การศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้และการใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้ในลูกชิ้นหมู

STUDIES ON THE TOFU POWDER PROCESSING AND UTILIZATION OF TOFU POWDER IN MEATBALL

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์
WORALAK PANYATHITIPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-694-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้และการใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้ในลูกชิ้นหมู

STUDIES ON THE TOFU POWDER PROCESSING AND UTILIZATION OF TOFU POWDER IN MEATBALL

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์

WORALAK PANYATHITIPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2545

ISBN 974-648-694-2

STUDIES ON THE TOFU POWDER PROCESSING AND UTILIZATION OF TOFU POWDER IN MEATBALL

WORALAK PANYATHITIPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-648-694-2

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้และการใช้ประโยชน์ของผงเต้าหู้ในลูกชิ้นหมู
นักศึกษา	นางสาววรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์
รหัสประจำตัว	42066003
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. ยุพร พืชกมุทร

บทคัดย่อ

ผงเต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบเต้าหู้ แล้วนำไปบดให้ละเอียด เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนอีกทางเลือกหนึ่ง ในการศึกษากระบวนการผลิตผงเต้าหู้โดยใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ คือ $CaSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ $CaCl_2$ 3.0 เปอร์เซ็นต์ และ $MgSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ นำผงเต้าหู้ที่ได้ไปตีกับน้ำและน้ำมันเพื่อฟอร์มตัวเป็นอิมัลชัน พบว่าผงเต้าหู้ที่เตรียมจาก $MgSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวดีที่สุด ($P\leq0.05$) จึงเลือกใช้ $MgSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ มาทำการศึกษาการแยกน้ำเวย์โดยวิธีการที่ใช้ทั่วไปในการทำเต้าหู้ คือ การกดทับ และการแยกน้ำเวย์โดยการเซนตริฟิวจ์ วางแผนการทดลองแบบ Factorial Design ร่วมกับอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าผงเต้าหู้ที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ไม่ว่าจะใช้การแยกน้ำเวย์โดยวิธีใด จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวที่ดีที่สุด ($P\leq0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตของผงเต้าหู้และความคงตัวของอิมัลชันเมื่อใช้การแยกน้ำเวย์โดยการเซ็นติฟิวจ์สูงกว่าการกดทับ

การศึกษาอายุการเก็บของผงเต้าหู้ โดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดสนิทเก็บในสภาวะต่างๆ คือ เก็บในสภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน ปริมาณค่า Thiobarbituric acid (TBA) ของผงเต้าหู้ที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติจะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บในสภาวะสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) และปริมาณ TBA ที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) อย่างไรก็ตามการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่น พบว่าตัวอย่างผงเต้าหู้ที่เก็บในทุกสภาวะเป็นเวลา 3 เดือนไม่มีกลิ่นเหม็นหืน ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าปริมาณโปรตีนในผงเต้าหู้มีมากกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ถึง 2.5 เท่า

เมื่อนำผงเต้าหู้ไปเตรียมให้อยู่ในรูปของ Pre-emulsion เพื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู พบว่าอัตราส่วนของ ผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมัน ที่ 1 : 1 : 0.75 จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวดีที่สุด และสามารถเติมลงสูตรลูกชิ้นหมูได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อหมู โดยที่คะแนนความชอบรวมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างลูกชิ้นหมูสูตรควบคุม ($P>0.05$) และเมื่อคำนวณราคาของวัตถุดิบ พบว่าลูกชิ้นหมูที่เติม Pre-emulsion 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อหมู มีราคาวัตถุดิบต่ำกว่าลูกชิ้นหมูสูตรควบคุมถึง 12.13 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title	Studies of The Tofu Powder Processing and Utilization of Tofu Powder in Meatball
Student	Miss Woralak Panyathitipong
Student ID.	42066003
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2002
Thesis advissor	Dr. Yuporn Puechkamut

ABSTRACT

Tofu powder is the product from ground dried tofu which can be used as an alternative protein source. The effect of 3 coagulants ($CaSO_4$ 2.2 %, $CaCl_2$ 3.0 % and $MgSO_4$ 2.2 %) on the quality of tofu powder were elucidated. To evaluate their emulsifying properties, each tofu powder was mixed with oil and water to form emulsion. The result show that the emulsion stability from that of $MgSO_4$-tofu powder was significantly higher than those of $CaSO_4$- and $CaCl_2$-tofu powder. To compare the whey separating method, the conventional method of pressing and centrifugation were used. The effect of drying temperature (60 °C, 70 °C and 80°C) were also studied. It was found that regardless of whey separating methods, emulsion stability of tofu powder obtained at 70 °C drying temperature was greater than those of tofu powder obtained at of 60 °C and 80 °C. However, whey separation by centrifugation gave tofu powder at higher yield and emulsion stability compared to pressing method.

The effect of packing method and temperature on the shelf life of tofu powder were studied. The result show that thiobarbituric acid (TBA) number of samples packed in laminated bag at normal atmosphere were significantly higher than those of samples packed in laminated bag at vacuum condition. The samples stored at 10 °C had TBA number significantly higher than those of samples stored at room temperature. However, no rancid odor was detected by sensory evaluation for all tofu powder samples after 3 months of storage. The protein content of tofu powder was about 2.5 times greater than that of meat.

Pre-emulsion from the mixtures of tofu powder water and oil were prepared. The effect of ratio of tofu powder water and oil on the emulsion stability was studied. The result showed that pre-emulsion made from the mixture of tofu powder water and oil at 1 : 1 : 0.75 had the significantly better emulsion stability than those of others. This pre-emulsion could be added to meatball at 30 % of pork weight. The result of sensory test showed that overall acceptance from panelists of this meatball was not significantly different from that of control. The cost of raw material of meatball that added pre-emulsion at 30 % pork weight was decreased 12.13 % when compared to that of control.

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. กิตติชัย บรรจง และ ผู้ช่วยศาตราจารย์ เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำเพิ่มเติมแก่ข้าพเจ้า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อวัตถุดิบตลอดการทำวิจัย ขอบคุณคุณบุณยกฤต รัตนพันธุ์ ที่ให้คำปรึกษาทางด้านสถิติ ขอบคุณคุณอรวรรณ ปานศิริ และคุณศิริมา วรรณรังษี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องพิมพ์และสิ่งดีๆ ที่มีให้ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ปริญญาโท ทุกท่านที่ให้กำลังใจ และคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมไว้แต่เพียงผู้เดียว

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ... III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....X

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ขอบเขตของการศึกษา.....2

1.3 วัตถุประสงค์.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลือง.....3

2.2 การใช้โปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์อาหาร.....7

2.3 เต้าหู้.....8

2.4 ผงเต้าหู้.....14

2.5 การใช้โปรตีนถั่วเหลืองและผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์.....15

2.6 ลูกชิ้น.....17

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....19

3.1 วัตถุดิบ.....19

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....19

3.3 สถานที่ดำเนินงาน.....20

3.4 วิธีดำเนินงาน.....21

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....27

4.1 ผลของสารตกตะกอนต่อคุณภาพของผงเต้าหู้.....27

4.2 ผลของการแยกน้ำเวย์กับอุณหภูมิที่ใช้อบ.....29

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้.....31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการเก็บรักษาผงเต้าหู้ในสภาวะต่างๆ.....34
4.5 ผลของอัตราส่วนของผงเต้าหู้ น้ำ และน้ำมันที่เหมาะสมในการเตรียม Pre-emulsion.....35
4.6 ผลการเติม Pre-emulsion ต่อคุณภาพของลูกชิ้นหมู.....37
4.7 ผลการคำนวณต้นทุนของลูกชิ้นหมูที่เติม Pre-emulsion.....38

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....41

บรรณานุกรม.....42

ภาคผนวก

ก. คุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองและน้ำเวย์ในการผลิตเต้าหู้.....46
ข. ขั้นตอนการผลิตผงเต้าหู้.....48
ค. ปริมาณความชื้นของผงเต้าหู้.....51
ง. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส.....54
จ. การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid.....56
ฉ. การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส.....59

ประวัติผู้เขียน.....63

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม.....4

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น.....6

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด.....7

3.1 ส่วนผสมในการผลิตลูกชิ้นหมู.....26

4.1 ผลของสารตกตะกอนต่อคุณภาพของผงเต้าหู้.....28

4.2 ผลของการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับและการเซนตริฟิวจ์กับอุณหภูมิที่ใช้อบ
ต่อคุณภาพของผงเต้าหู้.....33

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้.....34

4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า Thiobarbituric acid (TBA) ของผงเต้าหู้เมื่อเก็บ
ไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์.....34

4.5 ความคงตัวของอิมัลชันที่เตรียมจากอัตราส่วนของน้ำและน้ำมันระดับต่างๆ.....35

4.6 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของลูกชิ้นหมูที่เติม Pre-emulsion
ในระหว่างการฟอร์มเจล.....36

4.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูที่มีการเติม Pre-emulsion 37

4.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นหมูที่มีการเติม Pre-emulsion 38

4.9 ราคาของวัตถุดิบในการผลิตลูกชิ้นหมู 1 กิโลกรัม.....39

4.10 องค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นหมู.....40

ก1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ค่า pH ของน้ำนมถั่วเหลืองที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้.....47

ก2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ค่า pH และปริมาตรของน้ำเวย์ที่แยกได้
หลังจากการตกตะกอนโปรตีน.....47

ค1 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่อบที่เวลาต่างๆ โดยแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับ.....52

ค2 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่อบที่เวลาต่างๆ โดยแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์.....53

จ1 ค่า Thiobabituric acid ของผงเต้าหู้ที่เก็บที่สภาวะต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์.....58

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนการผลิตแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม.....5

2.2 การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง.....10

3.1 การเตรียมเต้าหู้.....22

3.2 การเตรียม Pre-emulsion.....23

3.3 การแยกน้ำเวย์.....24

3.4 การเตรียมลูกชิ้นหมู.....27

4.1 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่แยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับที่เวลาต่างๆ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส.....30

4.2 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่แยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ที่เวลาต่างๆ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส.....31

ข1 ขั้นตอนการผลิตผงเต้าหู้.....49

ข2 ลักษณะของ Pre-emulsion ที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู.....50

ฉ1 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส รุ่น TA-XT2i.....60

ฉ2 ลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส.....61

ฉ3 ลักษณะกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ค่า Hardness และ Springiness โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส.....62

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โปรตีนเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ แหล่งอาหารที่ให้โปรตีนที่สำคัญได้แก่ อาหารประเภทเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ แต่เนื่องจากจำนวนประชากรมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดการขาดแคลนอาหาร จึงได้มีการหาแหล่งโปรตีนมาทดแทนโปรตีนจากสัตว์ โดยพบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนที่ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์

ถั่วเหลืองจัดเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์ และมีบทบาทในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนอยู่ในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังมีปริมาณของไขมันต่ำและย่อยง่ายจึงทำให้ถั่วเหลืองมีความสำคัญในการผลิตเป็นโปรตีนจากพืชเพื่อใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ โดยเฉลี่ยคนปกติบริโภคถั่วเหลืองเพียงวันละ 150 กรัม ก็เพียงพอต่อความต้องการโปรตีนของร่างกาย นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่สูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไขมันที่ดีและมีประโยชน์ต่อการบริโภค (Essential Fatty acids) ซึ่งก็คือ ไลโนเลอิค และไลโนเลนิค ในปริมาณที่สูงถึง 30-40 เปอร์เซ็นต์

ในประเทศจีนและญี่ปุ่นมีการใช้ถั่วเหลืองเป็นแหล่งอาหารแทนเนื้อสัตว์ในลักษณะของเต้าหู้ ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงเนื้อสัตว์ แต่เนื่องจากเต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน จึงได้มีการพัฒนาให้อยู่ในรูปของผงเต้าหู้ ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานและสะดวกในการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทน ปัจจุบันได้มีการทดลองนำผงเต้าหู้มาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชันแทนโปรตีนถั่วเหลืองสกัด เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นถั่วที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ โดยนำคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของผงเต้าหู้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเกิดอิมัลชัน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากผงเต้าหู้มีขั้นตอนและวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และมีคุณค่าทางโภชนาการ จึงควรพัฒนาการผลิตผงเต้าหู้เพื่อใช้ภายในประเทศ ทดแทนการใช้โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากรรมวิธีการผลิตผงเต้าหู้ ปริมาณผงเต้าหู้ น้ำ และน้ำมัน ในการเตรียม Pre-emulsion ที่เหมาะสม ปริมาณ Pre-emulsion ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู และอายุการเก็บรักษา

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงเต้าหู้

1.3.2 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผงเต้าหู้

1.3.3 เพื่อศึกษาหาวิธีการและปริมาณของผงเต้าหู้ที่ใช้ในการผลิตลูกชิ้นหมู

บทที่ 2
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โปรตีนจากพืชเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพรองโปรตีนจากสัตว์ เนื่องจากยังขาดกรดอะมิโนที่สำคัญบางชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะพวกกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ปริมาณโปรตีนในพืชนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดและส่วนของพืช พืชที่จัดว่ามีโปรตีนมากที่สุดคือ พืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะถั่วเหลืองซึ่งจัดได้ว่ามีโปรตีนที่มีคุณภาพสูง และมีคุณค่าทางอาหารทัดเทียมกับเนื้อสัตว์ และราคาค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ ถั่วเหลืองจะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ (Smith and Circle. 1980) โดยส่วนมากจะเป็นโปรตีนพวกโกลบูลิน ส่วนผักและผลไม้ต่างๆ จะมีปริมาณโปรตีนอยู่น้อยมาก คือ จะมีอยู่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ถั่วเหลืองสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายหลายประเภท เช่น นมถั่วเหลือง (soy milk) เต้าหู้ (tofu) และผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลือง ได้แก่ แป้งถั่วเหลือง (soy flour) โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (soy protein concentrate) และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate; SPI) เป็นต้น

2.1 ผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลือง

2.1.1 แป้งถั่วเหลือง (Soy flour) คือการนำเอาส่วนของเนื้อถั่วเหลืองที่อาจมีไขมันอยู่เต็มหรือเนื้อถั่วเหลืองที่ถูกสกัดเอาไขมันออกแล้วไปผ่านขั้นตอนการบดละเอียดซึ่งความละเอียดของแป้ง (flour) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดโดย Soy Food Research Council โดยกำหนดไว้ว่าจะต้องมีไม่น้อยกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งผ่านตะแกรงร่อน U.S. No. 100 mesh ของตะแกรงมาตรฐาน (Liu. 1997) โดยมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.1 ปัจจุบันการใช้ถั่วเหลืองในรูปของแป้งถั่วเหลืองมีแนวโน้มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการกระจายความรู้ความเข้าใจในการทำแป้งถั่วเหลืองไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหารเสริมเด็กอ่อน อุตสาหกรรมทำขนมอบ และอุตสาหกรรมการทำน้ำนมถั่วเหลือง เป็นต้น สามารถแบ่งชนิดของแป้งถั่วเหลืองได้ดังนี้ (วันชัย สมชิต. 2527)

2.1.1.1 แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full fat soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่ทำมาจากถั่วเหลืองที่กำจัดเปลือกออกแล้วผ่านขั้นตอนการบดให้ละเอียดเป็นไปตามข้อกำหนดและมีส่วนประกอบไขมันอยู่ไม่ต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2.1)

2.1.1.2 แป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมัน (Defatted soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่ทำการเอาเปลือกออกและผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว ผ่านการบดให้เป็นไปตามข้อกำหนด โดยปกติแล้วจะมีไขมันอยู่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

2.1.1.3 แป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันน้อย (Low fat soy flour) คือแป้งถั่วเหลืองที่ทำจากการเติมไขมันลงไปในแป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมัน (Refatting) ให้มีปริมาณตามต้องการ โดยทั่วไปจะมีไขมันอยู่ในช่วง 4.5-9 เปอร์เซ็นต์

2.1.1.4 Lecithinated soy flour ซึ่งเป็นแป้งชนิดที่เติม lecithin ลงไปในแป้งถั่วเหลืองปราศจากไขมัน โดยให้มีระดับต่างๆ อาจสูงถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์

2.1.1.5 Enzyme active soy flour โดยทั่วไปจะหมายถึงแป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็มหรือแป้งถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมันที่ผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนเล็กน้อยไม่พอในการทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในถั่วเหลือง

2.1.1.6 แป้งถั่วเหลืองชนิดอื่นๆ เป็นแป้งถั่วเหลืองที่ทำขึ้นมาเพื่อให้เป็นไปตามลักษณะการใช้งานอื่นๆ เช่น แป้งถั่วเหลืองชนิดที่มีโปรตีนสูง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำมาจากการผสมระหว่าง 70 เปอร์เซ็นต์ Protein concentrate กับ 50 เปอร์เซ็นต์ Defatted soy flour

