส ดังกระบวนการในภาพที่ 3.3 อัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดที่ใช้คือ 80:20 และสารให้ความข้นหนืดที่ใช้คือ แป้งมันสำปะหลัง (8 %) และส่วนผสมอื่น ๆ ที่ใช้ดังตารางที่ 3.1 สภาวะในการเกิดเจลที่ทำการศึกษาคือ ผลของอุณหภูมิของวัตถุดิบและเวลาในการต้ม โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 (Factorial in Complate Randomized Dezign) โดยมีละเอียดของปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ

<u>ปัจจัยแรก</u> อุณหภูมิของวัตถุดิบที่จะทำการศึกษามี 3 ระดับ คือ

1) การควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบโดยนำเนื้อหมูบดผสมเกลือและพรีอิมัลชั่นมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนาน 12 ชั่วโมง แล้วนำมาทำการผลิตดังภาพที่ 3.3 เพื่อให้มีอุณหภูมิในระหว่างการสับผสมอยู่ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2) การควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบโดยนำเนื้อหมูบดผสมเกลือและพรีอิมัลชั่นมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที ก่อนนำมาทำการผลิตดังภาพที่ 3.3 เพื่อให้มีอุณหภูมิในระหว่างการสับผสมอยู่ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

3) การควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบโดยนำเนื้อหมูบดผสมเกลือและพรีอิมัลชั่นมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาทำการผลิตดังภาพที่ 3.3 เพื่อให้มีอุณหภูมิในระหว่างการสับผสมอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

<u>ปัจจัยที่สอง</u> เวลาที่ใช้ในการต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษา 3 ระดับ คือ 20 นาที 30 นาที และ40 นาที

นำผลิตภัณฑ์ในข้อ 3.4.2 มาทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังข้อที่ 3.4.2.2.1 เพื่อเลือกสภาวะอุณหภูมิแช่เย็นของวัตถุดิบและเวลาในการต้มที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

ส่วนผสมต่อสูตร	น้ำหนัก (กรัม)
ส่วนผสมของพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด	100 กรัม
เกลือ	1.2 กรัม
น้ำตาล	2 กรัม
พริกไทย	3 กรัม
กระเทียม	0.5 กรัม
ไข่ขาว	3 กรัม
น้ำแข็งบด	15 กรัม
เครื่องปรุงรส	2 กรัม

3.4.2.1 การตรวจสอบคุณภาพ

3.4.2.1.1 การตรวจสอบเนื้อสัมผัส

ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส(texture analyzer รุ่น TA-XT2I) ด้วยโปรแกรมTPA(texture profile analysis) เพื่อวัดค่าแรงสูงสุด(Maximum Force) จากการกด (compression) โดยกดบนตัวอย่างสูง 12 เซนติเมตรกดลงไป 30 เปอร์เซ็นต์ deformation โดยใช้หัววัดกดขนาด 75 มิลลิเมตร ความเร็วของหัวกดเคลื่อนที่ลงมาก่อนสัมผัสตัวอย่าง (Pre – test speed) ความเร็วของหัวกดขณะเคลื่อนที่ลงในตัวอย่าง (Test speed) ความเร็วของหัวกดขณะเคลื่อนที่ขึ้นจากตัวอย่าง(Post – test speed)เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กดซ้ำ 2 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan 's multiple range test

3.4.2.1.2 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 10 คน เพื่อให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมโดยใช้ 9 – points hedonic scale (1 คือไม่ชอบมากที่สุด 9 คือชอบมากที่สุด) วางแผนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบบล็อคสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) วิเคราะห์ความแตกต่างสถิติด้วย F-test เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติและค่าเฉลี่ยด้วย Duncan ' s new multiple range test

3.4.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดกับปริมาณสารให้ความข้นหนืดที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

โดยสารให้ความข้นหนืดที่จะทำการศึกษามี 3 ชนิดคือ แป้งมันสำปะหลัง แซนแทนกัม และกัวกัม วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 (Factorial in Complete Randomized Design) มีปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือ

ปัจจัยแรก อัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบด 3 ระดับ ดังนี้ 70:30 80:20 และ 90:10 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก

ปัจจัยที่สอง ปริมาณของสารให้ความข้นหนืด 3 ระดับ

ในกรณีของแป้งมันสำปะหลังใช้ 6 8 และ 10 กรัมต่อสูตร

ในกรณีของแซนแทนกัมใช้ 1 1.5 และ 2 กรัมต่อสูตร

ในกรณีของกัวกัมใช้ 1 1.5 และ 2 กรัมต่อสูตร

ทำการผลิตเต้าหู้โดยใช้สภาวะการเกิดเจลที่เลือกจากผลการศึกษาในข้อ 3.4.2 ผลิตดังภาพที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์ ที่ได้นำมาตรวจสอบคุณภาพ ดังข้อ 3.4.3.1

3.4.3.1 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.4.3.1.1 ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์รายละเอียดดังในข้อ 3.4.2.1.1

3.4.3.1.2 ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อหาการยอมรับของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ชิม 15 คน ให้คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์โดยใช้ 9- points hedonic scale (1 คือไม่ชอบมากที่สุด 9 คือชอบมากที่สุด) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ความแน่นเนื้อ กลิ่น รส สี ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวม วางแผนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบบล็อคสุ่มไม่สมบูรณ์ (Balance Incomplete Block Design) เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติและค่าเฉลี่ยด้วย SAS เพื่อเลือกอัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณของสารให้ความข้นหนืดที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

3.4.4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

นำผลิตภัณฑ์ผงเต้าหู้สูตรที่ผู้ชิมยอมรับมากที่สุดมาเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยบรรจุในถุงโพลีพอพิลีนหนา 0.1 มิลลิเมตร นำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 10 คน เพื่อทดสอบลักษณะกลิ่นหืน รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เกิดการเสื่อมเสีย (5 คือปกติ 1 คือเน่าเสียรับไม่ได้) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan 's multiple range test วางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design)

3.4.5 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

นำผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุดในสูตรมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ความชื้น และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC. (1995)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิของวัตถุดิบและเวลาในการต้มที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลของเต้าหู้หมู

ในการผลิตภัณฑ์ emulsion gel สภาวะในการเตรียม emulsion gel รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการต้ม มีผลต่อการเกิดเป็นเจลและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการสับผสมสูงอาจทำให้การสกัด actin และmyosin ออกมาได้น้อย อิมัลชั่นไม่มีความคงตัวเป็นผลให้ความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ลดลง (เพ็ญศรี , 2535) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ จึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของวัตถุดิบ และเวลาในการต้มที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลของผลิตภัณฑ์ระหว่างพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้และเนื้อหมูบดที่ผู้วิจัยของเรียกสั้นๆว่า "เต้าหู้หมู" โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 ทำการเตรียมวัตถุดิบ(พรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด) โดยการแช่เย็นที่สภาวะต่างกัน 3 ระดับ คือ แช่เย็นวัตถุดิบที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง (สภาวะ A) แช่เย็นวัตถุดิบที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วทำการแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที (สภาวะ B) แช่เย็นวัตถุดิบที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วทำการแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง (สภาวะ C) ก่อนนำไปสับผสมกับเครื่องปรุงจนเหนียว บรรจุลงพิมพ์ และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิของวัตถุดิบและอุณหภูมิของผสมระหว่างพรีอิมัลชั่นและเนื้อหมูบด(paste) ที่อัตราส่วน 80 : 20 ในระหว่างการสับผสมที่เวลาต่างๆ

สภาวะ	อุณหภูมิของวัตถุดิบ(°C)		อุณหภูมิระหว่างการสับผสม (°C)			
	หมูบด	พรีอิมัลชัน	เติมไข่ขาว (นาทีที่ 2)	เครื่องปรุง (นาทีที่3.5)	สับผสมจนเหนียว (นาทีที่4.5)	บรรจุ (นาทีที่5.5)
A	4.18	4.05	12.11	14.11	19.17	21.31
B	0.10	0.17	7.33	11.36	17.03	18.20
C	- 0.94	- 1.12	4.11	8.95	13.11	15.17

A : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

B : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

C : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที นำผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่ได้ไปทำการตรวจคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการชิม

ในระหว่างการสับผสมระหว่างพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้กับเนื้อหมูบดและส่วนผสมได้ทำการวัดอุณหภูมิของของผสมที่ได้ที่เวลาต่างๆ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ อุณหภูมิของของผสมในระหว่างการสับผสมที่เวลาต่างๆจะต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง เช่นในกรณีของสภาวะ C ที่มีอุณหภูมิของวัตถุดิบต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิของของผสมก่อนการบรรจุประมาณ 15.17 องศาเซลเซียส ในขณะที่สภาวะ A ที่มีอุณหภูมิของวัตถุดิบเริ่มต้นประมาณ 4.18 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิของของผสมก่อนการบรรจุประมาณ 21.31 องศาเซลเซียส Helmer และ Saffle (1963) รายงานว่า ในการผลิตผลิตภัณฑ์ emulsion meat อิมัลชั่นจะมีความคงตัวที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 31.2 องศาเซลเซียสจะทำให้อีมัลชั่นแตกตัวได้ และอิมัลชั่นที่ดีจะให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นไม่ร่วนซุย ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 สอดคล้องกันการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่ได้จากการใช้วัตถุดิบที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างกันและเวลาที่ใช้ต้มต่างกัน โดยค่าความแข็งหาจาก ค่า maximum force ที่ได้จากกราฟ deformation (ภาคผนวก ง) เมื่อทำการกดตัวอย่างเต้าหู้หมูลงไป 30 % deformation พบว่า เมื่อใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิ
เริ่มต้นต่ำ (สภาวะ C) ค่าความแข็งของเจลเต้าหู้หมูที่ได้จะมากกว่าตัวอย่างที่ใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง (สภาวะ A) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาที่ใช้ในการต้มเพื่อทำให้เจลเต้าหู้หมูเกิดการฟอร์มตัวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการต้มเพิ่มขึ้นจาก 20 นาที เป็น 40 นาที ค่าความแข็งของเจลไม่มีการเปลี่ยนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากในการทดลอง อุณหภูมิที่ใช้ในการฟอร์มเจลค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำให้ actin และ myosin เกิดการคลายตัวประสานกันเป็นร่างแหเกิดการฟอร์มตัวเป็นโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรงอาจใช้เวลาเพียง 20 นาทีก็พอ การเพิ่มเวลาในการต้มมากขึ้นไม่ได้ช่วยทำให้โครงร่างที่จัดเรียงตัวแล้วแข็งแรงขึ้นและการใช้เวลานานเกินไปอาจทำให้โครงสร้างแตกหักได้

ตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งของเจล (g . Force) ของผลิตภัณฑ์ เต้าหู้หมูที่ใช้อุณหภูมิการแช่เย็นวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่างกัน

เวลาในการต้ม	สภาวะการแช่เย็นพรีอิมัลชั่นและเนื้อหมูบด		
ที่ 90 °C (นาที)	A	B	C
20	10,065.30 ^{cd} ±686.38	11,167.48 ^{bc} ±836.98	12,399.79 ^{a} ±337.09
30	10,898.85 ^{bc} ±754.21	11,175.48 ^{bc} ±678.73	11,815.78 ^{ab} ±465.36
40	9,270.85 ^{d} ±337.67	11,697.12 ^{ab} ±361.38	11,924.68 ^{ab} ±565.53

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรกำกับหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

B : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

C : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตามผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู (ตารางที่ 4.3) โดยใช้ผู้ชิม พบว่าคะแนนการยอมรับรวม คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูไม่ว่าจะใช้วัตถุดิบที่แช่เย็นที่สภาวะ A B และ C หรือใช้เวลาในการต้มที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 30 และ 40 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะคะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสมีคะแนนใกล้เคียงกันมากในทุกตัวอย่าง นั้นคือผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่ได้จากการเตรียมที่สภาวะต่างๆกันในการทดลองครั้งนี้ ดังนั้นการเลือกสภาวะการแช่เย็นเนื้อหมูบดและพรีมัลชั่นของผงเต้าหู้และเวลาที่ใช้ในการต้มจึงพิจารณาจากความสะดวกในการผลิตรวมทั้งมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกสภาวะในการแช่เย็นแบบ A คือการแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ซึ่งไม่มีขั้นตอนการแช่แข็งเหมือนกับสภาวะแบบ B และ C และเลือกใช้เวลาในการต้มที่ 90 องศาเซลเซียสที่น้อยที่สุดคือ 20 นาที ไปทำการศึกษาหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.3 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อุณหภูมิการแช่เย็นวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่างกัน

ลักษณะที่ทดสอบ	อุณหภูมิการแช่เย็นพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด/เวลาต้ม (นาที)								
	A/20	B/20	C/20	A/30	B/30	C/30	A/40	B/40	C/40
ลักษณะปรากฏ [ns]	6.85±1.18	7.25±1.12	6.40±1.66	6.80±0.89	6.90±1.21	6.95±1.23	6.85±1.50	7.15±0.88	7.20±1.15
เนื้อสัมผัส [ns]	5.65±1.46	5.70±1.42	5.85±2.01	5.50±1.61	5.85±1.76	5.60±2.33	5.85±1.79	5.30±1.81	6.15±1.39
การยอมรับรวม [ns]	5.65±1.53	5.70±1.34	6.00±1.89	5.85+1.53	5.78±2.19	5.70±2.13	6.15±1.60	5.70±1.59	6.00±1.89

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

A : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

B : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

C : วัตถุดิบแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงแล้วแช่เย็น 0 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดกับปริมาณสารให้ความข้นหนืดที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลของเต้าหู้หมู

เนื่องจากผงเต้าหู้มีข้อจำกัดในการใช้คือ มีความสามารถในการละลายที่ต่ำ แต่เมื่อนำไปตีผสมกับน้ำและน้ำมันจะให้อีมัลชั่นที่มีความคงตัวมาก(วรลักษณ์และยุพร , 2545) ดังนั้นถ้าต้องการผลิตผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงเนื้อสัตว์ จึงควรจะผลิตอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์พวก emulsion – gel เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์พวก ไส้กรอก หมูยอ และลูกชิ้น เป็นต้น แต่เนื่องจากในระหว่างขบวนการผลิตผงเต้าหู้เป็นผงให้คุณสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองลดลง Matsumura (1997) รายงานว่าโดยเฉลี่ยถ้าโปรตีนที่มีคุณสมบัติการละลายต่ำจะมีคุณสมบัติในการฟอร์มเป็นเจลต่ำด้วย นอกจากนี้ถ้าต้องการใช้โปรตีนถั่วเหลืองฟอร์มเป็นเจลแข็งแรงที่สามารถเก็บกักของผสมไว้ได้ ในกรณีของการฟอร์มเจลแบบใช้ความร้อน (Thermal gel) จำเป็นต้องใช้โปรตีนที่มีความบริสุทธิ์ มีความเข้มข้นสูง และมีปริมาณของ 7S 11S subunit สูงด้วย (Mori, 1981) ดังนั้นจึงต้องเติมโปรตีนจากแหล่งอื่นเพื่อช่วยในการฟอร์มเจล เช่น โปรตีน actin myosin จากเนื้อหมู และเนื้อหมูยังช่วยปรับปรุงกลิ่นรสของผงเต้าหู้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการยอมรับมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยของตั้งชื่อผลิตภัณฑ์นี้ว่า “เต้าหู้หมู” อย่างไรก็ตามตามจุดประสงค์ของการทดลองต้องการผลิตภัณฑ์ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงไม่รับประทานเนื้อสัตว์มาก การทดลองดังนี้จึงพยามที่จะใส่ปริมาณเนื้อหมูบดให้ต่ำที่สุดจึงต้องมีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ เพื่อช่วยทำให้โครงสร้างของเจลมีความแข็งแรง เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้หมูที่ดีที่ผู้ชิมยอมรับ

ในการทดลองนี้จึงทดลองผลิตเต้าหู้หมูโดยแปรสัดส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้และเนื้อหมูบด 3 ระดับได้แก่ 70 : 30 80 : 20 และ 90 :10 และศึกษาร่วมกับปริมาณสารให้ความข้นหนืด 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แซนแทนกัมและกัวกัม ชนิดละ 3 ระดับ คือ ในกรณีของแป้งมันสำปะหลังใช้ 6 8 และ 10 กรัมต่อสูตร ในกรณีของแซนแทนกัมและกัวกัมใช้ 1 1.5 และ 2 กรัมต่อสูตร โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (3 x 3) ให้ส่วนผสมอื่นคงที่ วัตถุดิบ(เนื้อหมูบดและ พรีอิมัลชั่น) จะต้องนำไปแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (สภาวะ A) ก่อนนำไปสับผสมบรรจุพิมพ์และนำไปต้มที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาที่ 20 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวัดค่าความแข็งแรงของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยวิธี compression test และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.4 ค่าความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง	อัตราส่วนพรีอิมัลชั่น : เนื้อหมูบด		
(กรัมต่อสูตร)	70 : 30	80 : 20	90 : 10
6	11,229.65^{a}±143.38	10,124.16^{b}±73.16	5,879.32^{d}±33.54
8	11,306.93^{a}±623.28	10,136.38^{b}±48.59	6,126.20^{d}±16.97
10	11,315.083^{a}±159.16	10,497.31^{b}±110.33	6,693.13^{c}±22.70

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรกำกับหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ค่าความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแซนแทนกัมที่ระดับต่างๆ

ปริมาณแซนแทนกัม	อัตราส่วนพรีอิมัลชั่น : เนื้อหมูบด		
(กรัมต่อสูตร)	70 : 30	80 : 20	90 : 10
1.0	6,329.44^{a}±70.48	6,161.07^{ab}±57.41	3,057.71^{e}±34.74
1.5	5,879.93^{bc}±493.01	5,685.39^{c}±50.35	3,193.39^{e}±74.17
2.0	4,976.23^{d}±123.35	5,196.70^{d}±154.69	3,001.56^{e}±11.62

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรกำกับหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลัง แซนแทนกัมและกัวกัมที่ระดับต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 4.4 4.5

และ4.6 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณของสารให้ความข้นหนืดมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความแข็งแรงของเจล และไม่ว่าจะเป็นสารให้ความเข้มหนืดชนิดใด เมื่อปริมาณสารให้ความข้นหนืดคงที่การเพิ่มปริมาณของพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ทำให้ค่าความแข็งของเจลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นในกรณีของการใช้แป้งมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.4) เพื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เท่ากับ 6 กรัมต่อสูตร การเพิ่มอัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดจาก 70 : 30 ไปเป็น 90 : 10 ทำให้ค่าความแข็งของเจลเปลี่ยนจาก 11,229.65 gm. Force ไปเป็น 5,879.32 gm. Force การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณพรีอิมัลชั่นเท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาณของของเหลวลงไปในสูตร จึงทำให้ปริมาณของของเหลวที่อยู่ในโครงสร้างร่างแหของเจลมีมากขึ้นเป็นผลให้ค่าความแข็งของเจลลดลง

เมื่ออัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดคงที่ ในกรณีของแป้งมันสำปะหลัง(ตารางที่ 4.4) พบว่าการเพิ่มปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง จาก 6 ไปเป็น 10 กรัมต่อสูตรไม่ทำให้ค่าความแข็งของเจลมีการเปลี่ยนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นในกรณีที่เป็น weak gel เช่นการใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดที่ 90 : 10 การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังทำให้เจลที่อ่อนตัวที่มีปริมาณของเหลวอยู่มีความแข็งมากขึ้น การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งจะเข้าไปแทรกในโปรตีนในอิมัลชัน เม็ดแป้งจะเกิดการดูดซับน้ำที่มีอยู่ภายใน ทำให้เม็ดแป้งบวมพองอยู่ในโครงสร้าง จึงทำให้เจลมีความแน่นและแข็งแรงมากขึ้น (โสรยา , 2545)

ในกรณีของแซนแทนกัม(ตารางที่ 4.5) และกัวกัม (ตารางที่ 4.6) เมื่ออัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดคงที่การเพิ่มปริมาณแซนแทนกัมและกัวกัมจาก 1 ไปเป็น 2 กรัมต่อสูตร ทำให้ค่าความแข็งของเจลมีแนวโน้มลดลง ยกเว้น weak gel ที่ใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดที่ 90 : 10 การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มากเกินไป อาจเกิดการรวมตัวกันเองไม่ล้อมรอบเม็ดไขมัน จึงทำให้ค่าความแข็งของเจลลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xie and Hettiarachchy (1997)

ตารางที่ 4.6 ค่าความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชันของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณกัวกัมที่ระดับต่างๆ