ในขั้นตอนของการทำแป้งถั่วเหลืองนั้นจำเป็นต้องผ่านความร้อนไม่ตอนใดก็ตอนหนึ่ง เช่น การเอาเปลือกออก การอบ การบด ทั้งนี้ก็เพื่อจุดประสงค์ตามต้องการ ผลของความร้อนนี้จะมีต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กลิ่น สี คุณค่าทางโภชนาการของแป้งถั่วเหลือง และการละลายของโปรตีนในถั่วเหลือง ในเรื่องของผลที่มีต่อการละลายของโปรตีนอันเนื่องมาจากความร้อนนี้จะมีผลต่อเนื่องไปยังการนำแป้งถั่วเหลืองนั้นไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกด้วย เช่น การนำไปทำเป็นเต้าหู้ ถ้าการละลายของโปรตีนต่ำอันเนื่องมาจากความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพต่างไป

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
ความชื้น	5.0
โปรตีน	42.0
ไขมัน	22.0
เส้นใย	4.0
เถ้า	5.2
คาร์โบไฮเดรต	21.8

ที่มา : วันชัย (2527)

ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม
ที่มา : Liu (1997)

2.1.2 โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (Soy Protein Concentrate : SPC) การทำ SPC เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยนับว่ายังไม่มีการทำกัน SPC นับเป็น Food ingredient ชนิดหนึ่งที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมทำไส้กรอก เนื้อเทียม ขนมอบต่างๆ ปัจจุบันเราต้องสั่งซื้อ SPC เข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งปริมาณการใช้นับว่ายังไม่มากพอในการที่จะประกอบเป็นอุตสาหกรรม คำจำกัดความของ SPC ระบุไว้ว่า SPC เป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากถั่วเหลืองที่มีคุณภาพสูง สะอาด และผ่านการเอาเปลือกออก รวมทั้งผ่านขั้นตอนการสกัดเอา ไขมัน และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนที่ละลายน้ำได้ออกแล้ว ทั้งนี้ต้องมีโปรตีน อยู่ไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ในลักษณะแห้ง (Moisture free basis) สำหรับ SPC ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดที่มาจากการสั่งซื้อมักจะมีองค์ประกอบต่างๆ (Liu. 1997) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
โปรตีน	65-72
ความชื้น	3-7
ไขมัน	2
เถ้า	4-7
ไยอาหาร	2.7-5
คาร์โบไฮเดรต	Absent
สี	cream

ที่มา : วันชัย (2527)

ส่วนที่เป็น Insoluble polysaccharides ส่วนใหญ่ได้แก่ Arabinogalactan และ acidic pectin type นอกจากนั้นยังมี galactomannan, xylan, hemicellulose และ cellulose จากเปลือก (กรณีที่กำจัดเปลือกออกไม่หมด)

2.1.3 โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy Protein Isolate : SPI) การทำ SPI เป็นขั้นตอนต่อไปอีกขั้นหนึ่งจากการทำ SPC เพื่อที่จะทำให้โปรตีนมีความบริสุทธิ์โดยการกำจัดพวก water insoluble polysaccharides และ water soluble sugar รวมทั้งสาร minor constitutents อื่นๆ ขั้นตอนการผลิตจะเริ่มจากการใช้แป้งถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมัน และมีค่าการละลายของโปรตีนสูงมาละลายน้ำ และปรับให้อยู่ในสภาวะที่เป็นด่างเล็กน้อย (pH 7-9) ด้วยด่างที่เจือจาง โดยรักษาอุณหภูมิที่ 50-55 องศาเซลเซียส จากนั้นก็นำมาผ่านการแยกเอาส่วนที่ไม่ละลายออกไปโดยการกรอง (ส่วนที่เป็นกากได้แก่พวก water insoluble polysaccharides และบางส่วนของโปรตีน) จากนั้นนำส่วนที่กรองได้มาปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4.5 (Isoelectric region) ด้วยกรด (food grade acid) ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ก็จะตกตะกอน จากนั้นกรองตะกอนออกและล้างด้วยน้ำ ถ้านำไปอบแห้งเลยในช่วงนี้จะได้เป็น Isoelectric Protein แต่ถ้านำตะกอนโปรตีนที่ล้างแล้วไปละลายน้ำและปรับสภาพให้เป็นกลาง (Neutralize) ก่อน แล้วจึงนำไปทำให้แห้งโดยการ Spray dying ก็จะได้เป็น SPI ที่ละลายน้ำได้ดีกว่า และง่ายต่อการรวมตัวในอาหาร (Liu. 1997)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
โปรตีน	92-94
ความชื้น	4-7
ไขอาหาร	0.1-0.2
เถ้า	2-3.8
pH (1:10 aqueous dispersion)	6.8-7.1

ที่มา : วันชัย (2527)

โปรตีนถั่วเหลืองสามารถนำไปใช้ผลิตอาหารต่างๆ ได้มากมาย เช่น แป้งถั่วเหลือง สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นและโปรตีนถั่วเหลืองสกัด สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนและความสามารถในการละลายสูง โดยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดสามารถนำไปผลิตอาหารเด็กอ่อน และเครื่องดื่มต่างๆ เช่น เครื่องดื่มแทนนมวัว ในกรณีของคนที่แพ้นมวัวหรือผู้ป่วยเฉพาะโรค และสามารถทดแทนโปรตีนจากไข่และเนื้อสัตว์ได้

2.2 การใช้โปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์อาหาร

2.2.1 ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ มีการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่ม และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยโปรตีนถั่วเหลืองทำหน้าที่เช่นเดียวกับโปรตีนในเนื้อสัตว์ ซึ่งจะทำให้เกิดอิมัลชัน ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน การเกิดเจล เป็นต้น (Zayas. 1997) ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ความแน่นเนื้อ และความรู้สึกในปากของผลิตภัณฑ์ การเติมโปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เช่น ไส้กรอก ลูกชิ้น ฟรังเฟอร์เตอร์ และโบโลญ่า เป็นต้น จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น โดยโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยอุ้มน้ำและน้ำมันไว้ และช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ (Rahardjo *et al.* 1994; Lecomte *et al.* 1993; Lin and Mei. 2000)

2.2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบ การใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์พวกขนมปังในระยะแรกๆ จะเป็นการเติมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยจะเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนไลซีนในผลิตภัณฑ์ ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้โปรตีนถั่วเหลืองทดแทนโปรตีนจากไข่ขาว ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยในการเกิดโฟมและการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ โดยช่วยให้รักษาปริมาณน้ำ

ในผลิตภัณฑ์ได้ดี จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความนุ่ม โดยการเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพียง 1 เปอร์เซ็นต์สามารถทำให้ขนมปังมีความชื้นเพิ่มขึ้น 4-5 เปอร์เซ็นต์ (Shen and Jackson. 1991)

2.2.3 ผลิตภัณฑ์นม โปรตีนถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์นมและผลิตภัณฑ์เลียนแบบนม ได้แก่ ไอศกรีม ครีมเทียม นมเทียม ชีส และโยเกิร์ต เป็นต้น โปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติด้านหน้าที่ การนำโปรตีนถั่วเหลืองมาใช้ในอาหารเด็กในกรณีที่เด็กแพ้นมวัว โดยจะมีการเติมน้ำมันพืช ไซรับ วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ ลงในโปรตีนถั่วเหลืองสกัด เพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำนมเทียม

2.2.4 ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้า (breakfast cereals) สามารถเติมแป้งถั่วเหลืองลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนไลซีน และทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 15-20 เปอร์เซ็นต์ (Liu. 1997) โดยโปรตีนถั่วเหลืองสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารเด็กอ่อนได้ ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบโดยส่วนใหญ่จะให้เติมเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และลดการสูญเสียน้ำหนัก เช่น ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ขนมหวาน เนื้อเทียม น้ำนมเทียม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนถั่วเหลืองมาใช้ในผลิตภัณฑ์พวกซุปและซอส เป็นต้น

2.3 เต้าหู้

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่คนเอเชียรู้จัก และบริโภคมาเป็นระยะเวลานาน และเป็นแหล่งอาหารที่ดีของโปรตีนซึ่งมีราคาถูกและย่อยง่าย เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตกตะกอนโปรตีนโดยสารตกตะตอน สารตกตะกอนที่นิยม ได้แก่ $MgSO_4.7H_2O$, $CaSO_4.2H_2O$, $CaCl_2.H_2O$ และ Glucono-δ-lactone

เต้าหู้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเนื้อไม่มีกระดูก (The Meat without a Bone) มีสีขาว อ่อนนุ่ม อุ้มน้ำและย่อยง่าย มีโปรตีนสูง ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง สามารถใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ต่างๆ ได้ และยังสามารถใช้ประกอบอาหารได้หลายอย่าง เช่น แกงจืดเต้าหู้ เต้าหู้ทอด เป็นต้น (สมชาย ประภาวัติ. 2538)

เต้าหู้ในแต่ละประเทศมีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น ประเทศจีนเรียกว่า Toufu หรือ Tao-fu เกาหลีเรียก Tufu ส่วนในญี่ปุ่นเรียก โตฟู (Tofu) ซึ่งมีการบริโภคกันในปริมาณมาก จนถือได้ว่าเป็นอาหารหลักอย่างหนึ่ง และได้มีการแบ่งชนิดของโตฟูออกเป็น 2 ชนิดคือ Momen Tofu ซึ่งเป็นโตฟูที่มีการกำจัดน้ำเวย์ออกจากตะกอนของโปรตีน และ Kinugoshi-Tofu เป็นโตฟูที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนกว่า เนื่องจากไม่มีการกำจัดน้ำเวย์ออกจากตะกอนของโปรตีน (น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2540)

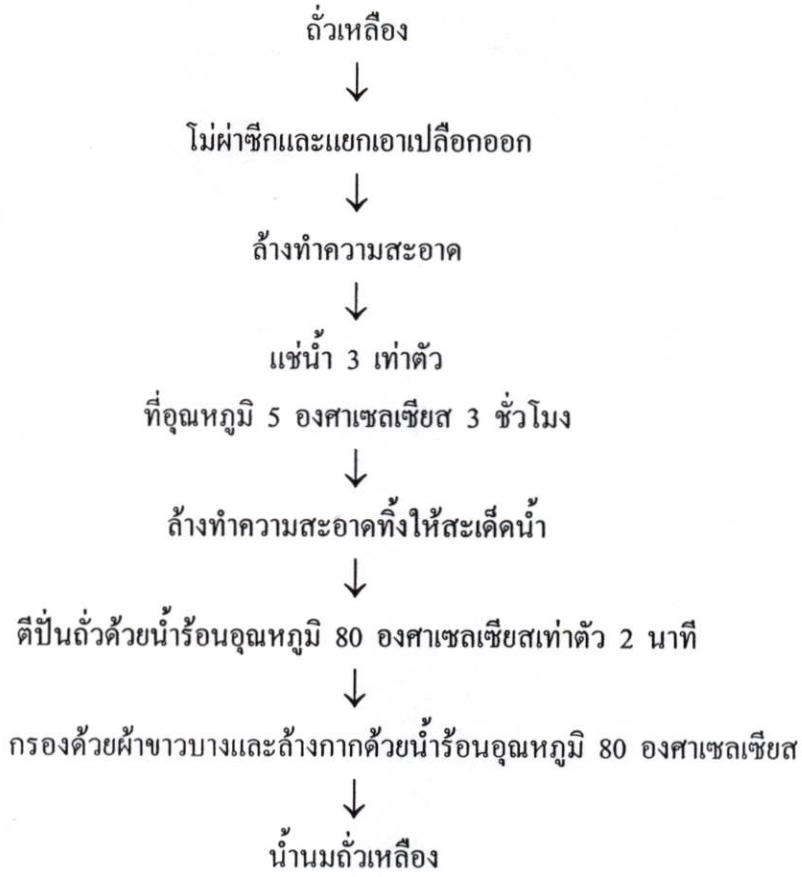
ลักษณะของเต้าหู้ในประเทศไทยมีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไปขึ้นกับกระบวนการผลิต โดยเต้าหู้สามารถผลิตให้มีลักษณะแตกต่างกันโดยการปรับปริมาณความชื้น เช่น เต้าหู้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 87-90 เปอร์เซ็นต์ จะมีผิวเรียบ และอ่อนนุ่ม ส่วนเต้าหู้ที่มีปริมาณน้ำ 50-60 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะแข็งและมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ชนิดของสารตกตะกอนก็จะส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ต่างกัน ส่วนรูปร่างและขนาดของเต้าหู้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของแม่พิมพ์ หรือภาชนะที่ใส่ เต้าหู้ที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีกลิ่น รสจืด และมีสีขาว (อุดม กาญจนปกรณ์ชัย และสมชาย ประภาวัติ. 2519)

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากคอเรสเตอรอล และเป็นอาหารที่มีพลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยถ้าได้รับโปรตีนจากเต้าหู้ 20 กรัมต่อวันแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ก็เพียงพอในการช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลในกระแสเลือดได้ (Hideo and Kawassaki. 1990) เต้าหู้ที่มีคุณภาพดี จะต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม เรียบ แน่น เกาะติดกัน ไม่เป็นยาง (rubbery) และแข็งเกินไป ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้จึงเป็นสิ่งสำคัญและมีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สภาวะต่างๆ ในการผลิตเต้าหู้ เช่น อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ช่วยให้แข็งตัว การคน และอัตราส่วนระหว่างน้ำกับถั่วเหลืองจะมีผลต่อคุณภาพและผลผลิต (yield) ของเต้าหู้ นอกจากนี้การผลิตเต้าหู้โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ จะทำให้คุณภาพและผลผลิตของเต้าหู้แตกต่างกันด้วย เนื่องจากถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน (Lim *et al.* 1990) เต้าหู้จะประกอบด้วยความชื้นประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนประมาณ 7.8 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 4.2 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 2 มิลลิกรัมต่อกรัม (Wang *et al.* 1983; Schaefer and Love. 1992)

2.3.1 การผลิตเต้าหู้

การผลิตเต้าหู้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง การตกตะกอน และการกดให้เป็นก้อน

2.3.1.1 การผลิตน้ำนมถั่วเหลือง การผลิตน้ำนมถั่วเหลืองสำหรับทำเต้าหู้มีขั้นตอนเหมือนกับการทำนมถั่วเหลือง เพื่อประโยชน์อย่างอื่นทุกประการ แต่ในระหว่างการกรองเอานมออกจะต้องนำมาทำให้ร้อนก่อนการตกตะกอน ซึ่งกระบวนการผลิตนมถั่วเหลืองทั่วๆ ไปมีวิธีการผลิต (ภาพที่ 2.2) ดังนี้



ภาพที่ 2.2 การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง
ที่มา : ปริยาพร เขียวขำ (2544)

1) การแยกเปลือกถั่วเหลือง การผลิตน้ำนมถั่วเหลืองควรแยกเอาเปลือกออกก่อนที่จะทำการแช่น้ำโดยการโม่ผ่าซีก เพื่อทำให้ใช้ระยะเวลาในการแช่ถั่วที่สั้นลง นอกจากนี้ยังทำให้ได้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีสีขาว และมีกลิ่นถั่วลดลง (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528; กุลวดี ตรองพาณิชย์ และคณะ. 2532; Liu. 1997)

2) การแช่ถั่วเหลือง ก่อนการแช่ถั่วเหลืองควรทำความสะอาดถั่วเหลืองก่อน เพื่อล้างฝุ่นและสิ่งสกปรกออกจากถั่วเหลือง การแช่ถั่วทำให้ได้เนื้อถั่วเหลืองที่นิ่ม บดและสกัดของแข็งและโปรตีนที่ละลายน้ำได้มาก ทำให้มีปริมาณผลผลิตที่สูง ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองไม่เกิดรสขม ไม่มีสีคล้ำ และมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวขึ้น (Shurtleff and Aoyagi. 1979) อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่วเหลืองจะทำให้ถั่วเหลืองเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างกันไป โดยที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ถั่วเหลืองดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528; มัณฑนา ร่วมรักษ์ และคณะ. 2529) ในระหว่างการแช่ถั่วเหลืองจะทำให้เกิดการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำ โดยพบว่าเมื่อแช่ถั่วเหลืองเป็นเวลานานจะเกิดการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำมากขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ (Liu. 1997) น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป (2540) พบว่าการแช่ถั่วเหลืองที่

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ถั่วเหลืองอิ่มตัวเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถั่วเหลืองจะอิ่มตัวที่เวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ถั่วเหลืองจะอิ่มตัวเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และที่อุณหภูมินี้สามารถแช่ถั่วเหลืองได้นานถึง 24 ชั่วโมงโดยถั่วเหลืองไม่มีการเปลี่ยนแปลง และทำให้สามารถสกัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ออกมาได้มากที่สุด

Nelson (1976) ศึกษาการลดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลือง โดยการแช่ถั่วเหลืองในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาฟาเรนไฮต์ พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จะไม่มีกลิ่นถั่ว