ปริมาณกัวกัม	อัตราส่วนพรีอิมัลชั่น : เนื้อหมูบด		
(กรัมต่อสูตร)	70 : 30	80 : 20	90 : 10
1.0	6,358.03 ^{a} ±335.13	5,686.57 ^{b} ±58.45	3,337.66 ^{d} ±13.97
1.5	5,677.26 ^{b} ±6.32	5,691.07 ^{b} ±58.03	3,501.91 ^{d} ±30.50
2.0	5,642.51 ^{b} ±14.31	4,428.40 ^{c} ±22.37	3,371.69 ^{d} ±10.28

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรกำกับหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและแป้งมันสำปะหลัง แซนแทนกัมและกัวกัมที่ระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.7 4.8 และ4.9 ตามลำดับ พบว่าไม่ว่าจะใช้สารให้ความข้นหนืดชนิดใด การเพิ่มปริมาณของพรีอิมัลชั่นจาก 70 ส่วนไปเป็น 90ส่วน ทำให้คะแนนการยอมรับลดลง โดยเฉพาะที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดที่ 90 : 10 มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นน้อยกว่าที่อัตราส่วน 70 : 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่เป็นเช่นนี้เกิดจากลักษณะของเจลที่อ่อนตัวทำให้มีเนื้อสัมผัสร่วนซุยไม่แน่นเหนียว การใช้ปริมาณเนื้อหมูที่น้อยทำให้ความหอมของผลิตภัณฑ์มีน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณเนื้อหมูมาก

ถึงแม้ว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสคะแนนการยอมรับรวมของเต้าหู้หมูที่ใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดที่ 70 : 30 จะสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดที่ 80 : 20 และ 90 : 10 ก็ตาม แต่ในการทดลองครั้งนี้มีจุดประสงค์ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ปริมาณเนื้อหมูให้น้อยที่สุดและจากการทดลองทางประสาทสัมผัส ผู้ชิมให้ความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความหอมและกลิ่นอ่อนไป รวมทั้งถ้าใส่ปริมาณอิมัลชั่นสูงลักษณะเนื้อสัมผัสจะนิ่มและมีความเลี่ยนจากน้ำมัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสูตรที่ใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดที่ 80 : 20 ไปทำการปรับปรุงสูตรต่อ โดยในกรณีของแป้งมันสำปะหลังเลือกใช้ที่ 8 กรัมต่อสูตร (ตารางที่ 4.7) ในกรณีของแซนแทนกัมและกัวกัมเลือกใช้ 1 กรัมต่อสูตร (ตารางที่ 4.8 และ 4.9) โดยที่คะแนนการยอมรับรวมของทั้งสามตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์ที่สูง มีแนวโน้มว่าเมื่อปรับปรุงสูตรทำให้การยอมรับมีมากขึ้นได้

ตารางที่ 4.7 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ

ลักษณะที่ทดสอบ	พรีอิมัลชั่น : เนื้อหมูบด/ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (กรัมต่อสูตร)								
	70:30/6	80:20/6	90:10/6	70:30/8	80:20/8	90:10/8	70:30/10	80:20/10	90:10/10
ลักษณะปรากฏ	$7.05^{a}\pm0.14$	$6.77^{abc}\pm0.15$	$6.46^{c}\pm0.15$	$6.87^{ab}\pm0.15$	$6.46^{bc}\pm0.15$	$6.16^{c}\pm0.15$	$6.68^{abc}\pm0.15$	$6.55^{bc}\pm0.15$	$6.09^{c}\pm0.15$
สี^{ns}	6.61 ± 0.14	6.59 ± 0.14	6.28 ± 0.14	6.58 ± 0.14	6.31 ± 0.14	6.28 ± 0.14	6.51 ± 0.14	6.24 ± 0.14	6.27 ± 0.14
กลิ่น	$6.40^{a}\pm0.21$	$5.83^{ab}\pm0.21$	$4.74^{c}\pm0.21$	$6.41^{a}\pm0.21$	$5.82^{ab}\pm0.21$	$5.16^{c}\pm0.21$	$6.07^{ab}\pm0.21$	$5.47^{b}\pm0.21$	$5.19^{c}\pm0.21$
เนื้อสัมผัส	$6.12^{a}\pm0.24$	$4.97^{b}\pm0.24$	$4.06^{c}\pm0.24$	$5.87^{a}\pm0.24$	$5.69^{a}\pm0.24$	$4.22^{c}\pm0.24$	$6.19^{a}\pm0.25$	$5.72^{a}\pm0.24$	$4.37^{bc}\pm0.24$
ความแน่นเนื้อ	$5.90^{a}\pm0.22$	$4.82^{b}\pm0.23$	$4.27^{bc}\pm0.22$	$5.88^{a}\pm0.23$	$5.46^{a}\pm0.23$	$4.07^{c}\pm0.23$	$6.01^{a}\pm0.23$	$5.54^{a}\pm0.22$	$4.29^{bc}\pm0.23$
รสชาติ	$6.35^{ab}\pm0.24$	$4.79^{c}\pm0.25$	$4.16^{c}\pm0.25$	$6.50^{a}\pm0.25$	$5.53^{b}\pm0.25$	$4.20^{c}\pm0.25$	$5.67^{b}\pm0.25$	$5.33^{bc}\pm0.25$	$4.21^{c}\pm0.25$
การยอมรับรวม	$6.57^{ab}\pm0.22$	$5.14^{c}\pm0.23$	$4.33^{d}\pm0.23$	$6.66^{a}\pm0.23$	$5.57^{bc}\pm0.23$	$4.47^{d}\pm0.23$	$5.94^{b}\pm0.23$	$5.59^{bc}\pm0.23$	$4.61^{cd}\pm0.23$

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.8 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแซนแทนกัมที่ระดับต่างๆ

ลักษณะที่ทดสอบ	พรีอิมัลชั่น : เนื้อหมูบด/ปริมาณแซนแทนกัม (กรัมต่อสูตร)								
	70:30/1	80:20/1	90:10/1	70:30/1.5	80:20/1.5	90:10/1.5	70:30/2	80:20/2	90:10/2
ลักษณะปรากฏ	$6.29^{b}\pm0.16$	$6.75^{a}\pm0.16$	$6.34^{ab}\pm0.16$	$6.27^{b}\pm0.16$	$6.21^{b}\pm0.16$	$6.06^{bc}\pm0.15$	$6.52^{ab}\pm0.16$	$6.29^{b}\pm0.16$	$6.47^{ab}\pm0.16$
สี	$6.19^{bc}\pm0.19$	$6.73^{a}\pm0.15$	$6.26^{bc}\pm0.15$	$6.47^{ab}\pm0.15$	$6.41^{ab}\pm0.15$	$6.26^{bc}\pm0.15$	$6.29^{bc}\pm0.15$	$5.91^{bc}\pm0.15$	$6.33^{ab}\pm0.15$
กลิ่น	$6.37^{ab}\pm0.25$	$5.95^{b}\pm0.25$	$5.49^{bc}\pm0.25$	$5.51^{bc}\pm0.25$	$5.61^{bc}\pm0.25$	$5.20^{c}\pm0.25$	$6.19^{ab}\pm0.25$	$5.67^{bc}\pm0.25$	$5.11^{c}\pm0.25$
เนื้อสัมผัส	$6.15^{a}\pm0.25$	$5.75^{ab}\pm0.25$	$4.08^{c}\pm0.25$	$5.32^{b}\pm0.25$	$5.66^{ab}\pm0.25$	$4.92^{c}\pm0.25$	$5.76^{ab}\pm0.25$	$5.17^{b}\pm0.25$	$4.65^{bc}\pm0.25$
ความแน่นเนื้อ	$5.73^{a}\pm0.27$	$5.67^{a}\pm0.27$	$4.20^{bc}\pm0.27$	$5.22^{ab}\pm0.27$	$5.35^{ab}\pm0.27$	$4.52^{bc}\pm0.27$	$5.92^{a}\pm0.27$	$4.76^{bc}\pm0.27$	$4.63^{bc}\pm0.27$
รสชาติ	$5.88^{a}\pm0.27$	$5.49^{ab}\pm0.27$	$4.16^{bc}\pm0.27$	$5.65^{ab}\pm0.27$	$5.60^{a}\pm0.27$	$4.81^{bc}\pm0.27$	$5.99^{a}\pm0.27$	$5.45^{ab}\pm0.27$	$4.91^{bc}\pm0.27$
การยอมรับรวม	$6.11^{abc}\pm0.23$	$5.90^{bc}\pm0.23$	$3.94^{d}\pm0.23$	$5.62^{bc}\pm0.23$	$5.83^{bc}\pm0.23$	$5.05^{c}\pm0.23$	$6.52^{ab}\pm0.23$	$5.57^{c}\pm0.23$	$5.02^{c}\pm0.23$

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณกัวกัมที่ระดับต่างๆ

ลักษณะที่ทดสอบ	พรีอิมัลชั่น : เนื้อหมูบด/ปริมาณกัวกัม (กรัมต่อสูตร)								
	70:30/1	80:20/1	90:10/1	70:30/1.5	80:20/1.5	90:10/1.5	70:30/2	80:20/2	90:10/2
ลักษณะปรากฏ	$6.75^{ab}\pm0.13$	$6.56^{ab}\pm0.13$	$6.48^{abc}\pm0.13$	$6.84^{a}\pm0.13$	$6.80^{ab}\pm0.13$	$6.51^{ab}\pm0.13$	$6.12^{c}\pm0.13$	$6.45^{bc}\pm0.13$	$6.49^{ab}\pm0.13$
สี	$6.73^{a}\pm0.11$	$6.63^{ab}\pm0.11$	$6.46^{ab}\pm0.11$	$6.65^{ab}\pm0.11$	$6.45^{ab}\pm0.11$	$6.43^{ab}\pm0.11$	$6.37^{b}\pm0.11$	$6.47^{ab}\pm0.11$	$6.35^{b}\pm0.11$
กลิ่น	$6.00^{a}\pm0.16$	$5.77^{ab}\pm0.16$	$5.62^{ab}\pm0.16$	$6.00^{a}\pm0.16$	$5.47^{b}\pm0.16$	$5.36^{b}\pm0.16$	$5.96^{a}\pm0.16$	$5.55^{ab}\pm0.16$	$5.31^{b}\pm0.16$
เนื้อสัมผัส	$5.83^{ab}\pm0.22$	$5.40^{b}\pm0.22$	$4.74^{c}\pm0.22$	$6.10^{a}\pm0.22$	$5.16^{bc}\pm0.22$	$4.06^{d}\pm0.22$	$5.80^{ab}\pm0.22$	$5.12^{bc}\pm0.22$	$4.24^{cd}\pm0.22$
ความแน่นเนื้อ	$6.27^{a}\pm0.21$	$5.22^{b}\pm0.21$	$4.58^{c}\pm0.21$	$6.22^{a}\pm0.21$	$5.24^{b}\pm0.21$	$4.04^{c}\pm0.21$	$5.80^{ab}\pm0.21$	$5.37^{b}\pm0.21$	$4.16^{c}\pm0.21$
รสชาติ	$6.24^{a}\pm0.20$	$5.46^{bc}\pm0.20$	$5.29^{c}\pm0.20$	$6.09^{ab}\pm0.20$	$5.39^{bc}\pm0.20$	$4.77^{cd}\pm0.20$	$5.91^{ab}\pm0.20$	$5.53^{bc}\pm0.20$	$4.47^{d}\pm0.20$
การยอมรับโดยรวม	$6.40^{a}\pm0.18$	$5.61^{b}\pm0.18$	$5.36^{b}\pm0.18$	$6.46^{a}\pm0.18$	$5.47^{b}\pm0.18$	$4.78^{c}\pm0.18$	$6.17^{ab}\pm0.18$	$5.73^{b}\pm0.18$	$4.68^{c}\pm0.18$