ปริยาพร เขียวขำ (2544) ศึกษาการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตในระหว่างการแช่ถั่วเหลือง พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.50 เปอร์เซ็นต์ (w/w ของถั่วเหลืองแห้ง) จะให้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วน้อยและไม่มีรสเฝื่อน การที่โซเดียมไบคาร์บอเนตมีผลในการลดกลิ่นถั่วเหลืองเนื่องมาจากโซเดียมไบคาร์บอเนตจะไปทำการลดแอคติวิตีของเอนไซม์ โดยจะไปทำให้ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้น (Borhan and Synder. 1979)

Borhon and Synder (1979) พบว่าการแช่ถั่วเหลืองในสารละลายเอทธานอล 30-50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วได้

3) การบดถั่วเหลือง ควรใช้น้ำร้อนในการบดถั่วเหลือง เนื่องจากจะช่วยลดกลิ่นถั่วเหลืองได้ดีกว่าการใช้น้ำเย็น เพราะความร้อนจะไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528) ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส (Bohan and Synder. 1979) เนื่องจากน้ำร้อนที่ใช้จะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว

ปริยาพร เขียวขำ (2544) ศึกษาการลดกลิ่นถั่วเหลืองโดยการใช้ $CaCO_3$ พบว่าการเติม $CaCO_3$ 0.10 เปอร์เซ็นต์ (w/w ของถั่วเหลืองแห้ง) ในระหว่างการบด จะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่กลิ่นถั่วน้อย ไม่มีรสเฝื่อน และมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น

Wilken *et al.* (1976) พบว่าการบดถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส จะมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วทำให้นมถั่วเหลืองที่ได้มีรสชาติดี

Che man *et al.* (1989) ศึกษาการลดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลืองโดยการบดถั่วเหลืองด้วยกรดที่ pH 3.0 พบว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเนื่องจากที่ pH ต่ำสามารถทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ

4) การกรองกาก การกรองกากอาจทำก่อนการต้มหรือหลังจากการต้มขึ้นอยู่กับความนิยม การต้มก่อนการกรองจะทำให้ความหนืดของถั่วเหลืองลดลงทำให้กรองง่าย แต่อาจมีผลต่อการละลายของโปรตีน (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528) ส่วนการกรองก่อนการต้ม กากที่กรองได้ยังคงประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายน้ำได้ จึงควรทำการล้างกากต่อด้วยน้ำร้อนเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต (Liu. 1997)

2.3.1.2 การตกตะกอนโปรตีน หลังจากได้น้ำนมถั่วเหลืองแล้วจึงนำมาตกตะกอนด้วยโลหะบางชนิด เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}) หรือแมกนีเซียม (Mg^{2+}) สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน โดยจะเกิดการสร้างพันธะเคมีภายในโมเลกุลของโปรตีน และทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน และตกตะกอนลงมา ซึ่งในการตกตะกอนนอกจากโปรตีนจะตกตะกอนลงมาแล้วยังมีส่วนของไขมันตกตะกอนลงมาด้วย จึงทำให้เต้าหู้ที่ได้มีไขมันประกอบอยู่ด้วย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณผลผลิต โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงจะทำให้เต้าหู้ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและมีปริมาณของเต้าหู้ลดลง (Beddows and Wang. 1987a; Ohara *et al.* 1992; Cai and Chong. 1997; Shih *et al.* 1997) สารตกตะกอนต่างชนิดกันจะทำให้ได้ลักษณะของเต้าหู้ที่ต่างกัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตกตะกอนที่เหมาะสมทำให้เวย์ (whey) ใส ถ้าน้อยเกินไปเวย์จะขุ่นโปรตีนตกตะกอนไม่หมด ถ้าสูงเกินไปส่งผลให้เวย์ มีรสขมและมีสีเหลืองใส เต้าหู้ที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง และปริมาณเต้าหู้ลดลง (Catharing *et al.* 1999; ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528; สมชาย ประภาวัติ และคณะ. 2525) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ของถั่วเหลืองด้วย (Sun and Breene. 1991) ปริมาณของสารตกตะกอนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 2-3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของถั่วแห้ง (Shurtleff and Aoyagi. 1979) โดยสารตกตะกอนที่นิยมใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็งมีดังนี้

1) สารประกอบคลอไรด์ ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้มีลักษณะแข็ง มีปริมาณแคลเซียมสูง มีกลิ่นรสที่ดี สามารถตกตะกอนโปรตีนได้อย่างรวดเร็ว เหมาะแก่การผลิตเต้าหู้แข็ง ปริมาณที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แข็ง คือ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของถั่วแห้ง (Shurtleff and Aoyagi. 1979; สมจิต อ่อนเหม และเพลินใจ ตั้งคณะกุล. 2538)

2) สารประกอบซัลเฟต เป็นสารตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับผลิตเต้าหู้อ่อน เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ที่ได้มีลักษณะอ่อนอุ้มน้ำได้มาก แต่สารตกตะกอนชนิดนี้ก็สามารถนำมาผลิตเต้าหู้แข็งได้ โดยใช้ปริมาณสารตกตะกอน 2.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักถั่วแห้ง สารประกอบซัลเฟตใช้ง่าย และให้ปริมาณผลผลิตสูง (Shurtleff and Aoyagi. 1979) สารตกตะกอนซัลเฟตที่นิยมใช้ ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ปริมาณที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 0.02-0.04 โมล่าร์

จะให้เต้าหู้ที่มีลักษณะที่ค่อนข้างแข็ง สามารถให้ปริมาณผลผลิต 4.45-5.26 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักถั่วแห้ง สารประกอบซัลเฟตอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) หรือที่เรียกกันว่า ดีเกลือ หรือ ยิบซัม เป็นสารตกตะกอนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้มีลักษณะแข็ง ตกตะกอนโปรตีนได้ช้ากว่าสารประกอบคลอไรด์ ให้ปริมาณผลผลิตสูงเช่นเดียวกับแคลเซียมซัลเฟต (Shurtleff and Aoyagi. 1979)

3) แลคโตน (Lactone; GDL) เป็นสารตกตะกอนที่มีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารประกอบคลอไรด์ และสารประกอบซัลเฟต การทำงานของแลคโตนจะต่างจากการทำงานของสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต โดยสารแลคโตนสามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดกลูโคนิคจะให้โปรตรอนทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน ส่วนสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตตัวอิออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) ทำให้โปรตีนตกตะกอน สารแลคโตนเหมาะสำหรับผลิตเต้าหู้หลอด (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528) ไม่นิยมนำมาผลิตเต้าหู้แข็ง เนื่องจากในการผลิตเต้าหู้แข็งจะใช้สารตกตะกอนปริมาณที่สูงกว่าการผลิตเต้าหู้หลอดจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสเปรี้ยว ซึ่งเป็นที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค ปริมาณของสารตกตะกอนชนิดนี้ที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้หลอด คือ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักถั่วแห้ง (น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2540)

อุณหภูมิที่ใช้ในการตกตะกอนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ การตกตะกอนที่อุณหภูมิสูงโปรตีนจะมีพลังงานกระตุ้นสูง (active energy) ทำให้มีการตกตะกอนเร็ว ส่งผลให้เต้าหู้อุ้มน้ำได้น้อยเต้าหู้จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและหยาบ ปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าการตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าตกตะกอนโปรตีนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการตกตะกอนที่ไม่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนมีน้ำสูง (Catharing *et al.* 1999) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนควรอยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส (Beddows and Wong. 1987b) ในการผลิตเต้าหู้อ่อนจะใช้เวลาในการตกตะกอนประมาณ 30 นาที ส่วนเต้าหู้แข็งจะใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที (Shi and Ren. 1993)

นอกจากนี้การให้ความร้อนยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา ทำลายสารบางชนิดในถั่วเหลืองที่ทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารน้อยลง และยังทำลายเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว ความร้อนยังทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติทำให้ย่อยง่ายขึ้น (Liu. 1997; Catharing. 1999)

2.3.1.3 การกดให้เป็นก้อน การกดเป็นการทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อนแข็งตามลักษณะที่ต้องการ และทำให้ปริมาณความชื้นของเต้าหู้ลดลง ในการเตรียมพิมพ์จะต้องปูผ้าขาวบางลงบนพิมพ์ จากนั้นจึงตักก้อนตะกอนโปรตีนใส่ลงในพิมพ์ โดยต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ทำให้ตะกอนแตก ถ้าน้ำเวย์ไม่ใสหรือผ้าขาวบางไม่สะอาด น้ำเวย์จะผ่านได้ยาก เป็นเหตุให้แกะเต้าหู้ออกจากพิมพ์ได้ยาก เมื่อตักก้อนตะกอนใส่พิมพ์แล้วปิดด้วยผ้าขาวบางอีกชั้น จากนั้น

จึงทับด้วยของหนัก 2-4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักเป็น 5-10 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10-15 นาที หรือจนน้ำเวย์หยุดไหล (Shurtleff and Aoyagi. 1979) ส่วนเต้าหู้อ่อนจะกดทับด้วยน้ำหนัก 2-4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที (Beddows and Wong. 1987a) หลังจากกดจนได้เวลาแล้วยกพิมพ์ใส่ลงในน้ำเย็นคว่ำเต้าหู้ออกแช่น้ำจะช่วยให้แกะเต้าหู้ออกจากพิมพ์ได้ง่ายไม่แตกและยังช่วยทำให้เต้าหู้เย็นทันทีเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในการกำจัดเวย์บางส่วนออกก่อนการกดทับจะช่วยให้เต้าหู้สามารถจับตัวกันได้ดีขึ้น

2.4 ผงเต้าหู้ (Tofu powder)

เต้าหู้เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญแหล่งหนึ่ง แต่เนื่องจากเต้าหู้มีปริมาณน้ำสูง เกิดการเน่าเสียได้ง่าย จึงมีการปรับปรุงและพัฒนาการผลิตผงเต้าหู้ เพื่อลดปัญหาการสูญเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยการนำเต้าหู้มาลดความชื้น และบดให้ละเอียด สามารถเก็บไว้ได้นานถึง 6-12 เดือน (Smith and Circle. 1980) ซึ่งถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำโปรตีนถั่วเหลืองในรูปของเต้าหู้มาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากกระบวนการผลิตเต้าหู้เป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน มีราคาถูก ซึ่งสามารถผลิตได้เองในประเทศ

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย (2540) ได้ศึกษาการผลิตผงเต้าหู้โดยใช้ $CaCl_2$ และ $CaSO_4$ เป็นสารตกตะกอน โดยนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ผงเต้าหู้ที่มีความชื้นต่ำ และมีปริมาณโปรตีน 55-57 เปอร์เซ็นต์

Chung and Kim (1996) ผลิตผงเต้าหู้โดยใช้ $CaCl_2$ และ Glucono-δ-lactone (GDL) แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสทดสอบคุณสมบัติทางด้านการละลายและการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เปรียบเทียบกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่าผงเต้าหู้ทั้งสองชนิดจะมีการละลายและการเป็นอิมัลซิไฟเออร์น้อยกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมี NaCl โดยการละลายและการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนถั่วเหลืองจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของเกลือ (Zayas. 1997)

2.5 การใช้โปรตีนถั่วเหลืองและผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

Lecomte *et al* (1993) ศึกษาการใช้โปรตีนในรูปของแป้งถั่วเหลือง โปรตีนเข้มข้น และโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ในผลิตภัณฑ์ฟรังเฟอร์เตอร์ โดยเติมในลักษณะที่เป็นผง และ Pre-emulsion พบว่าการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ความชื้นมากกว่าตัวอย่างควบคุม โดยการเติมโปรตีนถั่วเหลืองจะช่วยให้มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ และมีปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สัดส่วนของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง

Rahardjo *et al* (1994) ศึกษาการใช้นมถั่วเหลืองผงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน พบว่าเมื่อเติมนมถั่วเหลืองผงในไส้กรอกหมู 3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูที่ได้มีปริมาณไขมันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน และทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนและความชื้นสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมนมถั่วเหลืองผงในผลิตภัณฑ์จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นจึงทำให้มีปริมาณความชื้นมากขึ้น และทำให้สัดส่วนของไขมันในสูตรที่มีการเติมนมถั่วเหลืองลดลง

การเติมโปรตีนถั่วเหลืองในรูปของผงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วที่แรงกว่าการเติมแบบ Pre-emulsion เนื่องจากไขมันที่ใช้ทำให้เกิด Pre-emulsion จะ encapsulate ส่วนที่ทำให้เกิดกลิ่นในถั่วเหลือง จึงทำให้การเติมลักษณะ Pre-emulsion จะให้เกิดถั่วที่น้อยกว่าการเติมลักษณะผง และการเติมแป้งถั่วเหลืองจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นถั่วแรงกว่าโปรตีนเข้มข้น และโปรตีนสกัดตามลำดับ (Lecomte *et al.* 1993)

Lin และ Mei (2000) ศึกษาการเติมกัม และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ในผลิตภัณฑ์ meat batter โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65.6 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมกัม และ SPI ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณผลผลิตสูงขึ้น เนื่องจากกัม และ SPI ช่วยให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น และการเติม SPI จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยทำให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสัดส่วนของปริมาณไขมันลดลง

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

นอกจากนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองในอาหารคือ สารยับยั้งคุณค่าทางอาหาร (antinutrition) สารพิษ (flaus faction) และกลิ่นถั่ว (beany flavor) ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ไลโปออกซิเดส (lipoxynase) ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะมีในโปรตีนเข้มข้นมากกว่าโปรตีนสกัด เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะเป็นอุปสรรคสำคัญในการแปรรูป และการยอมรับของผู้บริโภคซึ่งปัญหาดังกล่าวในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์จึงมีการเติมโปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในเปอร์เซ็นต์ที่น้อย นอกจากนี้การผลิตโปรตีนสกัดยังคงมีค่าใช้จ่ายสูง ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตโปรตีนสกัดส่วนใหญ่จึงนำเข้าจากต่างประเทศ จึงได้มีการทดลองนำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ง่าย และมีต้นทุนในการผลิตต่ำมาทดแทนการใช้โปรตีนถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

Jeng *et al.* (1988) ศึกษาการเติมเต้าหู้เพื่อทดแทนเนื้อสัตว์และไขมันบางส่วนในโบโลญ่าโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น พบว่าเมื่อเติมเต้าหู้และโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นจะส่งผลให้โบโลญ่าที่ได้มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมีความชื้นมากกว่าตัวอย่างควบคุม และทำให้มีสัดส่วนของปริมาณไขมันน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม โปรตีนที่เติมลงไปในรูปของเต้าหู้จะช่วยให้โบโลญ่ามีคุณสมบัติการเกิดอิมัลชัน และความสามารถในการอุ้มน้ำของโบโลญ่าดีขึ้น

เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าโบโลญ่าที่มีการเติมผงเต้าหู้ 31.6 เปอร์เซ็นต์ มีความเหนียวและกลิ่นถั่วมากกว่าตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการผงเต้าหู้ 15.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่ที่มีการเติมผงเต้าหู้ มีความเหนียวและกลิ่นถั่วที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนโบโลญ่าที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นส่งผลให้โบโลญ่ามีกลิ่นถั่วที่แรงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

Kai-Lai *et al.* (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์ฟรังเฟอร์เตอร์เพื่อทดแทนไขมันบางส่วนโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งได้แก่ฟรังเฟอร์เตอร์สูตรปกติ (Regular frankfurters : RF) และฟรังเฟอร์เตอร์สูตรไขมันต่ำ (Lean frankfurters : LF) พบว่าฟรังเฟอร์เตอร์ที่เติมผงเต้าหู้มีปริมาณโปรตีนและความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างสูตรปกติและตัวอย่างสูตรปกติที่มีการเติมผงเต้าหู้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส สี และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ และตัวอย่างสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมผงเต้าหู้ผู้ทดสอบให้การยอมรับรวมของสูตรไขมันต่ำที่มีการเติมเต้าหู้มากกว่าสูตรไขมันต่ำ ส่วนการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าฟรังเฟอร์เตอร์สูตรไขมันต่ำที่เติมและไม่เติมผงเต้าหู้ให้ค่า Hardness Gumminess Chewiness และ Fracturability แตกต่างกันกันทางสถิติ โดยสูตรไขมันต่ำจะให้ค่าที่น้อยกว่า

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Kai-Lai *et al.* (1997) ศึกษาการเติมผงเต้าหู้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเพื่อทดแทนไขมันบางส่วน โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมได้แก่ สูตรปกติ สูตรไขมันต่ำ และตัวอย่างที่มีการเติมคาราจีแนน พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมผงเต้าหู้จะส่งผลให้ไส้กรอกมีปริมาณโปรตีนและปริมาณความชื้นสูงขึ้น จึงทำให้มีสัดส่วนของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์จะลดลง เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่เติมผงเต้าหู้ 3 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสความฉ่ำน้ำ และการยอมรับรวมไม่แตกต่างกับตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ ส่วนทางด้านกลิ่นรสทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าค่า Hardness Cohesiveness Springiness Gumminess และ Chewiness ของไส้กรอกที่มีการเติมเต้าหูผง มีค่าสูงกว่าไส้กรอกสูตรปกติและและสูตรที่เติมคาราจีแนน ส่วนไส้กรอกหมูสูตรไขมันต่ำที่เติมผงเต้าหู้จะให้ค่าดังกล่าวสูงกว่าไส้กรอกหมูสูตรปกติ สูตรไขมันต่ำที่เติมคาราจีแนน และสูตรไขมันต่ำ

สุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และ มลศิริ วีโรทัย (2540) ทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูสูตรที่เติม SPI เปรียบเทียบกับการเติมผงเต้าหู้ พบว่าเมื่อเติมผงเต้าหู้ทดแทนเนื้อหมู 15 เปอร์เซ็นต์ ผู้ประเมินไม่สามารถบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์หมูสูตรปกติได้ และเมื่อทำการทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์โดยใช้ preference test พบว่าคุณสมบัติด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เบเกอร์หมูที่เติม SPI และผงเต้าหู้ไม่มีความแตกต่างกัน

2.6 ลูกชิ้น

ลูกชิ้นเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ซึ่งขั้นตอนในการผลิตเหมือนกับการทำไส้กรอก และหมูยอ เพื่อให้เกิดส่วนผสมที่มีลักษณะเหนียว ซึ่งในขณะบดละเอียดจะต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 15 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาความคงทนของอิมัลชัน นอกจากนี้การทำลูกชิ้นให้มีคุณภาพที่ดี คือ มีความเหนียวและยืดหยุ่นดีนั้นต้องขึ้นอยู่กับเทคนิคในการปั้น คือ ต้องบีบให้แน่นก่อนที่จะตักลูกชิ้นลงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส (สุจิตรา เลิศพฤกษ์. 2531.)

ลูกชิ้นหมูเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคมีขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ยุ่งยากจัดเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อชนิดบดละเอียดอิมัลชัน ส่วนผสมของเนื้อสัตว์ลดขนาดประกอบไปด้วยเนื้อ ไขมัน โปรตีนที่ละลายได้ และบางส่วนเป็น emulsified ของไขมัน ส่วนพวกที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์ (non meat) ที่ใช้เป็น binder filler และ extender จะช่วยลดการสูญเสียน้ำ และไขมันในระหว่างการให้ความร้อน (cooking loss) และลดต้นทุนการผลิตได้ เช่น การผสมโปรตีนจากถั่วเหลือง ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย เช่น ช่วยในด้านอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชัน การอุ้มน้ำ รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ (Lecomte *et al.* 1993; Rahardjo *et al.* 1994; Lin and Mei. (2000) อิมัลชันของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดเป็นชนิด gel-type emulsion โดยมีไขมัน

43714

กระจายตัวอยู่ในโครงร่างตาข่ายเจลเมทริกส์ซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่อง ในการเกิดอิมัลชันกลุ่มที่มีขั้วของโปรตีนเกิดปฏิกิริยากับส่วนของน้ำ และมีส่วนที่ไม่มีขั้วเกิดปฏิกิริยากับน้ำมัน เกิดการฟอร์มตัวเป็นฟิล์ม แรงที่จับกันของโมเลกุลโปรตีนเป็นสองมิติสารกันเป็นร่างแห ปกติฟิล์มจะมีความหนืดและมีความยืดหยุ่นมากที่สุดเมื่อ pH เท่ากับ pI ของโปรตีน (Zayas. 1997)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ถั่วเหลือง ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 มีเปอร์เซ็นต์การงอก 92 เปอร์เซ็นต์ ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ คัดเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ และผ่านการโม่ผ่าซีกเพื่อแยกเปลือกออก

3.1.2 เนื้อหมู ส่วนสันนอก จากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.3 แป้งมันสำปะหลัง ตราช้างสามเศียร

3.1.4 เกลือ ตราปรุงทิพย์

3.1.5 ผงชูรส ตราถ้วยแดง

3.1.6 พริกไท ตรามือที่หนึ่ง

3.1.7 น้ำมันถั่วหลือง ตราองุ่น

3.1.8 สารเคมี

3.1.8.1 Calcium carbonate

3.1.8.2 Calcium chloride

3.1.8.3 Calcium sulphate

3.1.8.4 Magnesium sulphate

3.1.8.5 Sodium bicarbonate

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องที่ใช้เตรียมผงเต้าหู้

3.2.1.1 เครื่องโม่แยกเปลือกถั่วเหลือง		ไทย
3.2.1.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร	Mx-T1PN(G) National	ไต้หวัน
3.2.1.3 เครื่องชั่งชนิดหยาบ	Mettler, AE 204	สวิสเซอร์แลนด์
3.2.1.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Mettler, AE 3000	สวิสเซอร์แลนด์
3.2.1.5 เครื่องเซนตริฟิวจ์	Centrikon, T-42k	
3.2.1.6 เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer)	B.W.S-3	
3.2.1.7 รีแฟรคโตมิเตอร์	ATAGO, N-1E	ญี่ปุ่น
3.2.1.8 Hot plate		
3.2.1.9 เทอร์โมมิเตอร์		

3.2.1.10 นาฬิกาจับเวลา

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เตรียมลูกชิ้นหมู

3.2.2.1 เครื่องสับผสมอาหาร Moulinex, Masterchef 450

3.2.2.2 เครื่องปั่นผสมอาหาร Mx-T1PN(G) National ไต้หวัน

3.2.2.3 เครื่องชั่งชนิดหยาบ Mettler, AE 204 สวิสเซอร์แลนด์

3.2.2.4 เครื่องชั่งชนิดละเอียด Mettler, AE 3000 สวิสเซอร์แลนด์

3.2.2.5 Hot plate

3.2.2.6 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.2.7 นาฬิกาจับเวลา

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชัน

3.2.3.1 เครื่องเซนตริฟิวจ์ Centrikon, T-42k

3.2.3.2 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.2.3.3 นาฬิกาจับเวลา

3.2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สี

3.2.4.1 เครื่องวัดสี Minolta, CR-30D

3.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การละลายของเต้าหู้ผง

3.2.5.1 เครื่องเซนตริฟิวจ์ Centrikon, T-42k

3.2.5.2 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.2.5.3 Hot air oven

3.2.6 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.2.6.1 ถ้วยแก้ว

3.2.6.2 แก้วน้ำพลาสติก

3.2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาอายุการเก็บรักษา

3.2.7.1 ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ Sanyo ไทย

3.3 สถานที่ดำเนินงาน

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงเต้าหู้

3.4.1.1 ศึกษาผลของสารตกตะกอนต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

ศึกษาผลของสารตกตะกอน 3 ชนิด คือ แคลเซียมซัลเฟต 2.2 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียมซัลเฟต 2.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักถั่วแห้ง โดยมีวิธีการเตรียมเต้าหู้ดังภาพที่ 3.1 นำเต้าหู้มาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำเต้าหู้แห้งที่ได้มาบดด้วยเครื่อง Retsch Miller ผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh ทำการทดสอบคุณภาพของผงเต้าหู้ดังนี้

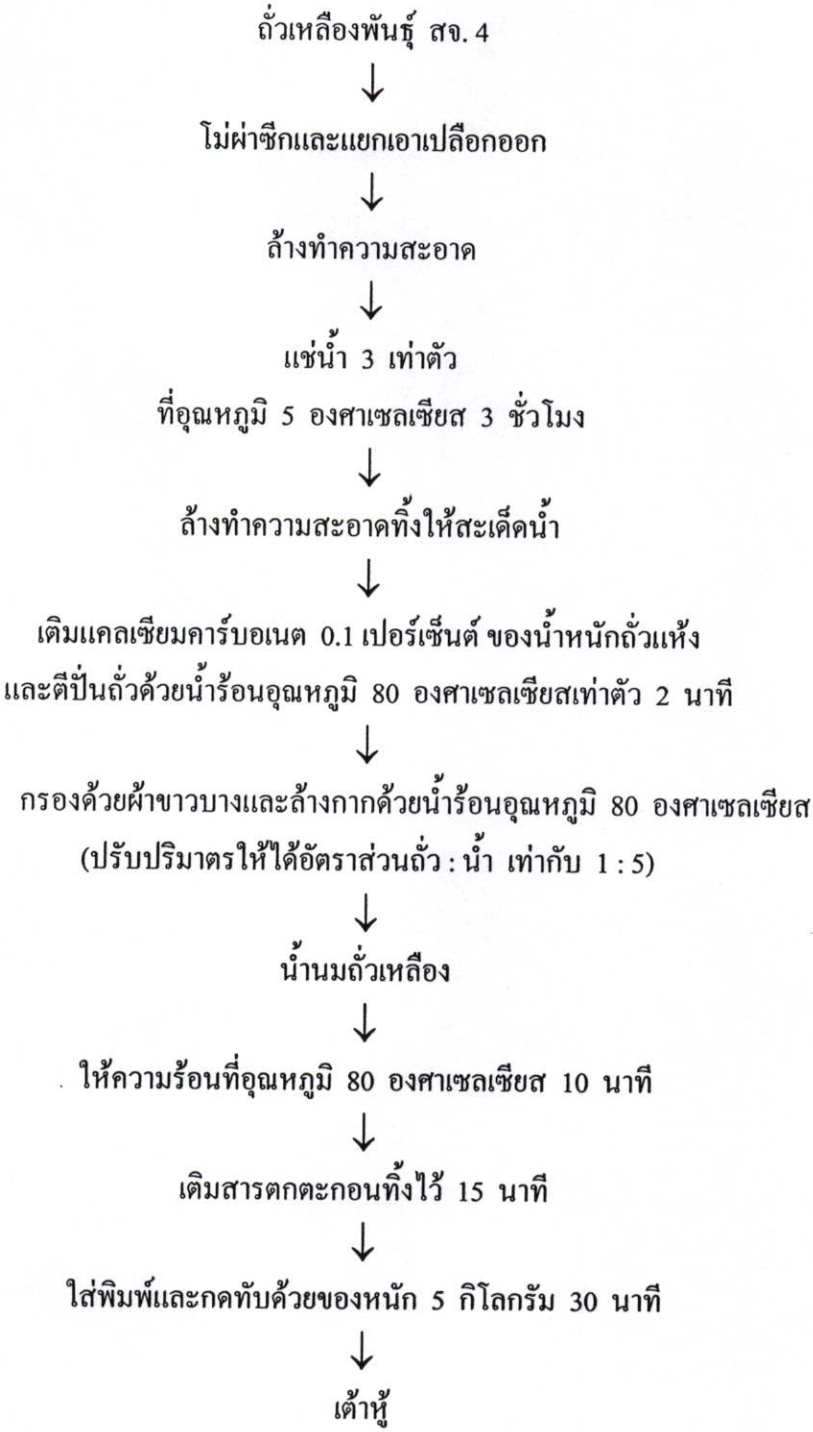
1) ค่าสี โดยใช้ Chroma meter (Minolta, CR-30D) แสดงผลในรูปของค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b)

2) การละลาย โดยใช้ผงเต้าหู้ 1 กรัมละลายน้ำในปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับให้มี pH 10.0 โดยใช้โซดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที กรองและนำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักตะกอนหลังอบแห้งเพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การละลายของผงเต้าหู้ (ดัดแปลงจากสุพรรณิการ์ วิลาวรรณ และมลศิริ วีโรทัย. 2540)

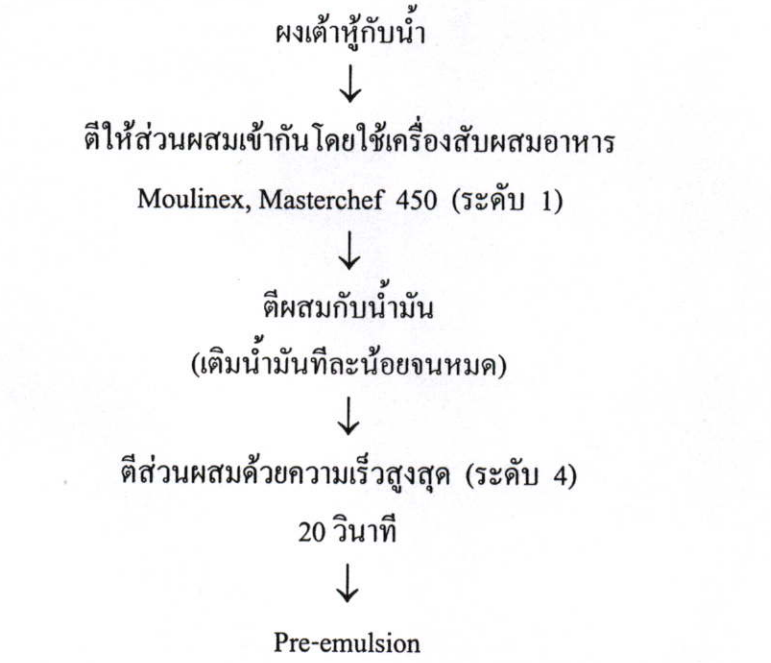
3) ความคงตัวของอิมัลชัน โดยการเตรียม Pre-emulsion ในอัตราส่วน ผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมัน เท่ากับ 1 : 1 : 1 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 ชั่วโมง แล้วนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ความคงไม่ตัวของอิมัลชันตรวจสอบจากปริมาณน้ำมันที่แยกชั้นออกมา วิธีการตรียม Pre-emulsion แสดงดังภาพที่ 3.2

4) ปริมาณผลผลิต (yield) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของผงเต้าหู้ที่ได้ต่อน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพของผงเต้าหู้เมื่อใช้สารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiples Range Test เพื่อเลือกชนิดของสารตกตะกอน ที่จะนำไปทำการศึกษาต่อในหัวข้อ 3.4.1.2



ภาพที่ 3.1 การเตรียมเต้าหู้

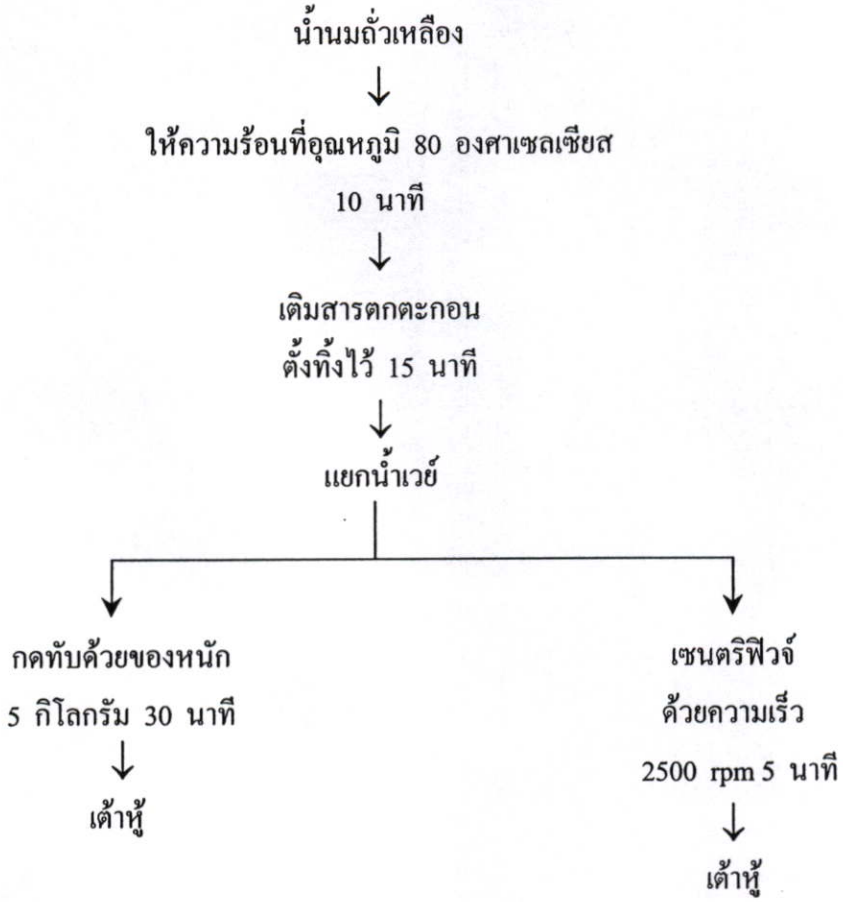


ภาพที่ 3.2 การเตรียม Pre-emulsion

3.4.1.2 การศึกษาผลของการแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการกดทับหรือการเซนตริฟิวจ์กับอุณหภูมิที่ใช้อบเต้าหู้

เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองดังภาพที่ 3.1 นำมาเติมสารตกตะกอนที่เลือกได้จากการทดลองที่ 3.4.1.1 แล้วนำมาทำการแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการกดทับหรือการเซนตริฟิวจ์ดังภาพที่ 3.3