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากการศึกษาของ วรลักษณ์และยุพร (2545) พบว่า พรีอิมัลชั่นที่เตรียมจากผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมันที่อัตราส่วน 1 : 1 : 0.75 และ1 : 1 : 0.5 เป็นอัตราส่วนที่ให้อิมัลชั่นที่มีความคงตัวดีที่สุด โดยไม่พบการแยกชั้นเมื่อนำไปตรวจสอบความคงตัวโดยตั้งทิ้งไว้นาน 4 ชั่วโมง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2500 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องเซนติฟิวจ์ ดังนั้นในตอนเริ่มต้นของการทดลอง ผู้วิจัยจึงเลือกระดับอัตราส่วนผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมันเป็น 1 : 1 : 0.75 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าอีกอัตราส่วนหนึ่ง แต่เมื่อนำไปผลิตเต้าหู้หมู การที่มีปริมาณน้ำมันมากทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มและมีความเลี่ยนจากน้ำมัน ดังนั้นในการปรับปรุงสูตร ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้อัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นอัตราส่วนผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมันเป็น 1 : 1 : 0.5 ซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู และจากความเห็นของผู้ชิมในเรื่องกลิ่นรส ผู้วิจัยจึงปรับปรุงกลิ่นโดยการเพิ่มปริมาณของกระเทียมและเครื่องปรุงรส จาก 0.5 ไปเป็น 3 กรัมต่อสูตร และจาก 2 ไปเป็น 4 กรัมต่อสูตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ค่าความแข็งของเจลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมสารให้ความข้นหนืดชนิดต่างๆ

ชนิดสารให้ความข้นหนืด (กรัม/สูตร)	ค่าความแข็ง
แป้งมันสำปะหลัง (8)	11,423.02^{a} ± 611.42
แซนแทนกรัม (1)	9,914.27^{b} ± 119.44
กัวกัม (1)	8,789.97^{c} ± 177.66

หมายเหตุ 1. a ,b,c..ตัวอักษรกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)
ns : ไม่มีแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)
2. อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดเท่ากับ 80 :20

ผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่ทำการปรับปรุงกลิ่นรสและปรับอัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นทั้ง 3 สูตร นำไปทดสอบค่าความแข็งของเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อลดปริมาณไขมันในสูตรของพรีอิมัลชั่นลงจากอัตราส่วนผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมันที่ 1 : 1 : 0.75 ไปเป็น 1 : 1 : 0.5 จะทำให้ปริมาณของเหลวในสูตรลดลง ทำให้การเกาะตัวของเจลแน่นขึ้น เป็นผลให้ค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้แซนแทนกัมและกัวกัมเป็นสารให้ความข้นหนืด และการที่ลักษณะเนื้อสัมผัสมีการเกาะตัวแน่นขึ้นคล้ายกับสูตรที่มีปริมาณของเนื้อหมูอยู่สูง เช่นในกรณีที่ใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดเท่ากับ 70 : 30 (ตารางที่ 4.4) น่าจะทำให้การยอมรับในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 4.11 เมื่อทำการปรับปรุงกลิ่นรสและลดปริมาณไขมันในสูตรลง คะแนนการทดสอบไม่ว่าจะเป็นด้านใดๆ เมื่อเปรียบเทียบที่

อัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดที่ 80 : 20 และปริมาณสารให้ความข้นหนืดเท่ากัน (ตารางที่ 4.7 4.8 และ4.9) พบว่ามีคะแนนการยอมรับสูงขึ้นในทุกตัวอย่างโดยเฉพาะคะแนนด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเต้าหู้หมูที่ได้จากการใช้สารให้ความข้นหนืด 3 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง (8 กรัมต่อสูตร) แซนแทนกัม (1 กรัมต่อสูตร) และกัวกัม (1 กรัมต่อสูตร) เมื่อใช้อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดที่ 80 : 20 พบว่า ตัวอย่างที่ใช้แซนแทนกัมมีคะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงชอบปานกลาง ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนของรีอิมัลชั่นต่อเนื้อหมูบดเท่ากับ 80 : 20 และปริมาณแซนแทนกัม (1 กรัมต่อสูตร) ไปทำการศึกษาอายุการเก็บรักษา ราคาต้นทุนในการผลิต และองค์ประกอบทางเคมี ในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.11 คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมสารให้ความข้นหนืดชนิดต่างๆ

ชนิดสารให้ความข้นหนืด	ลักษณะที่ทดสอบ						
(กรัม/สูตร)	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี	กลิ่น^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความแน่นเนื้อ^{ns}	รสชาติ^{ns}	การยอมรับรวม
แป้งมันสำปะหลัง (8)	6.67±1.20	6.17^{b}±1.61	6.29±1.46	6.00±1.46	5.79±1.28	6.21±1.25	6.50^{b}±1.02
แซนแทนกัม (1)	6.83±1.13	7.13^{a}±1.26	6.42±1.44	6.25±1.73	6.17±1.66	6.38±1.53	7.50^{a}±0.88
กัวกัม (1)	6.42±1.28	6.79^{a}±1.25	6.13±1.26	5.54±1.38	5.79±1.53	6.25±1.43	6.38^{b}±0.88

หมายเหตุ 1. a , b , c ....n ตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ($P > 0.05$)

2. อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดเท่ากับ 80 :20

4.3 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

ตารางที่ 4.12 คะแนนทางประสาทสัมผัสของการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูระหว่างการเก็บรักษา

	ลักษณะทดสอบ		
วันที่	กลิ่นหืน	เนื้อสัมผัส	รสชาติ
0	$5.0^{a}\pm0.00$	$5.0^{a}\pm0.00$	$5.0^{a}\pm0.00$
3	$5.0^{a}\pm0.00$	$5.0^{a}\pm0.00$	$5.0^{a}\pm0.00$
5	$4.9^{a}\pm0.32$	$4.2^{b}\pm0.80$	$4.6^{ab}\pm0.70$
7	$4.7^{ab}\pm0.48$	$4.2^{b}\pm0.80$	$4.7^{ab}\pm0.48$
9	$4.6^{ab}\pm0.70$	$4.1^{bc}\pm0.74$	$4.6^{ab}\pm0.70$
11	$4.6^{ab}\pm0.52$	$3.8^{bc}\pm0.92$	$4.6^{ab}\pm0.52$
13	$4.2^{bc}\pm0.63$	$3.6^{bc}\pm0.70$	$4.6^{ab}\pm0.52$
15	$4.2^{bc}\pm0.79$	$3.6^{bc}\pm0.84$	$4.5^{ab}\pm0.82$
17	$3.8^{cd}\pm0.63$	$3.6^{bc}\pm0.84$	$4.5^{ab}\pm0.71$
19	$3.8^{cd}\pm0.63$	$3.5^{bc}\pm0.53$	$4.3^{b}\pm0.82$
21	$3.6^{d}\pm0.70$	$3.4^{c}\pm0.70$	$4.3^{b}\pm0.52$

หมายเหตุ a , b , c ....n ตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูในระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4.12 โดยที่คะแนน 5 หมายถึง ปกติ 1 หมายถึง เน่าเสียรับไม่ได้ ผลการชิม พบว่า เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 9 วัน เนื้อสัมผัสจะเริ่มยุ่ยขึ้น และเมื่อเก็บรักษามากกว่า 11 วัน จะเริ่มมีกลิ่นหืน

4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้หมูแสดงดังตารางที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของหมูยอและไส้กรอก ผลิตภัณฑ์ เต้าหู้หมูมีปริมาณของโปรตีนสูงกว่า

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชนิดอื่น

	เต้าหู้หมู	หมูยอ	ไส้กรอก
ปริมาณความชื้น(%)	52.05	58.00	54.30
ปริมาณโปรตีน(%)	16.28	12.68	14.30
ปริมาณไขมัน(%)	18.56	23.90	15.56
อื่นๆ	13.11	5.42	15.84
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(%)	8.71	-	-
ปริมาณเถ้า(%)	3.59	-	-
ปริมาณเส้นใย(%)	0.81	-	-

ที่มา : กฤษณี สิทธิโชค (2543)-ไส้กรอก ,ศรัณยา เปียแดง (2528)-หมูยอ.