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพผงเต้าหู้ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์จัดสิ่งทดลองแบบ 2 x 3 แฟคทอเรียล ปัจจัยหลักในการศึกษาได้แก่ วิธีการแยกน้ำเวย์ 2 วิธี (การกดทับหรือการเซนตริฟิวจ์) และอุณหภูมิที่ใช้อบ 3 ระดับ (60 70 และ 80 องศาเซลเซียส) นำผงเต้าหู้ทั้ง 6 ตัวอย่าง ไปตรวจสอบคุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกวิธีการแยกน้ำเวย์และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผงเต้าหู้ที่มีคุณภาพดีที่สุด และนำผงเต้าหู้ที่ได้ไปทำการศึกษาในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 3.3 การแยกน้ำเวย์

3.4.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน และโปรตีน โดยวิธี AOAC. (1995)

3.4.1.4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาผงเต้าหู้

นำผงเต้าหู้ที่เลือกได้จากข้อ 3.1 บรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ปิดผนึก ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกๆ 1 สัปดาห์ ตรวจสอบกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นโดยการดมกลิ่นและโดยวิธีการวัดค่า Thiobarbituric acid (TBA) (Pearson. 1976)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์จัดสิ่งทดลองแบบ 2 x 2 แฟคทอเรียล เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ซึ่งมีปัจจัยในการศึกษาดังนี้

ปัจจัยที่ 1 สภาวะในการเก็บรักษา 2 ระดับ คือ สภาวะสุญญากาศ และสภาวะบรรยากาศปกติ

ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)

3.4.2 ศึกษาผลของผงเต้าหู้ต่อคุณภาพของลูกชิ้นหมู

3.4.2.1 ศึกษาอัตราส่วนของผงต้าหู้ น้ำ และน้ำมันที่เหมาะสมในการเตรียม Pre-emulsion

ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับน้ำมันในการเตรียม Pre-emulsion โดยมีวิธีการเตรียมดังภาพที่ 3.2 โดยใช้ผงเต้าหู้ 1 ส่วน ที่ได้จากข้อ 3.4.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์โดยจัดสิ่งทดลองแบบ 2 x 3 แฟคทอเรียล ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณน้ำ 2 ระดับ คือ 1 และ 1.25 ส่วน

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณน้ำมัน 3 ระดับ คือ 0.5 0.75 และ 1 ส่วน

นำ Pre-emulsion ที่ผลิตได้ทั้ง 6 ตัวอย่าง มาทำการทดสอบความคงตัวของอิมัลชันตามวิธีข้อ 3.4.1.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกอิมัลชันที่มีความคงตัวดีที่สุดเพื่อใช้ในการผลิตลูกชิ้นหมูในการทดลองต่อไป

3.4.2.2 ศึกษาปริมาณ Pre-emulsion ที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นหมู

นำ Pre-emulsion ที่เลือกได้จากข้อ 3.4.2.1 มาทำการผลิตลูกชิ้นหมูตามวิธีการผลิตในภาพที่ 3.4 โดยเติมลงในส่วนผสมของการผลิตลูกชิ้นหมู (ตารางที่ 3.1) ในอัตราส่วนของ Pre-emulsion เท่ากับ 15 20 25 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อหมู นำลูกชิ้นหมูมาทดสอบคุณภาพเพื่อหาอัตราส่วนของ Pre-emulsion ที่เหมาะสมที่สามารถเติมลงในลูกชิ้นหมู การทดสอบได้แก่

1) การทดสอบทางประสาทสัมผัส นำลูกชิ้นหมูไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมใช้ผู้ทดสอบ 20 คน โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด 9 คือ ชอบมากที่สุด) ปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม แบบทดสอบที่ใช้ดังภาคผนวก ง วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เลือกสูตรที่ได้รับความชอบมากที่สุด กำหนดรหัสตัวอย่างแบบสุ่ม เสริฟตัวอย่างในน้ำซุปหมูอุณหภูมิประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส

2) การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส นำตัวอย่างลูกชิ้นมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการกด (compression) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro Systems TA-XT2i) โดยกดบนตัวอย่างที่สูง 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร กดลงไป 30 เปอร์เซ็นต์ deformation โดยใช้หัวกดขนาด 75 มิลลิเมตร ความเร็วของหัวกดเคลื่อนที่ลงมาก่อนสัมผัสตัวอย่าง (Pre-test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัวกดขณะเคลื่อนที่ลงในตัวอย่าง (Test speed) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัวกด

ขณะเคลื่อนที่ขึ้นจากตัวอย่าง (Post-test speed) 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 10 ซ้ำ วางใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

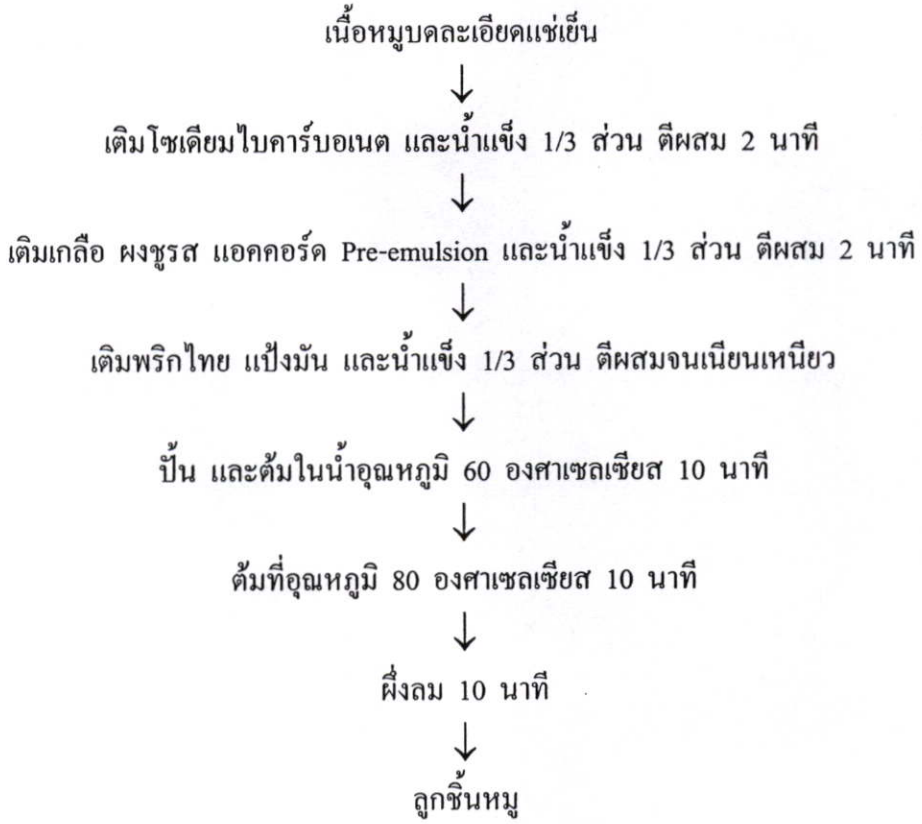
3) การคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตลูกชิ้นหมู โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตลูกชิ้นหมูโดยคิดจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทียบกับน้ำหนักของลูกชิ้นหมูที่ผลิตได้ 1 กิโลกรัม

4) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นหมูโดยวิธี AOAC. (1995)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการผลิตลูกชิ้นหมู

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
เนื้อหมู	300
เกลือ	7
ผงชูรส	0.5
แป้งมัน	12
น้ำแข็งบด	100
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.3
พริกไทย	4
แอคคอร์ด	3

ที่มา : เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ (2544)



ภาพที่ 3.4 การเตรียมลูกชิ้นหมู

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของสารตกตะกอนต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

การใช้สารตกตะกอนในการผลิตเต้าหู้ต่างชนิดกันจะทำให้ได้ลักษณะของเต้าหู้ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของสารตกตะกอน สารตกตะกอนที่นิยมใช้ในท้องตลาดในกรณีของเต้าหู้แข็ง ซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่น คือ $CaCl_2$ 3 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีของเต้าหู้ที่มีการกำจัดน้ำเวย์ออก แต่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนกว่า คือ $MgSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ $CaSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ (Shurtleff and Aoyagi. 1979) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกใช้สารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด นำมาผลิตเป็นเต้าหู้ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจนมีความชื้นคงที่ประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh

เต้าหู้ที่ทำการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด จะมีสีขาวและไม่มีกลิ่นของถั่วเหลือง การที่กลิ่นของถั่วเหลืองลดลงเป็นผลมาจากการเติม $CaCO_3$ ในขั้นตอนของการบดถั่ว ทำให้การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของปริยาพร เขียวขำ (2544) และเต้าหู้ทั้งสามชนิดมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน โดยเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $CaCl_2$ จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ และ $CaSO_4$ ตามลำดับ โดย $CaCl_2$ จะทำให้โปรตีนตกตะกอนอย่างรวดเร็วทำให้อุ้มน้ำได้น้อย จึงทำให้ได้เต้าหู้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า (Catharing *et al.* 1999) ส่วน $MgSO_4$ และ $CaSO_4$ จะทำให้โปรตีนตกตะกอนได้ช้าทำให้อุ้มน้ำได้มาก เต้าหู้ที่ได้จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนกว่าเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $CaCl_2$

ตารางที่ 4.1 ผลของสารตกตะกอนต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

สารตกตะกอน	สี			การละลาย (%)	ความคงตัวของอิมัลชัน* (ml/150gของอิมัลชัน)	ปริมาณผลผลิต (%)
	L	a	B			
$CaSO_4$	$89.47^{b}\pm0.21$	$2.18^{a}\pm0.05$	$13.67^{b}\pm0.04$	$13.22^{a}\pm0.51$	$9.07^{b}\pm0.32$	$31.66^{a}\pm1.28$
$CaCl_2$	$89.76^{ab}\pm0.27$	$1.93^{b}\pm0.03$	$13.98^{a}\pm0.08$	$9.54^{c}\pm0.49$	$13.07^{a}\pm0.26$	$30.07^{a}\pm1.69$
$MgSO_4$	$90.16^{a}\pm0.32$	$1.96^{b}\pm0.07$	$13.43^{c}\pm0.02$	$10.77^{b}\pm0.20$	$8.16^{c}\pm0.53$	$30.08^{a}\pm1.47$

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

*ความคงตัวของอิมัลชันหาจากปริมาณน้ำมันที่แยกชั้นออกมา (มิลลิลิตร/150 กรัมของอิมัลชัน)

เมื่อนำผงเต้าหู้ที่ได้จากเต้าหู้ทั้งสามชนิดมาทำการทดสอบคุณภาพดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าผงเต้าหู้ทั้งสามชนิดมีสีแตกต่างกันเล็กน้อยผงเต้าหู้ที่ทำการตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ จะให้ค่าความสว่าง (L) มากที่สุด การละลายของผงเต้าหู้ พบว่าผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $CaSO_4$ จะมีค่าการละลายสูงกว่าผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ และ $CaCl_2$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจาก pH ของน้ำเวย์หรืออีกนัยหนึ่งคือ pH ของเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $CaSO_4$ $MgSO_4$ หรือ $CaCl_2$ มีค่า pH เท่ากับ 6.05 5.98 และ 5.69 ตามลำดับ ในขณะที่ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองเท่ากับ 6.41 การที่ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองลดลงหลังจากการเติมสารตกตะกอนเนื่องจากสารตกตะกอนจะให้ประจุบวกซึ่งจะไปจับกับ aggregate ที่มีประจุลบ ทำให้เกิดกลุ่ม aggregate ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเกิดการสานตัวเป็นร่างแห (network structure) ที่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น เต้าหู้ (Koyama *et al.* 1995) สารตกตะกอนใดที่สามารถให้ประจุบวกได้มาก ก็ทำให้กลุ่ม aggregate เกาะตัวกันแน่นมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณประจุลบของโปรตีนลดลง หรืออีกนัยหนึ่งประจุบวกมากขึ้น ค่า pH ของน้ำเวย์จะลดลง ในกรณีของสารตกตะกอน $CaSO_4$ ซึ่งให้ค่า pH น้ำเวย์สูงสุด กลุ่ม aggregate อาจเกาะตัวหลวมกว่า มีช่องว่างมากกว่า ทำให้น้ำสามารถแทรกซึมลงไปในช่องว่าง จึงทำให้ค่าการละลายสูงกว่าสารตกตะกอนตัวอื่น อย่างไรก็ตามค่าการละลายของผงเต้าหู้ทุกตัวอย่างมีค่าต่ำ ในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองมีการใช้ความร้อนในระหว่างการสกัดและมีการใช้ความร้อนอบแห้งเต้าหู้เพื่อทำให้เป็นผง ความร้อนเหล่านี้ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ เป็นเหตุให้คุณสมบัติด้านการละลายของโปรตีนลดลง (Wagner and Anon. 1990) นอกจากนี้ในผงเต้าหู้ยังมีไขมันเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง การนำผงเต้าหู้ไปใช้ประโยชน์ให้ได้ผลจึงน่าจะเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเพียงอย่างเดียวเป็นตัวทำละลาย ดังนั้นในการทดลองดังนี้ จึงทดลองเตรียมอิมัลชันจากของผสมระหว่างผงเต้าหู้ น้ำ และน้ำมัน ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 ทำการตรวจสอบค่าความคงตัวของอิมัลชันที่เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำมันที่แยกออกมา (ตารางที่ 4.1)

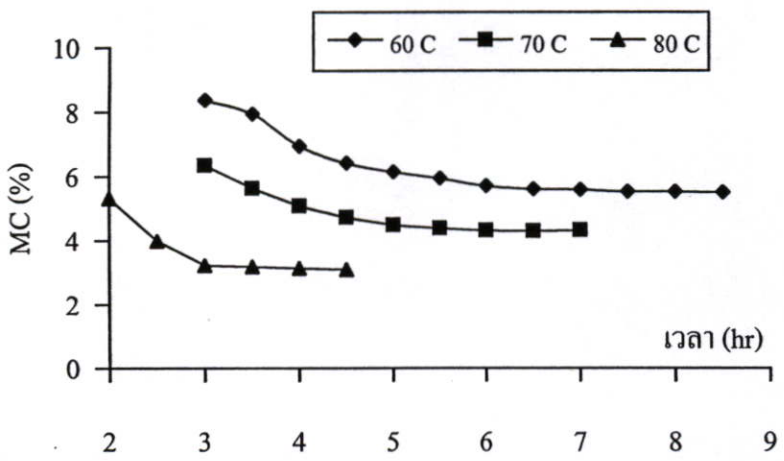
ความคงตัวของอิมัลชันซึ่งวัดในรูปของปริมาณน้ำมันที่แยกออกมาโดยปริมาณน้ำมันที่แยกออกมาน้อยแสดงว่าเป็นอิมัลชันที่มีความคงตัวที่ดี พบว่าผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวดีกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในขณะที่ความคงตัวของอิมัลชันที่ได้จากผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย $CaCl_2$ 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำสุด สาเหตุอาจเกิดจากความสามารถในการละลายที่ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คุณสมบัติทางหน้าที่ (funtional property) เช่น คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนจะลดลงถ้าคุณสมบัติการละลายลดลง (Zayas. 1997)

โปรตีนเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วและส่วนไม่มีขั้ว ในการผลิตเต้าหู้จะมีการให้ความร้อนแก่น้ำนมถั่วเหลืองทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) โมเลกุลโปรตีนซึ่งขดแน่นคลายตัวออก ทำให้ส่วนของโปรตีนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ที่อยู่ภายในโมเลกุลออกมายังด้านนอกของโมเลกุลเกิดการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิคระหว่างโมเลกุล และมี

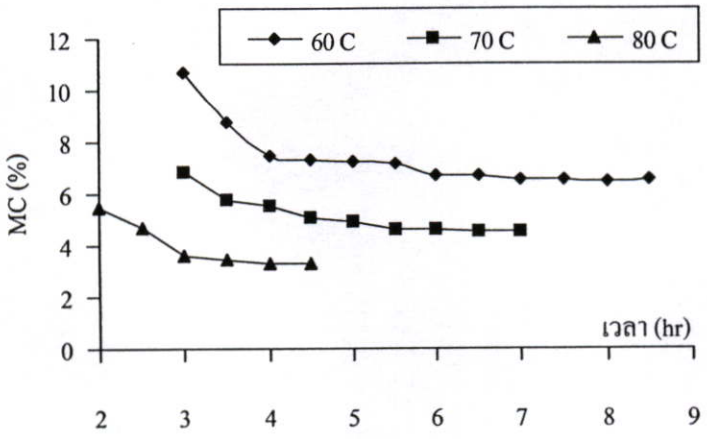
ประจุรวมของ aggregate เป็นลบ (Kohyama. 1995) เมื่อเติมสารตกตะกอนซึ่งให้ประจุบวก ประจุบวกของสารตกตะกอนจะไปจับกับประจุลบของกลุ่ม aggregate สารตกตะกอนที่ให้ประจุบวกที่แรงขึ้น ซึ่งก็คือมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegatity) ที่สูงสามารถจับกับส่วนที่มีขั้วได้ดี โดยจะทำให้ส่วนที่ไม่มีขั้วของโปรตีนที่เหลืออยู่กันอย่างอิสระมากขึ้น (flexible) และสามารถจับกับส่วนที่ไม่มีขั้วด้วยกันได้ดี ดังนั้นเมื่อนำผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย Mg^{2+} ซึ่งมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีที่สูงกว่า Ca^{2+} (อินทิรา หาญพงษ์พันธ์. 2534) ส่วนที่ไม่มีขั้วภายในโมเลกุลโปรตีนอยู่กันอย่างอิสระมากกว่า เมื่อนำมาฟอร์มเป็น Pre-emulsion จึงอาจจับกับน้ำมันได้ดีกว่าผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย Ca^{2+} จึงส่งผลให้ผงเต้าหู้ที่ตกตะกอนด้วย Mg^{2+} ให้อิมัลชันที่มีความคงตัวดีกว่า