4.5 ผลการคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

จากขบวนการผลิตผงเต้าหู้เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูพบว่าในการผลิตผงเต้าหู้ 1 กิโลกรัม ต้องใช้ต้นทุนทั้งสิ้น 78.00 บาท เมื่อนำไปผลิตภัณฑ์จะมีต้นทุนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.14 ซึ่งต้นทุนของผงเต้าหู้คิดจาก 40 เปอร์เซ็นต์ของผงเต้าหู้ที่ผลิตได้จากถั่วเหลือง 100 กรัม

ตารางที่ 4.14 ราคาของวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

วัตถุดิบ	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)	ปริมาณที่ใช้ต่อ 1 สูตร (กรัม)	ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท)
เนื้อหมู	80.00	20.00	1.60
ผงเต้าหู้	78.00	34.00	2.65
เกลือ	10.00	1.20	0.01
กระเทียม	70.00	3.00	0.21
น้ำตาล	14.00	2.00	0.03
ไข่ขาว(ไข่ไก่)	25.00	3.00	0.07
พริกไทยป่น	220.00	3.00	0.66
เครื่องปรุงรส	139.00	4.00	0.56
น้ำมัน	30.00	16.00	0.48
น้ำ	0.50	34.00	0.02
น้ำแข็ง	6.00	15.00	0.09
แซนแทนกัม	550.00	1.00	0.55
รวม		136.20	6.93

การคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตเต้าหู้หมูแสดงดังตารางที่ 4.14 โดยในการผลิตผงเต้าหู้มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ และในการผลิตเต้าหู้หมูมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตท่ากับ 83.50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อผลิตเต้าหู้หมูจากการใช้อัตราส่วนของพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดเท่ากับ 80 : 20 และใช้แซนแทนกัม 1 กรัมต่อสูตร มีต้นทุนของวัตถุดิบเท่ากับ 60.94 บาทต่อกิโลกรัม

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาผลของอุณหภูมิของวัตถุดิบและเวลาในการต้มที่มีผลต่อการเกิดเจลของเต้าหู้หมู พบว่า เมื่อใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ อุณหภูมิของของผสมระหว่างการสับผสมที่เวลาต่างๆ จะต่ำกว่าของผสมที่ใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง เป็นผลทำให้ค่าความแข็งของเจลเต้าหู้หมูที่ใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำมีค่ามากกว่าเจลของเต้าหู้หมูที่ใช้วัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง

ผลของเวลาในการต้มที่ 90 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มเวลาการต้มจาก 20 นาที ไปเป็น 40 นาที ค่าความแข็งของเจลเต้าหู้หมูไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนการยอมรับรวม ลักษณะปรากฏ และความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเต้าหู้หมูทั้ง 9 ตัวอย่าง ที่เตรียมจากวัตถุดิบที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่างกัน และเวลาที่ใช้ในการต้มต่างกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการแช่วัตถุดิบที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและการต้มที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความสะดวกในการผลิต และมีต้นทุนต่ำ

2. การศึกษาผลของอัตราส่วนพรีอีมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดกับปริมาณสารให้ความข้นหนืด 3 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง แซนแทนกัม และกัวกัม ที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจลของเต้าหู้หมู พบว่า อัตราส่วนพรีอีมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณสารให้ความข้นหนืดมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความแข็งแรงของเจลเต้าหู้หมู เมื่อปริมาณสารให้ความข้นหนืดคงที่ การเพิ่มปริมาณของพรีอีมัลชั่นทำให้ค่าความแข็งของเจลลดลง

เมื่ออัตราส่วนพรีอีมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดคงที่ ในกรณีของแป้งมันสำปะหลัง พบว่า การเพิ่มปริมาณของแป้งมันสำปะหลังจาก 6 กรัมต่อสูตรไปเป็น 10 กรัมต่อสูตร ไม่ทำให้ค่าความแข็งของเจลเปลี่ยนแปลง ยกเว้น weak gel ในกรณีของแซนแทนกัมและกัวกัมการเพิ่มปริมาณกัมจาก 1 กรัมต่อสูตรไปเป็น 2 กรัมต่อสูตร ทำให้ค่าความแข็งของเจลมีแนวโน้มลดลง ยกเว้น weak gel

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ไม่ว่าจะใช้สารให้ความข้นหนืดชนิดใด การเพิ่มปริมาณของพรีอีมัลชั่นจาก 70 ส่วนไปเป็น 90 ส่วน ทำให้คะแนนการยอมรับ คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลง แต่เมื่อทำการปรับปรุงกลิ่นรส โดยการเพิ่มปริมาณกระเทียมและเครื่องปรุงรส รวมทั้งเปลี่ยนอัตราส่วนที่ใช้เตรียมพรีอีมัลชั่นจากผงเต้าหู้ น้ำ และน้ำมัน ที่ 1:1:0.75 ไปเป็น 1:1:0.5 พบว่า เต้าหู้หมูที่เตรียมจากการใช้อัตราส่วนของพรีอีมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดที่ 80:20 มีคะแนนความชอบรวม คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ใช้แซนแทนกัม 1 กรัมต่อสูตร มีคะแนนความชอบอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง

3.ผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูเมื่อเก็บรักษาได้ 9 วัน เนื้อสัมผัสจะเริ่มยุ่ย และเมื่อเก็บมากกว่า 11 วัน เริ่มมีกลิ่นหื่น

4. ผลการศึกษาต้นทุนของวัตถุดิบพบว่าการผลิตเต้าหู้หมู 1 กิโลกรัม จะมีต้นทุนของวัตถุดิบเท่ากับ 60.94 บาท

5.ผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูมีปริมาณความชื้น 52.05 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 16.28 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18.56 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 8.71 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.59 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใย 0.81 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูพบว่า สามารถเก็บได้น้อยกว่า 15 วัน ซึ่งอายุการเก็บรักษายังน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด จึงควรศึกษาหาวิธียืดอายุการเก็บรักษาเพื่อสามารถวางผลิตภัณฑ์ขายในท้องตลาดได้นานขึ้น อาจจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในกรดแลคติกร้อยละ 2 ก่อนบรรจุใส่ถุงในสภาวะสุญญากาศ สามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้นได้

2. จากผลการศึกษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู พบว่า เนื้อสัมผัสลื่นและไม่แน่นมากพอเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์กลุ่มเดียวกัน เนื่องจากมีกัมเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงควรศึกษาการใช้แซนแทนกัมร่วมกับสารให้ความข้นหนืดชนิดอื่น เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวสาลี และแป้งข้าวจ้าว เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดีขึ้น

3. การบรรจุผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูในสภาวะสุญญากาศน่าจะช่วยทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเมื่อผ่านการต้มแล้ว

4. นอกจากผลิตภัณฑ์กลุ่มเนื้อหมูน่าจะมีการศึกษาประยุกต์ใช้พรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้กับผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่นๆ ที่มีลักษณะผลิตภัณฑ์เป็นเจลเหมือนกัน เช่น ซูริมิ และเนื้อไก่ เป็นต้น

บรรณานุกรม

กฤษณี สิทธิโชค. 2543. “ผลของสารกันหืน การบรรจุและอุณหภูมิการเก็บต่อคุณภาพไส้กรอกหมู.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2542. เอกสารประกอบคำสอนเทคโนโลยีแป้ง. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรี ทองเรือง. 2544. ซูริมิ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. กรุงเทพฯ : บริษัทฟอร์แมทพริ้นติ้งจำกัด.

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2540. “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลโปรตีนจากถั่วเหลือง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปาริฉัตร หงส์ประภาส. 2542. เคมีกายภาพของอาหารคอลลอยด์ อิมัลชั่น และเจล. กรุงเทพฯ.

พรทิพย์ มีนพกิจ. 2543. “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เพ็ญศรี จูงศิริวัฒน์. 2535. เทคโนโลยีการแปรรูปเนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ : กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิสิษฐ์. 2544. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงษ์. 2545. “การศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้และการใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้ในลูกชิ้นหมู.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงษ์ และยุพร พืชกมุทร. 2545. “การศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทน.” **การประชุมทางวิชาการเพื่อผู้บริโภค (Farm for consumer)** การแสดงผลงานภาคโปสเตอร์ 19 เรื่อง วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2545 อาคารเจ้าคุณทหาร. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิชัย นาครักษา. 2536. เอกสารคำสอนวิชาคาร์โบไฮเดรตในอาหาร. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศรัณยา เปียแดง. 2528. "การฉายรังสียืดอายุการเก็บหมูยอ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย. 2540. "การผลิตผงเต้าหู้เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชในผลิตภัณฑ์อาหาร." **วิทยาศาสตร์ มศว.** 13 : 26-33.

โสรยา เกิดพิบูลย์. 2545. "การศึกษาวิธีการผลิตลูกชิ้นปลาผสมเนื้อหอย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรวินท์ โทรกี. 2532. อาหาร. กรุงเทพฯ.

Chung , W.H. and Y.H. Kim. 1996. "Functional properties and composition of tofu flour 206 –209." In the processing of the second international soybean processing and utilization . Bangkok : Kasetsat University .

Dickinson , E. and G. Stainsby. 1982. Colloids in Food. New York : Applied Science Publishers LTD.

Dickinson , E. and Y. Yamamoto. 1996. "Viscoelastic properties of heat – set whey protein – stabilized emulsion gels with added lacithin." **J. Food Sci.** 61(4) : 811 - 816

Gaudio et al. 1979. Vetgetable protein ingredient for kamaboko products containing and polysaccharide. USA. US.patent 4,173,657.

Helik , J. J., E. Pichon., M. Sholnan., M. H. Schwarz and M. Yezek. 1976. Dried tofu powder. USA. U.S. patent. No.3943266. March 1 , 1976.

Hill , S. E., D. A. Ledward and J. R. Mitchell. 1998. Functional properties of food macromolecules. 2nd. Gaithersburg. An Aspen Publishers, Inc.

Howe , J. R., D. D. Hamann., T. C. Lanier and J. W. Park. 1994. "Fracture of allaska pollock gels in water : effect of minced muscle processing and test temperature. **J. Food sci.** 59 : 777-780.

Hua , Y., S. W. Cui and Q. Wang. 2003. "Gelling property soy protein gum mixtures." **Food Hydrocolloids.**

Imeson , A. 1997. Thickening and gelling agents for food. 2nd. New York : Champman & Hall.

Jeng , C.Y., H. W. Ockerman., V. R. Caholl. and A. C. Peng. 1988. "Influence of substituting two level of tofu for fat in cooked commuted meat – type product." **J. Food Sci.** 53(1) : 97-100.

Kai-Lai , G. H., L. A. Wilson and J. G. Sebranek. 1997. "Dried soy tofu powder effects on frankfurter and pork sausage patty." **J. Food Sci.** 60(2) : 434-437.

Kim , J.M. and C. M. Lee. 1987. "Effect of starch of textural properties of surimi gel." **J. Food Sci**. 52(3) : 722 – 725

Kong , C.S., H. Ogawa and N. Iso. 1999. "Compression properties of Fish – Meat gel as affected by gelatinization of added starch. **J. Food Sci**. 64(2) : 283 - 286

Lecomte , N.B., J. F. Zayas and C. L. Kastner. 1993. "Soya proteins functional and Sensory characteristics improved in comminuted meats." **J. Food Sci**. 58(3) : 464 - 472

Lin , K. W. and M. Y. Mei. 2000. "Influence of gum , soy protein isolate and heating temperature on reduced – fat meat batter in model system." **J. Food Sci**. 65(1) : 97 – 100.

Masumura , Y.. 1997. Molecule in functional proteins. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidellberg.

Matsudomi , N., Y. Inove., H. Nakashima., A. Kato and K. Kobayashi. 1995. "Emulsion stabilization by maillard – type covalent complex of plasma protein with galactomannan." **J. Food Sci**. 60(2) : 265 – 268 ,283.

Mori , T., S. Utsumi, H. Inaba, K. Kitamura and K. Harada. 1981. "Differences in subunit composition of glycinin among soybean cultivars." **J. Agric Food Chem**. 29 : 20.

Nakamura , S., K. Kobayashi and A. Kato. 1994. "Role of lysozyme in the excellent emulsifying properties of maillard – type lysozyme – polysaccharide conjugate." **J. Agri. Food Chem**. 42 : 2688 – 2691.

Noitup , P. and N. Raksakulthai. 1997. "Process development and storage of fish – cuttle balls." **Asean Food Journal** . 12(1) : 27-32.

Nussinovitch, A. 1997. Hydrocolloid Applications : Gum technology in the food and other industries. New York : Chapmas & Hall.

Rao , A. 2002. "Characteristic of soy protein concentrate produced by membrane ultrafiltration." **J. Food Sci .** 65(4) : 1412 – 1418.

Rahardjo , R., L. A. Wilson and J. G. Sebranek. 1994. "Spray dried soy milk used in reduced fat pork sausage patties." **J. Food Sci.** 59(6) :1286 – 1290.

Rakosky , J. 1974. "Soy grits , flour , concentrates and isolates in meat product." **Am. Oil Chemistis Soc**. 51 : 123A – 127A.

Ramirez – Suarez , J. C. and Y. L. Xiong. 2003. "Effect of transglutaminase – induced cross – linking on gelation of myofibrillar/soyprotein mixtures." **Meat Science**. 65 : 899 – 907.

Renkema , J. M. S., H. Gruppen and T. V. Vliet. 2002. "Influence of pH and ionic strength on heat – induced formation and rheological properties of soy proteins at neutral pH." **J. Agric. Food Chem.** 50 : 1569 – 1573.

Renkema , J. M. S., C. M. M. Lakemond., H. H. J. De Jongh., H. Gruppen and T. V. Vliet . 2000. "The effect of pH on heat in meat muscle." **Meat Science**. 79 : 223 – 230.

Samejima , K., M. Ishioroshi. and T. Yasui. 1981. "Relative roles of the head and tail portion of the molecule in heat-induced gelation of myosin." **J.Food Sci.** 46 : 1412-1418.

Sikorski , Z. E. 1990. Seafood : Resources , Nutritional Composition And Preservation CRD Press. USA.

Wu , M. C., T. C. Lanier and D. D. Humann. 1985. "Thermal transition of admixed starch/fish protein systems during heating." **J. Food Sci.** 50 : 20 – 25.

Xie , Y. R. and N. S. Hettiarachchy. 1997. "Xanthan gums effect on solubility and emulsification properties of soy protein isolate." **J. Food Sci.** 62(2) : 1101 – 1104.

Xiong , Y. L. and K. Jong. 2002. "Interaction of myofibrillar and preheated soy proteins." **J. Food Sci.** 67(8) : 2851 – 2856.

Zayas , J. F. 1997. Functionality of protein in food. New YorK : Spronger – Verlage Berlin.

ภาคผนวก ก.

ตารางการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อุณหภูมิแช่เย็นวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่างกัน

Sov.	Df.	SS	MS	F-value	Sig
ค่าความแข็ง					
Boilling time(A)	2	588765.66	294382.83	5.19	.032[ns]
Chill Temperature(B)	2	8177718.1	4088859.1	72.13	.000**
Interaction A×B	4	3340221.8	835055.45	14.73	.001*
Error	9	510224.28	56691.587		
Total	17	12616930	742172.35		

หมายเหตุ

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อุณหภูมิแช่เย็นวัตถุดิบและเวลาในการต้มต่างกัน

Sov.	Df.	SS	MS	F-value	Sig
การยอมรับรวม					
Treatment	8	4.92	0.62	0.22	.99^{ns}
Block	9	38.4	4.27	1.49	.15^{ns}
Error	72	463.05	2.86		
ลักษณะปรากฏ					
Treatment	8	10.71	1.34	0.96	.47^{ns}
Block	9	26.34	2.93	2.09	.03*
Error	72	227.01	1.40		
เนื้อสัมผัส					
Treatment	8	9.60	1.20	0.39	.92^{ns}
Block	9	23.49	2.61	0.84	.57^{ns}
Error	72	501.46	3.09		

<u>หมายเหตุ</u>

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง กัน

Sov.	Df.	SS	MS	F-value	Sig
ค่าความแข็ง					
Pre – emulsion (A)	2	77803480	38901740	767.473	.000**
Topioca Starch (B)	2	42545.072	21272.536	0.420	.669
Interaction A×B	4	2051110.3	512777.58	10.116	.002**
Error	9	456193.03	50688.115		
Total	17	80353328	4726666.4		

หมายเหตุ

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแซนแมนกัมต่างกัน

Sov.	Df.	SS	MS	F-value	Sig
ค่าความแข็ง					
Pre – emulsion (A)	2	27476401	13738201	396.079	.000**
Xanthan gum (B)	2	1948348.4	974174.22	28.086	.000**
Interaction A×B	4	92055108	230137.77	6.635	.009**
Error	9	312169.31	34685.480		
Total	17	30657470	1803380.6		

หมายเหตุ

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณกัวกัมต่างกัน

Sov.	Df.	SS	MS	F-value	Sig
ค่าความแข็ง					
Pre – emulsion (A)	2	179636069	8818034.5	655.468	.000**
Guar gum (B)	2	901325.80	450662.90	33.499	.000**
Interaction A×B	4	2280584.6	570146.15	42.380	.000**
Error	9	121077.37	13453.041		
Total	17	20939057.0	1231709.2		

หมายเหตุ

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 15 คน) ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างกัน

ลักษณะที่ทดสอบ Sov		Df	SS	MS	F-value	Sig
ลักษณะที่ปรากฏ						
	Treatment	8	22.075	2.759	4.77	.000**
	Block	14	308.837	5.827	10.07	.000**
	Error	112	120.325	0.578		
สี						
	Treatment	8	5.459	0.682	1.24	.287^{ns}
	Block	14	309.197	5.834	10.59	.000**
	Error	112	114.541	0.551		
กลิ่น						
	Treatment	8	72.591	9.074	7.52	.000**
	Block	14	295.093	5.568	4.61	.000**
	Error	112	251.009	1.207		
เนื้อสัมผัส						
	Treatment	8	157.529	19.691	12.47	.000**
	Block	14	425.567	8.029	5.08	.000**
	Error	112	328.471	1.579		
ความแน่นเนื้อ						
	Treatment	8	132.389	16.549	12.02	.000**
	Block	14	565.997	10.679	7.76	.000**
	Error	112	286.411	1.377		
รสชาติ						
	Treatment	8	178.437	22.305	13.58	.000**
	Block	14	429.111	8.096	4.93	.000**
	Error	112	341.563	1.642		
การยอมรับรวม						
	Treatment	8	163.071	20.384	14.51	.000**
	Block	14	342.339	6.459	4.60	.000**
	Error	112	292.129	1.405		

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 15 คน) ของผลิตภัณฑ์จเต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณแซนแทนกัมต่างกัน

ลักษณะที่ทดสอบ Sov		Df	SS	MS	F-value	Sig
ลักษณะที่ปรากฏ						
	Treatment	8	8.317	1.039	1.58	.134^{ns}
	Block	14	193.251	3.646	5.52	.000**
	Error	112	137.283	0.660		
สี						
	Treatment	8	10.361	1.295	2.21	.0.03*
	Block	14	322.128	6.078	10.36	.000**
	Error	112	122.039	0.587		
กลิ่น						
	Treatment	8	39.456	4.932	3.02	.003**
	Block	14	304.356	5.743	3.52	.000**
	Error	112	339.744	1.633		
เนื้อสัมผัส						
	Treatment	8	90.027	11.253	6.61	.000**
	Block	14	330.027	6.227	3.66	.000**
	Error	112	353.973	1.702		
ความแน่นเนื้อ						
	Treatment	8	80.274	10.034	5.16	.000**
	Block	14	374.140	7.059	3.63	.000**
	Error	112	404.126	1.943		
รสชาติ						
	Treatment	8	75.689	9.461	4.73	.000**
	Block	14	415.956	7.848	3.92	.000**
	Error	112	416.310	2.001		
การยอมรับรวม						
	Treatment	8	124.967	15.621	11.18	.000**
	Block	14	331.267	6.250	4.47	.000**
	Error	112	290.633	1.397		

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01)

ตารางที่ ก.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 15 คน) ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่อัตราส่วนพรีอิมัลชั่นของผงเต้าหู้ต่อเนื้อหมูบดและปริมาณกัวกัมต่างกัน

ลักษณะที่ทดสอบ Sov	Df	SS	MS	F-value	Sig
ลักษณะที่ปรากฏ					
Treatment	8	10.628	1.328	2.86	.01**
Block	14	224.395	4.234	9.12	.000**
Error	112	96.572	0.464		
สี					
Treatment	8	3.788	0.473	1.27	.25^{ns}
Block	14	267.721	5.051	13.57	.000**
Error	112	77.412	0.372		
กลิ่น					
Treatment	8	15.766	1.971	2.59	.011*
Block	14	172.199	3.249	4.27	.000**
Error	112	158.234	0.761		
เนื้อสัมผัส					
Treatment	8	107.722	13.465	9.92	.000**
Block	14	365.088	6.889	5.08	.000**
Error	112	282.278	1.357		
ความแน่นเนื้อ					
Treatment	8	142.569	17.821	14.53	.000**
Block	14	381.636	7.201	5.87	.000**
Error	112	255.031	1.226		
รสชาติ					
Treatment	8	71.965	8.996	8.04	.000**
Block	14	347.298	6.553	5.87	.000**
Error	112	232.835	1.119		
การยอมรับรวม					
Treatment	8	88.003	11.00	12.33	.000**
Block	14	229.436	4.329	4.85	.000**
Error	112	185.597	0.892		

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของเจลจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูสูตรปรับปรุงรสชาติ

Sov.	Df.	SS	MS	F-value	Sig
ค่าความแข็ง					
Treatment	2	10413365	5206682.3	37.221	.000**
Error	6	839319.26	139886.54		
Total	8	11251684			

หมายเหตุ

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 12 คน) ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูสูตรปรับปรุงรสชาติ

ลักษณะที่ทดสอบ	Sov	Df	SS	MS	F-value	Sig
ลักษณะที่ปรากฏ						
	Treatment	2	2.111	1.056	1.328	.299 ns
	Block	11	61.278	2.664	3.125	.000**
	Error	22	39.222	0.853		
สี						
	Treatment	2	11.361	5.681	5.524	.007**
	Block	11	84.611	3.679	3.577	.000**
	Error	22	47.306	1.028		
กลิ่น						
	Treatment	2	1.028	0.514	0.503	.608 ns
	Block	11	86.444	3.758	3.681	.000**
	Error	22	46.972	1.021		
เนื้อสัมผัส						
	Treatment	2	6.194	3.097	1.816	.174 ns
	Block	11	93.986	4.086	2.395	.006**
	Error	22	78.472	1.706		
ความแน่นเนื้อ						
	Treatment	2	2.250	1.125	0.683	.510 ns
	Block	11	79.500	3.457	2.099	.016*
	Error	22	75.750	1.647		
รสชาติ						
	Treatment	2	0.583	0.292	0.242	.786 ns
	Block	11	81.500	3.543	2.941	.001**
	Error	22	55.417	1.205		
การยอมรับรวม						
	Treatment	2	18.250	9.125	12.196	.000**
	Block	11	25.208	1.096	1.465	.134 ns
	Error	22	34.417	0.748		

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ตารางที่ ก.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ผู้ทดสอบชิม 10 คน) ด้านอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมู

Sov.	Df.	SS	MS	F-value	Sig
กลิ่นหืน					
Treatment	10	2.964	2.580	8.027	.000**
Block	9	6.264	0.186	0.578	.812^{ns}
Error	90	50.036	0.321		
รสชาติ					
Treatment	10	5.164	0.516	1.498	.153^{ns}
Block	9	3.782	0.420	1.219	.293^{ns}
Error	90	31.018	0.345		
เนื้อสัมผัส					
Treatment	10	32.200	3.220	6.456	.000**
Block	9	2.909	0.323	0.648	.753^{ns}
Error	90	44.891	0.499		

หมายเหตุ

ns หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

ภาคผนวก ข.

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้ต่อเนื้อสัตว์บด

ชื่อผู้ทดสอบ .....อายุ.....วันที่ทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้ โดยลักษณะเนื้อสัมผัสคือความรู้สึกแรกที่กัด และให้คะแนนตามความชอบตามคำอธิบายข้างล่างนี้ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง กรุณาบ้วนปากเมื่อเปลี่ยนตัวอย่างทดสอบ

1 = ไม่ชอบมากที่สุด
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด

ลักษณะที่ทดสอบ	รหัส				
ลักษณะปรากฏ					
เนื้อสัมผัส					
การยอมรับรวม					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ขอบคุณมากครับ.

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้ต่อเนื้อสัตว์บด

ชื่อผู้ทดสอบ.....อายุ.....วันที่ทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้ โดยคุณลักษณะเนื้อสัมผัสคือความรู้สึกที่กัดและเคี้ยว และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบายข้างล่างนี้ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง กรุณาบ้วนปากทุกครั้งหลังการทดสอบตัวอย่าง

1	=	ไม่ชอบมากที่สุด	6	=	ชอบเล็กน้อย
2	=	ไม่ชอบมาก	7	=	ชอบปานกลาง
3	=	ไม่ชอบปานกลาง	8	=	ชอบมาก
4	=	ไม่ชอบเล็กน้อย	9	=	ชอบมากที่สุด
5	=	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ			

ลักษณะที่ทดสอบ	รหัสตัวอย่าง		
ลักษณะปากฏ			
สี			
กลิ่น			
เนื้อสัมผัส			
ความแน่นเนื้อ			
รสชาติ			
การยอมรับรวม			

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ขอบคุณครับ.

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้ต่อเนื้อสัตว์บด

ชื่อผู้ทดสอบ.....อายุ.....วันที่ทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้ โดยคุณลักษณะเนื้อสัมผัสคือความรู้สึกที่กัดและเคี้ยว และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบายข้างล่างนี้ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง กรุณาบ้วนปากทุกครั้งหลังการทดสอบตัวอย่าง

1	=	ไม่ชอบมากที่สุด	6	=	ชอบเล็กน้อย
2	=	ไม่ชอบมาก	7	=	ชอบปานกลาง
3	=	ไม่ชอบปานกลาง	8	=	ชอบมาก
4	=	ไม่ชอบเล็กน้อย	9	=	ชอบมากที่สุด
5	=	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ			

ลักษณะที่ทดสอบ	รหัสตัวอย่าง				
ลักษณะปากฏ					
สี					
กลิ่น					
เนื้อสัมผัส					
ความแน่นเนื้อ					
รสชาติ					
การยอมรับรวม					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ขอบคุณครับ

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านอายุการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์จากผงเต้าหู้ต่อเนื้อสัตว์บด

ชื่อผู้ทดสอบ.....อายุ.....วันที่ทดสอบ.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างโดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ด้านการเสื่อมเสียตามคำอธิบายข้างล่าง

คะแนน	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
5 =	ปกติ	ปกติ	ปกติ
4 =	หืนเล็กน้อย	เปรี้ยวเล็กน้อย	ยุ่ยเล็กน้อย
3 =	หืนปานกลาง	เปรี้ยวปานกลาง	ยุ่ยปานกลาง
2 =	หืนมากและมีกลิ่นเปรี้ยว	เปรี้ยวมากที่สุด	ยุ่ยมาก
1 =	กลิ่นเปรี้ยวกรด	รับประทานไม่ได้	เละไม่เกาะกัน