4.2 ผลของการแยกน้ำเวย์กับอุณหภูมิที่ใช้อบ

ในการผลิตเต้าหู้โดยปกติจะใช้วิธีการกดทับเพื่อแยกน้ำเวย์ออกอย่างไรก็ตามการใช้น้ำหนักกดทับเป็นวิธีการที่ต้องใช้ความชำนาญ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยสนใจ คือ ส่วนที่เป็นของแข็งที่ละลายน้ำในน้ำนมถั่วเหลือง การใช้วิธีการแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการเซนตริฟิวจ์น่าจะเป็นวิธีการที่ทำได้สะดวกกว่า อย่างไรก็ตามควรมีการตรวจสอบผลของการแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการต่างกันว่ามีผลต่อคุณสมบัติของผงเต้าหู้ที่ได้หรือไม่ ในการทดลองครั้งนี้จึงทำการศึกษาผลของการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับและเซนตริฟิวจ์วางแผนการทดลองร่วมกับอุณหภูมิที่ใช้อบ



ภาพที่ 4.1 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่แยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับที่เวลาต่างๆ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.2 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ที่เวลาต่างๆ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นของผงเต้าหู้ที่เวลาต่างๆ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ของการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับและการเซนตริฟิวจ์ ตามลำดับ พบว่าในกรณีของการกดทับ ผงเต้าหู้ที่อบที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นคงที่เมื่อเวลาในการอบผ่านไป 6 5 และ 3 ชั่วโมง โดยมีความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) เท่ากับ 5.7 4.5 และ 3.2 ในกรณีของการเซนตริฟิวจ์ ผงเต้าหู้ที่อบที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นคงที่เมื่อเวลาในการอบผ่านไป 6 5.5 และ 3 ชั่วโมง โดยมีความชื้นสมดุลเท่ากับ 6.7 4.6 และ 3.6 ตามลำดับ การที่ความชื้นสมดุลของผงเต้าหู้ที่แยกน้ำเวย์โดยการเซนตริฟิวจ์มีค่าสูงกว่า ผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับที่ทุกอุณหภูมิของการอบ เนื่องจากการแยกน้ำเวย์โดยการกดทับก้อนเต้าหู้มีความโปร่งมากกว่าตะกอนที่ได้จากการเซนตริฟิวจ์ ทำให้การดึงน้ำออกทำได้ง่ายกว่า

เมื่อนำผงเต้าหู้ทุกตัวอย่างมาทำการตรวจสอบคุณภาพ (ตารางที่ 4.2) พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้น ค่าความสว่าง (L) ลดลง นั่นคือถ้าอุณหภูมิที่ใช้อบสูงขึ้นผงเต้าหู้จะมีสีคล้ำมากขึ้น สำหรับความคงตัวของอิมัลชัน พบว่าวิธีการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์มีปริมาณน้ำมันที่แยกชั้นออกมาน้อยกว่าอิมัลชันที่ใช้ผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับไม่ว่าจะเปรียบเทียบที่อุณหภูมิที่ใช้อบใดๆ นอกจากนี้ปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์โดยการเซนตริฟิวจ์สูงกว่าปริมาณผลผลิตที่ของผงเต้าหู้ที่ได้จากการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการเซนตริฟิวจ์ที่นอกจากจะสะดวกทำได้ง่ายกว่ายังให้ค่าความคงตัวอิมัลชันที่ดีกว่าและให้ผลผลิตที่สูงกว่า

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้อบ ถึงแม้การใช้อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ระยะเวลาในการอบสั้นลง แต่ค่าความคงตัวของอิมัลชันต่ำกว่าการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้คุณสมบัติด้านหน้าที่มีประสิทธิภาพลดลง เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิต่ำที่ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสมดุลของผงเต้าหู้สูงกว่าผงเต้าหู้ตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะกรณีของการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ ทำให้ปริมาณของโปรตีนที่มีอยู่ในอิมัลชันจริงๆ ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ผงเต้าหู้ที่อบที่ 70 องศาเซลเซียส จึงทำให้ความคงตัวของอิมัลชันมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การอบที่ 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้

นำผงเต้าหู้ที่เตรียมจากสารตกตะกอน $MgSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ ใช้การแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ ทำการอบที่ 70 องศาเซลเซียส มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีน ไขมัน และความชื้น ด้วยวิธี AOAC. (1995) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าผงเต้าหู้มีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าปริมาณโปรตีนในเนื้อสัตว์ (fresh meat) ถึง 2.5 เท่า (เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิฐ์. 2536) สามารถนำไปปรุงแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเสริมโปรตีน หรือเพื่อกลุ่มคนที่ต้องการโปรตีน เช่นอาหารเด็กอ่อน มีปริมาณไขมัน 29.78 เปอร์เซ็นต์ โดยไขมันในผงเต้าหู้จะประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่สูง (Smith and Circle. 1980) มีความชื้นที่ต่ำสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน

ตารางที่ 4.2 ผลของการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับและการเซนตริฟิวจ์กับอุณหภูมิที่ใช้อบต่อคุณภาพของผงเต้าหู้

การน้ำเวย์	อุณหภูมิ	สี			การละลาย	ความคงตัวของอิมัลชัน*	ปริมาณผลผลิต
	(°C)	L	a	b	(%)	(ml/150g ของอิมัลชัน)	(%)
การกดทับ	60	$91.02^{ab}\pm0.37$	$1.47^{a}\pm0.13$	$13.00^{b}\pm0.02$	$12.01^{cd}\pm0.49$	$14.00^{ab}\pm0.55$	$37.01^{b}\pm2.24$
	70	$90.86^{ab}\pm0.77$	$1.64^{a}\pm0.04$	$12.84^{b}\pm0.04$	$12.12b^{cd}\pm0.04$	$13.56^{bc}\pm0.12$	$35.59^{b}\pm1.74$
	80	$89.96^{ab}\pm0.73$	$1.76^{a}\pm0.08$	$13.09^{ab}\pm0.59$	$11.35^{d}\pm0.21$	$14.57^{a}\pm0.35$	$36.48^{b}\pm1.51$
Centrifuge	60	$91.15^{a}\pm0.35$	$1.30^{a}\pm0.08$	$13.23^{ab}\pm0.78$	$13.84^{a}\pm0.57$	$13.12^{c}\pm0.20$	$45.86^{a}\pm1.29$
	70	$89.81^{b}\pm0.48$	$1.60^{a}\pm0.33$	$13.97^{a}\pm0.39$	$13.32^{abc}\pm0.87$	$10.43^{e}\pm0.08$	$43.63^{a}\pm1.46$
	80	$89.93^{ab}\pm0.84$	$1.69^{a}\pm0.40$	$13.95^{a}\pm0.28$	$13.45^{ab}\pm0.98$	$11.38^{d}\pm0.34$	$46.68^{a}\pm1.32$

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

*ความคงตัวของอิมัลชันหาจากปริมาณน้ำมันที่แยกชั้นออกมา (มิลลิลิตร/150 กรัมของอิมัลชัน)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงเต้าหู้

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
โปรตีน	52.54
ไขมัน	29.78
ความชื้น	4.65
อื่นๆ	13.03

4.4 ผลการเก็บรักษาผงเต้าหู้ในสภาวะต่างๆ

นำผงเต้าหู้ที่ได้จากการใช้สารตกตะกอน $MgSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์ ทำการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh ทำการบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตปิดสนิท ในสภาวะสุญญากาศและในสภาวะบรรยากาศโดยทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เนื่องจากผงเต้าหู้มีองค์ประกอบของไขมันอยู่สูง จึงทำการตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า TBA (Thiobarbituric acid) ทุกๆ 1 สัปดาห์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ถ้าการเกิดออกซิเดชันของไขมันสูงขึ้นค่า TBA จะเพิ่มขึ้น (มณีวรรณ เชิงชวโน. 2523)

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า Thiobarbituric acid (TBA) ของผงเต้าหู้เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์

สภาวะการเก็บ	การเปลี่ยนแปลงค่า TBA*
สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	$1.78^{c}\pm0.02$
สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง	$4.23^{b}\pm0.11$
สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	$4.19^{b}\pm0.17$
สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง	$5.11^{a}\pm0.10$

อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
*การเปลี่ยนแปลงของค่า TBA เมื่อเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA เมื่อเก็บผงเต้าหู้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันการเก็บในสภาวะบรรยากาศปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงค่า TBA เพิ่มขึ้นมากกว่าเก็บที่สภาวะสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) หรือเมื่อเปรียบเทียบที่สภาวะการบรรจุแบบเดียวกัน การเก็บที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA เพิ่มขึ้นมากกว่าเก็บที่ 10 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBA โดยจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ของกรดไขมันอย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่น พบว่าผงเต้าหู้ที่เก็บในสภาวะต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนเกิดขึ้น

4.5 ผลของอัตราส่วนของผงเต้าหู้ น้ำ และน้ำมัน ที่เหมาะสมในการเตรียม Pre-emulsion

ในการผลิตเนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชันของโรงงานอุตสาหกรรม จะมีการเตรียมอิมัลชันของน้ำกับน้ำมัน ที่เรียกว่า Pre-emulsion เพื่อนำไปเติมในสูตรส่วนผสมของเนื้อสัตว์ เพื่อตีผสม (chopping) ให้เป็นอิมัลชันที่เข้ากันอีกทีหนึ่ง Pre-emulsion ที่เติมลงไปนี้ นอกจากจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความฉ่ำน้ำ ยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนลดลง (Kai-Lai. 1997) ในการทดลองครั้งนี้จึงทดลองทำ Pre-emulsion จากส่วนผสมทั้งสามที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ Pre-emulsion ที่มีความคงตัวดีสามารถเก็บรักษาได้นาน เพื่อสามารถนำไปเติมในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชัน จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าถ้าใช้ผงเต้าหู้ 1 ส่วน ถ้าปริมาณน้ำมันมากกว่า 1 ส่วน ทำให้มีปริมาณน้ำมันแยกออกมาจากอิมัลชันมาก ดังนั้นในการทดลองจึงวางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 แฟคทอเรียล มีปัจจัยหลักคือ ปริมาณน้ำ 2 ระดับ (1 และ 1.25 ส่วน) และปริมาณน้ำมัน 3 ระดับ (0.5 0.75 และ 1 ส่วน) โดยใช้ผงเต้าหู้ที่เลือกได้จากข้อ 4.2 ในปริมาณที่เท่ากัน 1 ส่วนในทุกการทดลอง นำมาเตรียมเป็น Pre-emulsion แล้วตรวจสอบปริมาณน้ำมันที่แยกออกมา โดยตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความคงตัวของอิมัลชันที่เตรียมจากอัตราส่วนของน้ำและน้ำมันที่ระดับต่างๆ

อัตราส่วน น้ำ : น้ำมัน	ปริมาณน้ำมัน* (ml/150g ของอิมัลชัน)
1.0 : 0.5	0
1.0 : 0.75	<1
1.0 : 1.0	9.0
1.25 : 0.5	0
1.25 : 0.75	5.6
1.25 : 1.0	16.2

*ความคงตัวของอิมัลชันหาจากปริมาณน้ำมันที่แยกชั้นออกมา (มิลลิลิตร/150 กรัมของอิมัลชัน)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและน้ำมันต่อความคงตัวของ Pre-emulsion กล่าวคือถ้าปริมาณน้ำคงที่การเพิ่มปริมาณน้ำมันจะทำให้ความคงตัวของ Pre-emulsion ลดลง คือมีปริมาณน้ำมันที่แยกชั้นออกมามาก ในขณะเดียวกันถ้าปริมาณของน้ำมันคงที่การเพิ่มปริมาณของน้ำจะทำให้ความคงตัวของอิมัลชันลดลง มีปริมาณน้ำมันแยกชั้นออกมาสูงขึ้น จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อใช้ผงเต้าหู้ 1 ส่วน อัตราส่วนของน้ำและน้ำมัน ที่ทำให้ได้ Pre-emulsion ที่ไม่มีการสูญเสียน้ำมันในช่วงที่ทดลองมี 3 อัตราส่วน คือที่อัตราส่วน 1.0 : 0.5, 1.0 : 0.75 และ 1.25 : 0.75 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าใช้จ่าย เมื่อใช้ผงเต้าหู้ 1 ส่วน จะพบว่าที่อัตราส่วนของน้ำ : น้ำมัน ที่ 1.0 : 0.5 มีค่าสูงกว่า เนื่องจากให้ปริมาณผลผลิตที่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนของน้ำ : น้ำมัน ที่ 1.0 : 0.75 และที่ 1.25 : 0.5 ไปทำการศึกษาการสูญเสียของน้ำหนักหลังจากเติม Pre-emulsion ลงไปในผลิตภัณฑ์ โดยเลือกใช้ลูกชิ้นหมูเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เนื่องจากลูกชิ้นหมูเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชันที่นิยมรับประทานอย่างแพร่หลาย มีวิธีการผลิตไม่ซับซ้อน โดยการเติม Pre-emulsion ที่เตรียมจากทั้งสองอัตราส่วนในปริมาณ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อหมู คำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไป โดยคิดจากน้ำหนักของส่วนผสมเริ่มต้นลบกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นที่ได้ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การสูญเสียน้ำหนักของลูกชิ้นหมูที่มีการเติม Pre-emulsion ในระหว่างการฟอร์มเจล

Pre-emulsion (น้ำ : น้ำมัน)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	
	เติม 10 %	เติม 20 %
1 : 0.75	1.36±0.03	-0.99±0.07
1.25 : 0.5	2.73±0.05	1.53±0.01

หมายเหตุ เครื่องหมาย (-) หมายถึง ไม่มีเกิดการสูญเสียน้ำหนัก

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อใช้ Pre-emulsion ที่เตรียมจากอัตราส่วนของน้ำ : น้ำมัน ที่ 1.25 : 0.5 จะมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่า การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากในสูตรส่วนผสมของลูกชิ้นหมูมีการการเติมน้ำแข็งอยู่แล้ว ทำให้ที่อัตราส่วนนี้มีปริมาณน้ำมากกว่า จึงเกิดการสูญเสียของน้ำในระหว่างการต้มลูกชิ้น เป็นเหตุให้น้ำหนักลูกชิ้นที่ได้น้อยกว่าลูกชิ้นที่ใช้ Pre-emulsion ที่เตรียมจากอัตราส่วนของน้ำ : น้ำมัน ที่ 1.0 : 0.75 ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ Pre-emulsion ที่เตรียมจากผงเต้าหู้ น้ำ และน้ำมัน ที่อัตราส่วน 1.0 : 1.0 : 0.75 อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชันที่มีปริมาณไขมันต่ำอาจเลือกใช้ที่อัตราส่วนของผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมัน ที่ 1.0 : 1.25 : 0.5 ได้

4.6 ผลการเติม Pre-emulsion ต่อคุณภาพของลูกชิ้นหมู

การเติม Pre-emulsion ลงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดอิมัลชันถึงแม้จะช่วยในด้านปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้มีความฉ่ำน้ำ มีต้นทุนที่ลดลง แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงการยอมรับของผู้ชิมในด้านกลิ่นรส ซึ่งอาจมีกลิ่นรสที่สูญเสียไป เนื่องจากปริมาณการใช้ของเนื้อสัตว์ลดลง ในการทดลองครั้งนี้จึงทดลองเติม Pre-emulsion ลงในส่วนผสมของลูกชิ้นหมู ในอัตราส่วน 15 20 25 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อหมู ทำการตรวจสอบการยอมรับ และลักษณะของเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นที่ได้

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะให้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale โดยที่ 1 คือไม่ชอบมากที่สุด 9 คือชอบมากที่สุด โดยผลคะแนนการชิมแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูที่มีการเติม Pre-emulsion

Pre-emulsion	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
0 %	$7.40^{a}\pm0.7$	$7.40^{a}\pm0.9$	$7.20^{ab}\pm0.9$	$7.40^{a}\pm0.9$	$7.30^{a}\pm0.5$
15 %	$7.05^{a}\pm1.5$	$7.25^{a}\pm1.4$	$7.50^{a}\pm1.1$	$7.00^{a}\pm1.3$	$7.45^{a}\pm0.9$
20 %	$7.45^{a}\pm0.7$	$6.75^{ab}\pm1.2$	$7.00^{ab}\pm1.3$	$6.65^{a}\pm1.2$	$7.15^{a}\pm0.7$
25 %	$6.85^{a}\pm1.0$	$6.85^{ab}\pm1.0$	$6.60^{b}\pm1.0$	$7.10^{a}\pm1.2$	$7.25^{a}\pm0.2$
30 %	$7.06^{a}\pm0.9$	$6.56^{ab}\pm1.2$	$6.69^{ab}\pm0.9$	$6.75^{a}\pm1.6$	$6.73^{ab}\pm0.8$
35 %	$7.39^{a}\pm0.7$	$5.61^{c}\pm1.24$	$5.78^{c}\pm1.1$	$6.94^{a}\pm0.6$	$6.50^{b}\pm1.0$

อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

จากการทดลองพบว่าถึงแม้จะเติม Pre-emulsion ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเนื้อหมูในการผลิตก็ยังสามารถปั้นลูกชิ้นขึ้นรูปได้ง่าย อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบของผู้ชิมน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยเฉพาะคะแนนด้านกลิ่น และรสชาติ มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมมาก ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ปริมาณของ Pre-emulsion ที่เติมได้สูงสุดโดยที่ลูกชิ้นหมูที่ได้มีคะแนนความชอบรวมของผู้ชิมไม่แตกต่างจากลูกชิ้นหมูสูตรควบคุม คือ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อหมู

การวิเคราะห์ผลของ Pre-emulsion ที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมู ทำโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ทำการกดตัวอย่าง 30 เปอร์เซ็นต์ deformation กดตัวอย่างติดต่อกันสองครั้ง นำข้อมูลเข้าโปรแกรม Texture profile analysis เพื่อคำนวณค่าความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ของตัวอย่างลูกชิ้นหมู เมื่อเติม Pre-emulsion ที่ระดับต่างๆ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง ที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างลูกชิ้นที่มีการเติม Pre-emulsion

Pre-emulsion	Hardness (g.force)	Springiness (m)
0 %	$1648.30^{d}\pm170.51$	$0.729^{abc}\pm0.04$
15 %	$2089.94^{c}\pm203.00$	$0.739^{ab}\pm0.04$
25 %	$2272.41^{b}\pm199.46$	$0.719^{bc}\pm0.04$
30 %	$2620.52^{a}\pm313.06$	$0.746^{a}\pm0.05$
35 %	$2350.56^{b}\pm195.84$	$0.719^{c}\pm0.04$

อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

พบว่าเมื่อปริมาณของ Pre-emulsion ที่เติมเพิ่มขึ้นค่าความยืดหยุ่นที่วัดโดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามค่าความแข็งของลูกชิ้นหมูเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ Pre-emulsion ที่เติมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณของ Pre-emulsion ที่เติมถึงระดับหนึ่ง เช่น ที่ระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเนื้อหมูค่าความแข็งของลูกชิ้นหมูจะลดลง การที่ค่าความแข็งของลูกชิ้นหมูเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติม Pre-emulsion อธิบายได้จากการที่ผงเต้าหู้มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งอยู่ เมื่อให้ความร้อนแป้งจะเกิดการพองตัวอุ้มน้ำเอาไว้ ทำให้โครงสร้างเกิดการยึดเหนี่ยวเกาะตัวกันมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของการเติมแป้งในลูกชิ้นปลาจะทำให้เนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาแข็งขึ้น (Kong. 1999) อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณ Pre-emulsion ที่เติมลงในสูตรส่วนผสมของลูกชิ้นหมูมากเกินไป เช่นที่ 35 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ลูกชิ้นหมูมีปริมาณของของเหลว คือน้ำและน้ำมันมากเป็นเหตุให้ความแข็งของลูกชิ้นหมูลดลง

4.7 ผลการคำนวณต้นทุนของลูกชิ้นหมูที่เติม Pre-emulsion

จากผลการทดลองที่ผ่านมา สรุปได้ว่าสามารถเติม Pre-emulsion ที่เตรียมจากผงเต้าหู้ น้ำและน้ำมัน ลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเนื้อหมู เพื่อคำนวณหาต้นทุนที่สามารถลดได้จากการเติม Pre-emulsion ต้นทุนในการผลิตโดยคิดจากราคาของวัตถุดิบที่ใช้ของลูกชิ้นหมูสูตรควบคุม และสูตรที่เติม Pre-emulsion 30 เปอร์เซ็นต์ จึงถูกนำมาคิดเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4.9 เมื่อทำการผลิตลูกชิ้นหมูน้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบว่าการผลิตลูกชิ้นหมูสูตรควบคุมจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิต 63.91 บาท และลูกชิ้นหมูสูตรเติม Pre-emulsion 30 เปอร์เซ็นต์

มีค่าใช้จ่ายในการผลิตเท่ากับ 56.16 บาท และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย พบว่าลูกหมูสูตรเติม Pre-emulsion 30 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนในการผลิตลดลงถึง 12.13 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเติม Pre-emulsion ในการผลิตลูกชิ้นหมูส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงขึ้น จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตลดลง

ตารางที่ 4.9 ราคาของวัตถุดิบในการผลิตลูกชิ้นหมู 1 กิโลกรัม

วัตถุดิบ	ราคา	ลูกชิ้นตัวอย่างควบคุม		ลูกชิ้น 30 % Pre-emulsion	
	ต่อกิโลกรัม (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท)
เนื้อหมู	80.00	709.9	56.79	569.2	45.54
ผงเต้าหู้	28.60*	-	-	62.1	2.71
เกลือ	10.00	16.6	0.17	16.6	0.17
ผงชูรส	92.50	1.2	0.11	1.2	0.11
แป้งมัน	30.00	28.40	0.85	22.8	0.68
พริกไทย	440.00	9.5	4.18	9.5	4.18
น้ำมัน	30.00	-	-	46.6	1.86
น้ำ	0.50	-	-	62.1	-
น้ำแข็ง	6.00	236.6	1.42	189.7	1.14
โซเดียมไบคาร์บอเนต	18.80	0.7	0.01	0.6	0.01
แอดคอร์ด	53.00	7.1	0.38	5.7	0.30
รวม		1010.0	63.91	986.1	56.16

*คำนวณจากปริมาณผลผลิตและบวกค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต 30 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.10 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นหมูสูตรควบคุมและสูตรที่เติม Pre-emulsion 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังจากเติม Pre-emulsion ปริมาณโปรตีนในลูกชิ้นหมูเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะมาจากปริมาณโปรตีนในส่วนของผงเต้าหู้ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 52.54 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันก็เพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นมาจากไขมันในส่วนของ Pre-emulsion ซึ่งอาจลดปริมาณไขมันเหล่านี้ลงได้โดยเลือกใช้สูตร Pre-emulsion ที่ได้จากผงเต้าหู้ : น้ำ : น้ำมัน ที่อัตราส่วน 1.0 : 1.25 : 0.5 ซึ่งสามารถให้ Pre-emulsion ที่มีความคงตัวเช่นกัน แต่มีปริมาณน้ำมันลดลงถึง 33 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นหมู

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)	
	ตัวอย่างควบคุม	ลูกชิ้น 30 % Pre-emulsion
โปรตีน	12.70[b]	14.10[a]
ไขมัน	0.47[b]	5.87[a]
ความชื้น	78.96[a]	71.96[b]
อื่นๆ	7.87[a]	8.07[a]

อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาชนิดของสารตกตะกอนที่ใช้ในการผลิตผงเต้าหู้ พบว่าผงเต้าหู้ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วย $MgSO_4$ 2.2 เปอร์เซ็นต์จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวดีที่สุด

2. การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการแยกน้ำเวย์ด้วยวิธีการกดทับและการเซนตริฟิวจ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเต้าหู้ พบว่าผงเต้าหู้ที่แยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ที่อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัว และการแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์ให้ปริมาณผลผลิตของผงเต้าหู้มากกว่าการแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับ

3. ผงเต้าหู้มีปริมาณโปรตีน 52.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าโปรตีนในเนื้อสัตว์ถึง 2.5 เท่า มีไขมัน 29.78 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 4.65 เปอร์เซ็นต์

4. ผงเต้าหู้สามารถเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศและบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้องได้นานกว่า 3 เดือน โดยไม่เกิดกลิ่นเหม็นหืน

5. Pre-emulsion ที่เตรียมจากอัตราส่วนของผงเต้าหู้ น้ำ และน้ำมัน ที่ 1.0 : 1.0 : 0.75 จะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวดีที่สุด และเมื่อนำไปเติมในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูทำให้มีการสูญเสียน้อยที่สุด

6. ผงเต้าหู้สามารถเติมลงในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูในรูปของ Pre-emulsion ได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อหมูที่ใช้ เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตลูกชิ้นหมู พบว่าลูกชิ้นหมูที่เติม Pre-emulsion 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม 12.13 เปอร์เซ็นต์

Shen, J.L. and Jackson, R.H. 1991. "Functional Soy Proteins Designed as Casein and Egg White Replacers. **Cereal Foods World.** 36 : 431.

Shi, Y.G. and Ren, L. 1993. **Soybean Products Technology.** China's Light Industry Publisher Beiging.

Shih, M.C., Hou, H.J. and Chang, K.C. 1997. "Process Optmization for Soft Tofu." **J. Food Sci.** 62(4) : 833-837.

Shurtleff, W. and Aoyagi, A. 1979. **Tofu & Soymilk Production.** Lafayette : The Soybeans Center.

Smith, A.K. and Circle, O. 1980. **Soybean : Chemistry and Technology Volume 1 Protein.** 2nd ed. New York : Chapman & Hall.

Smith, G.C., Juhn, H., Carpenter, Z.L., Mattil, K.F. and Cater C.M. 1973. "Efficacy of Protein Additives as Emulsion Stabilizers in Frankfurters." **J. Food Sci.** 38 : 349-353.

Sun, N. and Breene, W.M. 1991. Calcium sulfate Concentration Influence on Yield and Quality of Tofu from Five Soybean Varieties. **J. Food Sci.** 56(6) : 1604.

Wagner, J.R. and Anon, M.C. 1990 "Influence of Denaturation, Hydrophobicity and Sulfhydryl Content on Solubility and Water Absorbing Capacity of Soy Protein Isolates." **J. Food Sci.** 55 : 765-700.

Wang, H.L., Swain, E.W. and Kwolek, W.F. 1983. "Effect of Soybean Varieties on The Yield and quality of Tofu." **Cereal Chem.** 60 :245-248.

Wilkens, W.F., Mattick, L.R. and Hond, D.B. 1976. "Effect of Processing Method on Oxidative Off-Flavors of Soybean Milk." **Food Tech.** 21 : 86-89.

Zayas, J.F. 1997. **Functionality of Proteins in Food.** New York : Spronger-Verlag Berlin.

Jeng, C .Y., Ockerman, H.W., Cahill, V.R. and Peng, A.C. 1988. "Influence of Substituting Two Levels of Tofu for Fat in a Cooked Communted Meat-Type Product." **J. Food Sci.** 53(1) : 97-100.

Kai-Lai, G.H. Wilson, L.A. and Sebranek, J.G. 1997. "Dried Soy Tofu Powder Effects on Frankfurter and Pork Sausage Pattied." **J. Food Sci.** 60(2) : 434-437.

Kinsella, J.E. 1979. "Functional Propreties of Soy Protein." **J. Am. Oil. Chemist 's Soc.** 56 : 242

Lecomte, N.B. Zayas, J.F. and Kastner, C.L. 1993. "Soya Proteins Functional and Sensory Characteristics Improved in Comminuted Meats." **J. Food Sci.** 53(3) : 464-472.

Lim, B.T., Deman, J.M., Deman, L. and Buzzell, R.I. 1990. "Yield and Quality of Tofu as Affected by Soybean and Soymilk Characteristics Calcium Sulfate Coagulant." **J. Food Sci.** 55(4) : 1088-1111.

Liu, K. 1997. **Soybean : Chemistry, Technology, and Utilization.** New York : Chapman & Hall.

Lin, K.W. and Mei, M.Y. 2000. "Influences of Gums, Soy Proteins Isolate, and Heating Temperatures on Reduced-Fat Meat Batters in a Model System." **J. Food Sci.** 65(1) : 97-100.

Nelson, A.I., Steinberg, M.P. and and Wei, L.S. 1976. "Illinois Process for Preparation of Soymilk." **J. Food Sci.** 41 : 57-61.

Ohara, T., Karasawa, H. and Matsuhashi, I.. 1992. "Relationship of Coagulation Characteristics and Properties of Kori-Tofu in a Controlled Soymilk Coagulation System." **J. Jap. Soc. Food Sci Technol.** 39(6) : 543-554

Rahardjo, R., Wilson, L.A. and Sebranek, J.G. 1994. "Spray Dried Soymilk 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 Chemist 's Soc.** 51 : 123A-127A.

Saio, K. 1979. "Tofu Relationships between Texture and fine structure." **Cereal Foods World.** 24(8) : 343.

Schaefer, M.J. and Love, J. 1992. "Relationships between Soybean Component and Tofu Texture." **J. Food Quality.** 15 : 53-66.

ภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.

สุจริตรา เลิศพฤกษ์. 2531. **คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์เนื้อ.** เชียงใหม่ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะธุระกิจกรเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.

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

อินทิรา หาญพงษ์พันธ์. 2534. **เคมีทั่วไป : สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุดม กาญจนปกรณ์ชัย และสมชาย ประภาวัติ. 2519. "การทำเต้าหู้." **วารสารวิทยาศาสตร์การอาหาร.** 1(1) : 39-46.

AOAC. Official Method of Analysis. 1995. 16th ed. **The Association of Analysis Chemists.** Arlington, Virginia.

Borhan, M. and Synder, H.E. 1972. "Lipoxygenase Destruction in Whole Soybean by Convinations of Heation and Soaking in Ethanol." **J. Food Sci.** 44(2) : 586-589.

Beddows, C.G. and Wong, J. 1987a. Optimization of Yield and Properties of Silken Tofu from Soybean. I. The Water : Bean Ration. **Int. J. Food Sci. Technol.** 22 : 15-21.

Beddows, C.G. and Wong, J. 1987b. Optimization of Yield and Properties of Silken Tofu from Soybean. II. The Heat Processing. **Int. J. Food Sci. Technol.** 22 : 23-27.

Cai, TD. And Chang, K.C. "Dry tofu Characteristics Affected by Soymilk Solid Content and Coagulaion Time." **J. Food Quality.** 20 : 391-402.

Catharing, Y.W., Liu, K.S. and Huang, Y. 1999. **Asian Food Sciences & Technology.** Pennsylvania : Technomic Publishing Company.

Che Man, Y.B., Wei, L.S. and Nelson, A.I. 1989. "Inactivation of Lipoxygenase in whole Soyabean at Low pH." **Asean Food Journal.** 4(4) : 145-149

Chung, W.H. and Kin, Y.H. 1996. "Functional Properties and Composition of Tofu Flours." 206-209. In the Processings of the Second International Soybean rocessing and Utilization. Bangkok : Kasetsart University.

Halik, J. J., Pichon, E., Sholman, M., Schwarz, M.H. and Yezek, M. 1976. **Dried Tofu Powder.** U.S. patent. no. 3943266, March 9, 1976.

Hideo, O. and Kawassaki, S. 1990. **Processed Soybean Curd Food Having a Texture Similar to Meat.** U.S. patent. no. 4897280, June 7, 1990.

บรรณานุกรม

กุลวดี ตรองพานิชย์ และคณะ. 2532. "อิทธิพลของสารเจือปนในอาหารและคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองที่มีต่อปริมาณโปรตีนและคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองเข้มข้น." **วารสารอาหาร.** 19(1) : 8-24.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528. "เต้าหู้หลอด." **วารสารอาหาร.** 15(4) : 224-244.

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2541 "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลโปรตีนจากถั่วเหลือง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปริยาพร เขียวขำ. 2544. "การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองเสริมแคลเซียม" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เพลินใจ ตั้งคณะกุล และสมจิต อ่อนเหม. 2527. **การทำเต้าหู้และเต้าฮวย.** กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.