ลักษณะที่ทดสอบ	คะแนน
กลิ่น	
รสชาติ	
เนื้อสัมผัส	

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

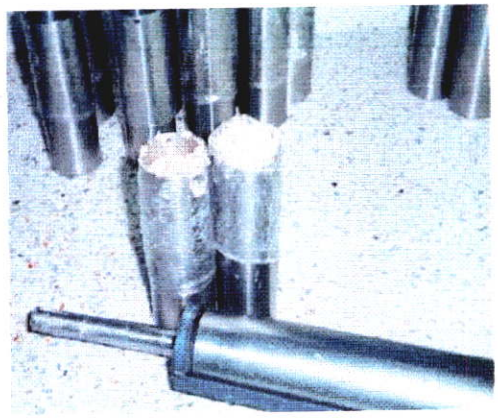
ขอบคุณครับ

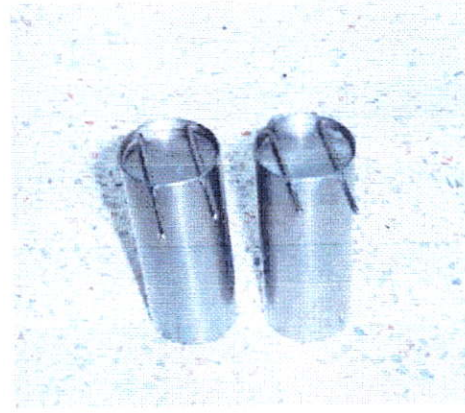
ภาคผนวก ค.
ภาพขั้นตอนการผลิต

1. เตรียมวัตถุดิบ

2. แช่เย็นวัตถุดิบ

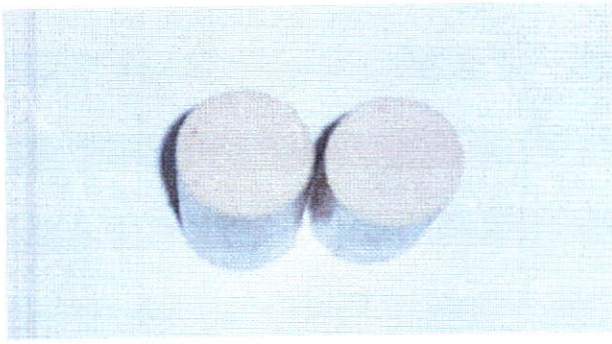
3. สัดผสมส่วนผสม

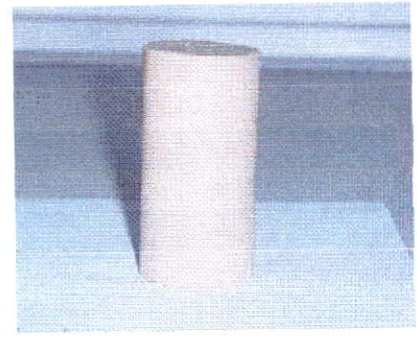




4. บรรจุพิมพ์

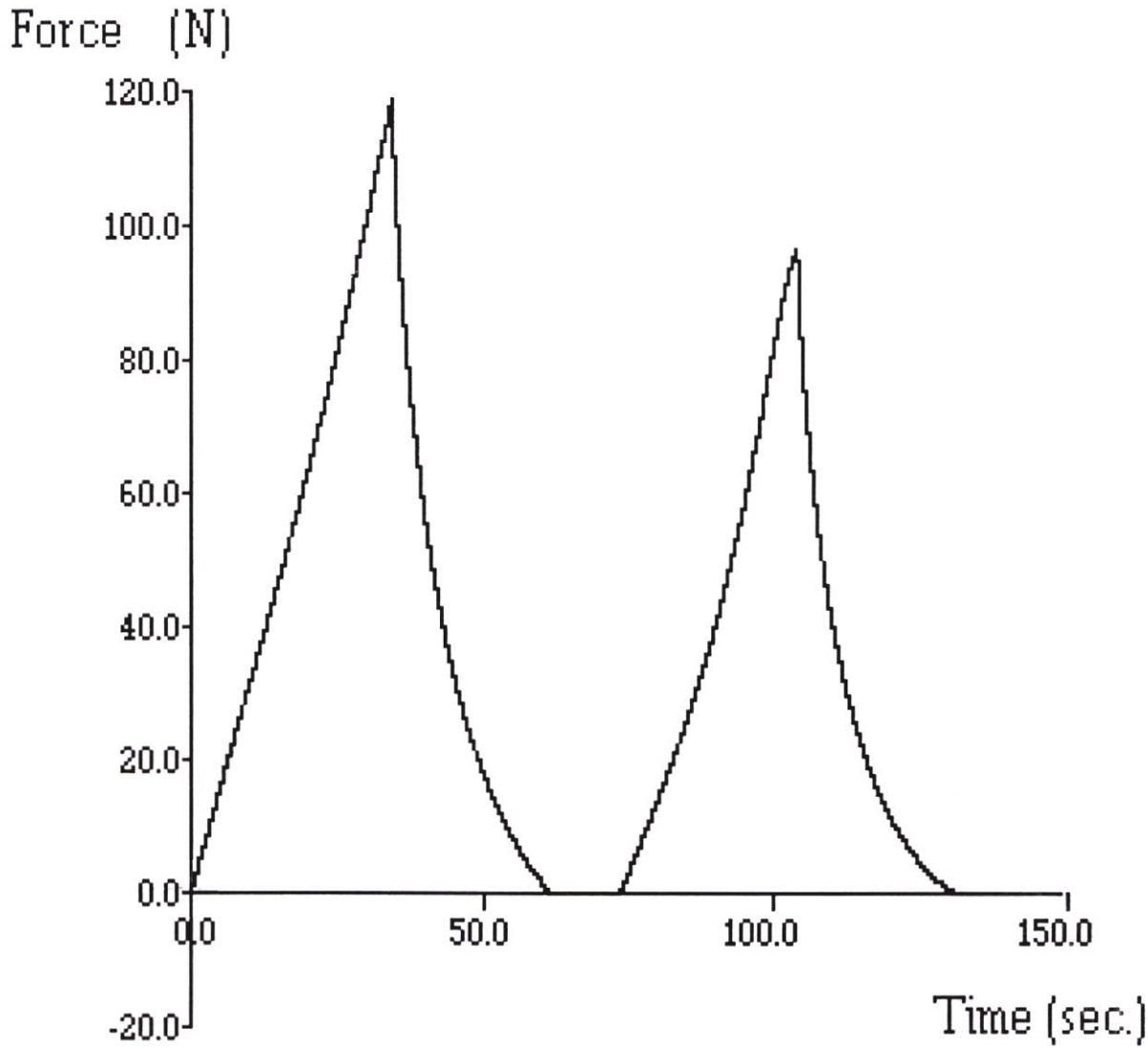
5. ต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที



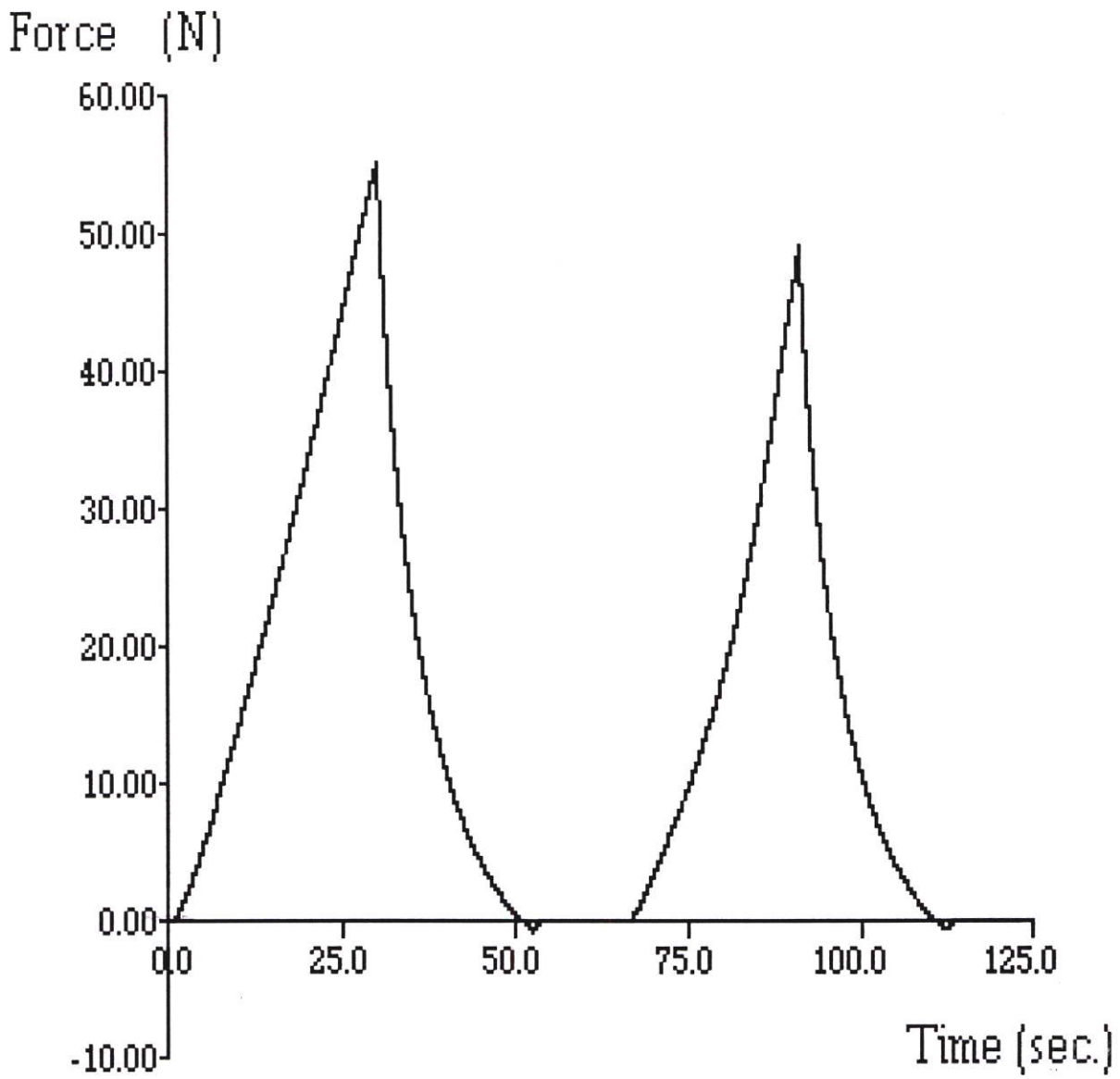


6. ตรวจสอบคุณภาพ

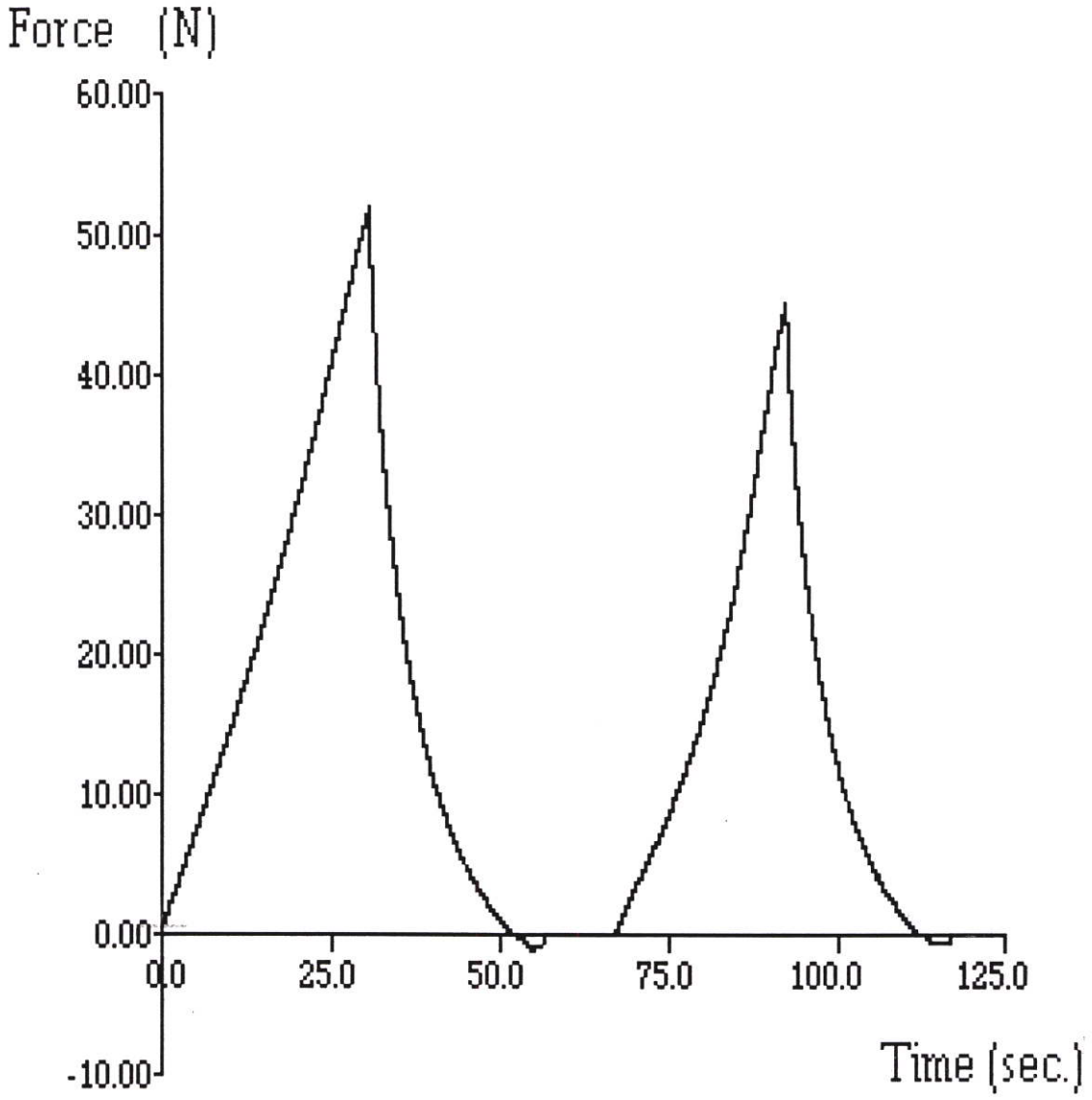
ภาคผนวก ง.
กราฟการวัดเนื้อสัมผัส



ภาพ ง. 1 แสดงกราฟการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมแป้งมันสำปะหลัง



ภาพ ง. 2 แสดงกราฟการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมแซนแทนกัม



ภาพ ง. 3 แสดงกราฟการวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หมูที่เติมกัวกัม

ประวัติผู้เขียน

นายสันติธรรม โชติประทุม เกิดวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ.2520 ที่จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารจากสถาบันราชภัฏจันทนเกษม กรุงเทพมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2544 และศึกษาต่อระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.ม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในสาขาวิทยาศาสตร์อาหาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2546