มณีวรรณ เชิงชวโน. 2523. "อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพอาหารเด็กอ่อนโดยใช้เครื่องอบแหงแบบลูกกลิ้ง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มัณฑนา ร่วมรักษ์ และคณะ. 2529. "ผลของวิธีการผลิตต่อคุณภาพน้ำนมถั่วเหลือง." **วารสารอาหาร.** 16(2) : 59-71.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2544. **บทปฏิบัติการวิชาเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์.** กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

_____. 2536. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์.** กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดการบัง.

วันชัย สมชิต. 2527. "คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง." หน้า 1-48. ใน **การใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สยามออฟเซ็ท.

สมจิต อ่อนเหม และเพลินใจ ตั้งคณะกุล. 2538. **ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง.** กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.

สมชาย ประภาวัติ. 2538. **ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง.** กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.

สมชาย ประภาวัติ และคณะ. 2525. "การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของตัวตกตะกอนต่างๆ ในการทำเต้าหู้หลอด." หน้า 25-49. ใน **งานวิจัยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิต**

ภาคผนวก ก
คุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลือง และน้ำเวย์ในการผลิตเต้าหู้

ตารางที่ ก1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำและค่า pH ของน้ำนมถั่วเหลืองที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้

สารตกตะกอน	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	pH
$CaSO_4$	11.43[a]	6.41[a]
$CaCl_2$	11.38[a]	6.39[a]
$MgSO_4$	11.38[a]	6.43[a]

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ก2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ pH ปริมาตรของน้ำเวย์ที่แยกได้หลังจากการตกตะกอนโปรตีน

สารตกตะกอน	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	pH	ปริมาตรน้ำเวย์ (ml)*
$CaSO_4$	2.42[a]	6.05[a]	620[a]
$CaCl_2$	2.66[a]	5.69[b]	642[a]
$MgSO_4$	2.58[a]	5.98[a]	628[a]

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

*จากการผลิตเต้าหู้โดยใช้ถั่วเหลือง 200 กรัม

ภาคผนวก ข
ขั้นตอนการผลิตเต้าหู้

1. การแช่ถั่วเหลือง

2. การตีปั่น

3. การกรอง

4. การให้ความร้อน

5. การกดทับ

6. การเตรียมเต้าหู้ก่อนอบแห้ง

7. การอบแห้ง

8. ผงเต้าหู้

ภาพที่ ข1 ขั้นตอนการผลิตผงเต้าหู้

ภาพที่ ข2 ลักษณะของ Pre-emulsion ที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู

ภาคผนวก ค
ปริมาณความชื้นของผงเต้าหู้

ตารางที่ ค1 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่อบที่เวลาต่างๆ โดยแยกน้ำเวย์ด้วยการกดทับ

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้น (%)		
	60°C	70°C	80°C
1.5	-	-	7.16±0.17
2.0	-	-	5.32±0.34
2.5	-	-	3.99±0.19
3.0	8.38±0.01	6.35±0.11	3.23±0.15
3.5	7.94±0.01	5.63±0.01	3.19±0.04
4.0	6.94±0.23	5.08±0.06	3.14±0.07
4.5	6.42±0.06	4.73±0.08	3.10±0.01
5.0	6.14±0.03	4.49±0.10	-
5.5	5.94±0.07	4.43±0.00	-
6.0	5.70±0.04	4.32±0.07	-
6.5	5.60±0.01	4.30±0.03	-
7.0	5.58±0.04	4.33±0.06	-
7.5	5.52±0.11	-	-
8.0	5.52±0.06	-	-
8.5	5.50±0.05	-	-

ตารางที่ ค2 ความชื้นของผงเต้าหู้ที่อบที่เวลาต่างๆ โดยแยกน้ำเวย์ด้วยการเซนตริฟิวจ์

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้น (%)		
	60°C	70°C	80°C
1.5	-	-	8.32^{a}±0.13
2.0	-	-	5.44^{b}±0.04
2.5	-	-	4.71±0.12
3.0	10.71±0.38	6.83±0.01	3.59±0.10
3.5	8.79±0.23	5.77±0.00	3.48±0.06
4.0	7.44±0.06	5.45±0.16	3.34±0.15
4.5	7.31±0.03	5.11±0.04	3.32±0.04
5.0	7.23±0.03	4.92±0.12	-
5.5	7.14±0.30	4.63±0.16	-
6.0	6.72±0.21	4.59±0.15	-
6.5	6.69±0.05	4.55±0.07	-
7.0	6.57±0.13	4.53±0.01	-
7.5	6.54±0.11	-	-
8.0	6.49±0.04	-	-
8.5	6.51±0.02	-	-

อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ภาคผนวก ง
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ **ลูกชิ้นหมู**

ผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่าง โดยพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดไว้ และให้คะแนนตามความชอบตามคำอธิบายข้างล่างนี้ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง

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

ปัจจัย	คะแนนความชอบ
สี	
กลิ่นรส	
รสชาติ	
ลักษณะเนื้อสัมผัส	
ความชอบรวม	

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid

การวิเคราะห์ค่า TBA (Thiobarbituric acid)

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม นำไปปั่นกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นาน 2 นาที
2. นำตัวอย่างที่ปั่นแล้วเทลงในขวดน้ำกลั่น ล้างตัวอย่างออกจากเครื่องปั่นด้วยน้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตรเทลงขวดน้ำกลั่น
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.0 โมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เพื่อปรับความเป็นกรดด่างให้ได้ประมาณ 1.5
4. นำตัวอย่างไปกลั่นจนกระทั่งได้ของเหลวประมาณ 50 มิลลิลิตร ภายในระยะเวลา 10 นาทีหลังจากเดือด
5. ไปเปตของเหลวที่กลั่นได้มา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีฝาปิด เติมสารละลาย TBA (ละลาย TBA 0.2883 กรัม ด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์) 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
6. นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 35 นาที
7. ทำให้เย็น แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร

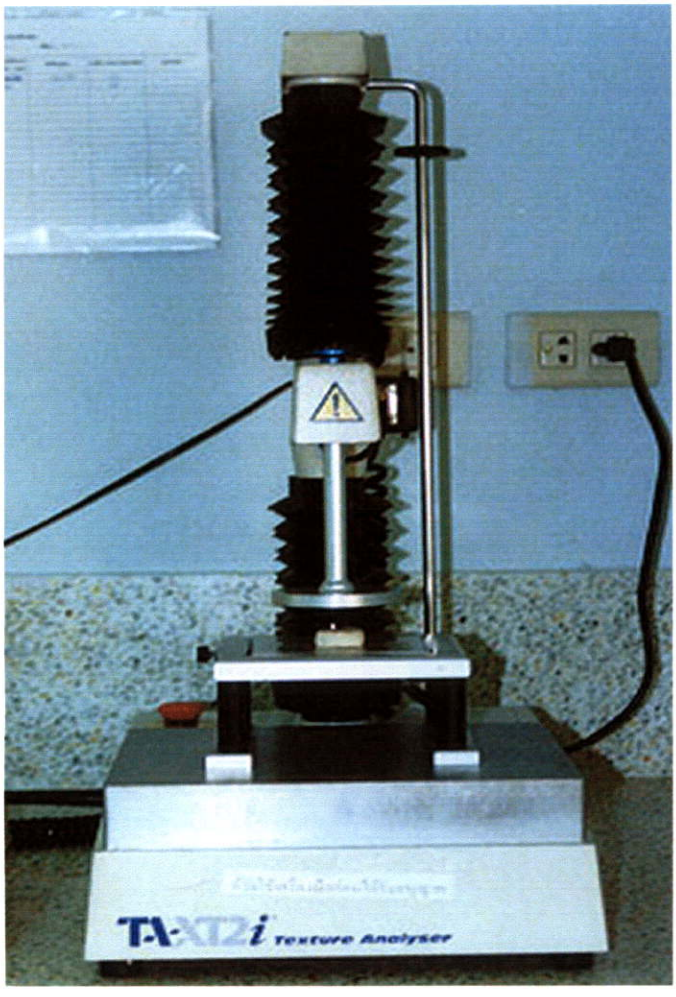
คำนวณหามิลลิกรัมของมาโลนัลดีไฮด์ (TBA)

TBA = 7.8 x ค่าการดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตร

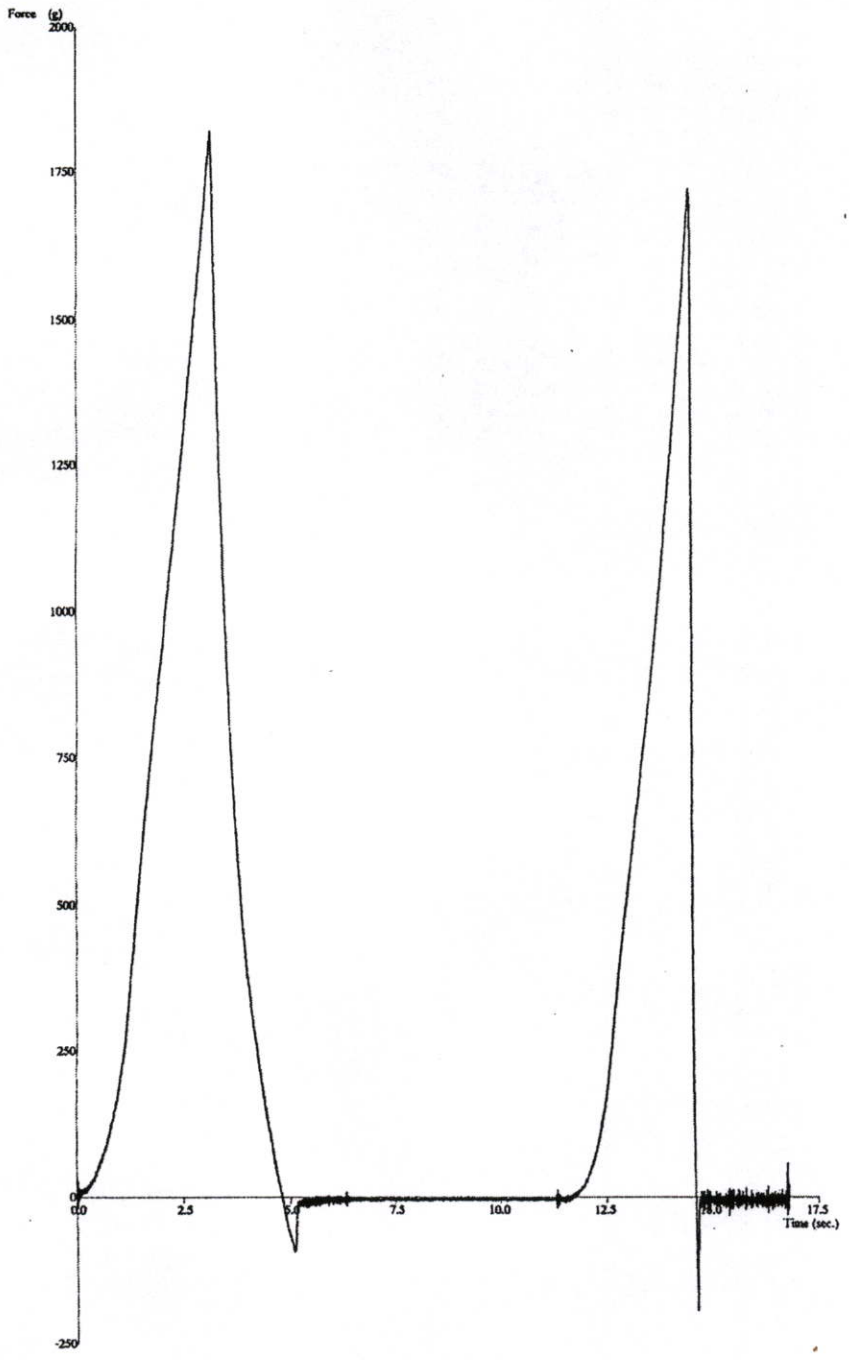
ตารางที่ จ1 ค่า Thiobabuturic acid ของผงเต้าหู้ที่เก็บที่สภาวะต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	สภาวะสุญญากาศที่ อุณหภูมิ 10 °C	สภาวะสุญญากาศที่ อุณหภูมิห้อง	สภาวะบรรยากาศที่ อุณหภูมิ 10 °C	สภาวะบรรยากาศที่ อุณหภูมิห้อง
0	3.39	3.39	3.39	3.39
1	3.52	3.52	3.50	3.54
2	3.56	3.58	3.56	3.60
3	3.57	3.64	3.57	3.56
4	3.62	3.71	3.68	3.73
5	3.54	3.60	3.55	3.53
6	3.65	5.04	4.92	5.34
7	4.06	5.37	5.27	6.54
8	4.21	5.87	5.69	6.74
9	4.40	6.24	6.21	6.80
10	4.97	6.73	6.82	7.45
11	5.02	7.12	7.07	8.14
12	5.18	7.62	7.58	8.50

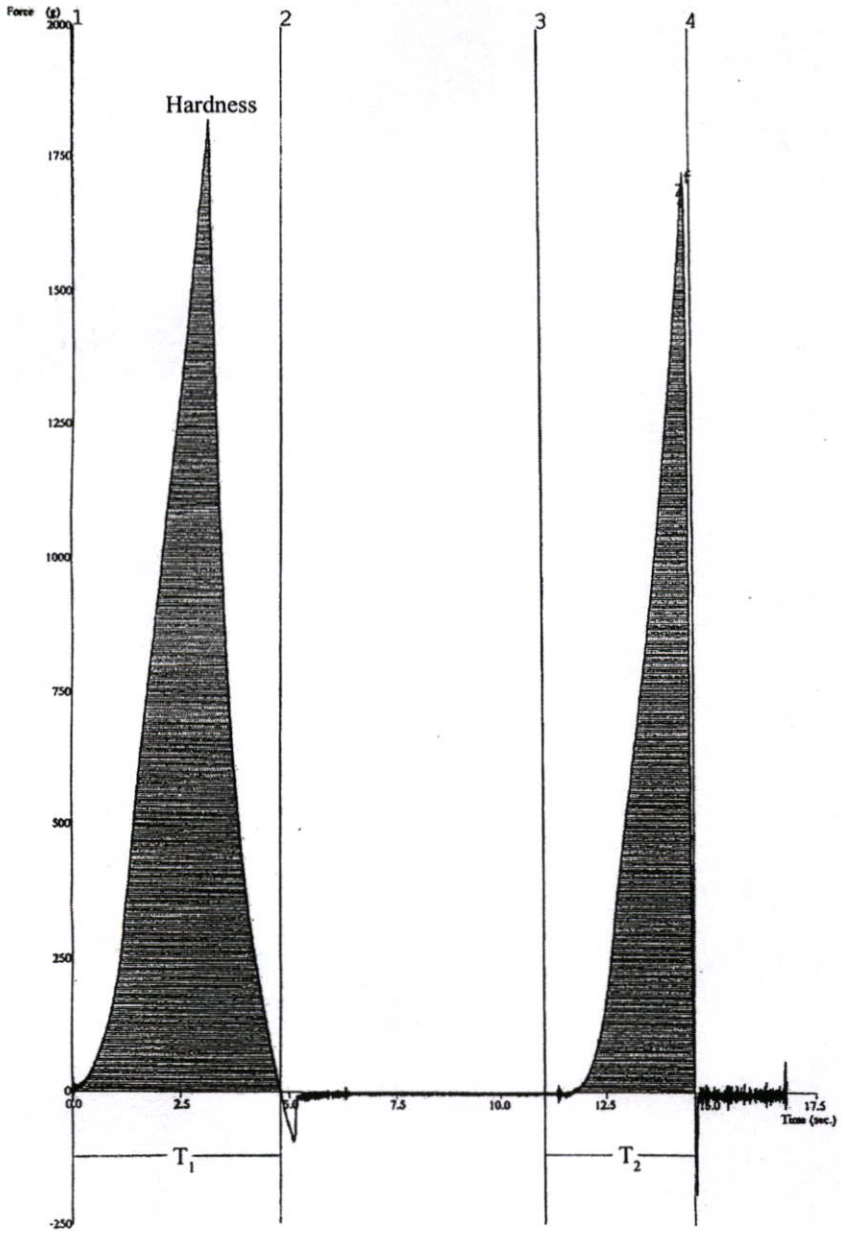
ภาคผนวก ฉ
การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส



ภาพที่ ฉ1 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส รุ่น TA-XT2i



ภาพที่ ฉ2 ลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูโดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส



ภาพที่ ฉ3 ลักษณะกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ค่า Hardness และ Springiness โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

หมายเหตุ ค่า Hardness แสดงความแข็งของตัวอย่าง (g.force) คือ Peak force (+ve Peak force) หรือแรงสูงสุดของการกดครั้งแรก (First compression cycle) ซึ่งหมายถึงการกัดครั้งแรก (First bite)

ค่า Springiness แสดงความยืดหยุ่นของตัวอย่าง (m) คำนวณได้จาก T_2/T_1

ประวัติผู้เขียน

นางสาววรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ เกิดวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดพิจิตร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จาก สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก จ. พิษณุโลก เมื่อปี พ.ศ. 2541 และศึกษาต่อระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วทม.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2545