

การศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้งาคั่วด้วยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม

STUDY ON THE PRODUCTION OF SESAME TOFU BY
SPHERIFICATION TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AI-M-054-293

การศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้งาดำด้วยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม

STUDY ON THE PRODUCTION OF SESAME TOFU BY
SPHERIFICATION TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AI-M-054-293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON THE PRODUCTION OF SESAME TOFU BY
SPHERIFICATION TECHNIQUE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2017

KMITL-2017-AI-M-054-293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

AGRO-INDUSTRY


KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้งาดำด้วยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม
STUDY ON THE PRODUCTION OF SESAME TOFU BY SPHERIFICATION
TECHNIQUE

ชื่อนักศึกษา นางสาวณภัค รัฐชนรัตกุล
รหัสประจำตัว 58608009
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ยุพร พิษกมุทร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ยุพร พิษกมุทร ผศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์ ผศ.ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์ รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 14 ธันวาคม 2560 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 21 เดือน 12 พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้งาดำด้วยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณภัค รัฐชนรัตกุล
รหัสนักศึกษา	58608009
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ยุพร พิษกมูทร

บทคัดย่อ

การผลิตเต้าหู้งาดำด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมโดยอาศัยโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้เกิดเป็น โครงสร้างของเจล งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ ที่ 3 ระดับ คือ 1:5 1:7.5 และ 1:10 (w/v) และศึกษาอัตราส่วนระหว่างงาดำต่อน้ำหนักเมล็ด ถั่วเหลืองแห้ง ที่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 40 50 และ 60 ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้านน้ำหนัก ขนาด สี ค่าความแข็ง และทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อปริมาณของถั่วเหลืองและ งาดำเพิ่มขึ้น จะมีผลให้ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง แต่ทำให้ค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น ผล การทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าอัตราส่วนที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับ ได้แก่ อัตราส่วนถั่ว เหลืองต่อน้ำที่ 1:7.5 และใช้งาดำร้อยละ 60 ของน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง การศึกษาผลของ ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลม วาง แผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) พบว่าเมื่อความ เข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.5 ไปเป็นร้อยละ 2 หรือความเข้มข้นของแคลเซียม คลอไรด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.5 ไปเป็นร้อยละ 2 ทำให้ค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น และสามารถ สร้างสมการทำนายคุณภาพด้านขนาด น้ำหนัก และค่าความแข็ง ของเต้าหู้งาดำทรงกลมจากตัวแปร ทั้งสองได้ โดยมีสัมประสิทธิ์การอธิบาย (R^2) ของค่าตอบสนองมากกว่า 0.93

เมื่อนำสมการมาทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลม พิจารณาเลือก จากการใช้โซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ในปริมาณน้อยที่สุด ที่ทำให้ได้เจลมีค่าความแข็ง มากที่สุด คือการใช้โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.55 ทำ

ให้ได้ค่าความแข็งของเต้าหู้งาดำทรงกลมเท่ากับ 2387 กรัม·แรง การศึกษาผลการเติมเกลือหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลต่อคุณภาพของเต้าหู้งาคำทรงกลม พบว่าการเติมเกลือร้อยละ 1 หรือน้ำตาลร้อยละ 5 ทำให้น้ำหนักและขนาดของเต้าหู้งาคำทรงกลมเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความแข็งของเจลลดลง ผลการศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าโครงสร้างของเต้าหู้งาคำทรงกลม ประกอบด้วยเส้นสายร่างแหที่ยึดเกาะกันอย่างมีระเบียบ การเติมเกลือทำให้โครงสร้างภายในของเจลเปลี่ยนไป ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบรวมของเต้าหู้งาคำทรงกลมอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาคำทรงกลม พบว่าประกอบด้วยความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า ร้อยละ 85.26, 5.26, 6.87, 1.98, 0.63 ตามลำดับ และแคลเซียม 120 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อนำเต้าหู้งาคำทรงกลมมาเก็บรักษาในกล่องพลาสติกโพลีโพรพิลีน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็ง รวมทั้งไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาเต้าหู้งาคำทรงกลมในการทดลองนี้สามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 15 วัน



Thesis	Study on the Production of Sesame Tofu by Spherification Technique
Student	Miss Napak Rattanasatkul
Student ID	58608009
Program	Food Science
Degree	Master of Science
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Yuporn Puechkamut

ABSTRACT

The sesame tofu production by spherification technique was studied. The principle of this process relies on the sodium alginate and calcium chloride to gelation. In this study, the sesame tofu was prepared by adding 1.75% sodium alginate in sesame tofu milk and submerging in the bath of 1.75% calcium chloride in order to form a sphere. The effect of the ratio of soybean to water (1:5, 1:7.5 and 1:10) and roasted sesame (40%, 50% and 60% by weight of soy bean) on the qualities of sesame tofu ball were elucidated. The results showed that increasing in the ratio of soybean or roasted sesame contributed to decreasing of L* and b* value whereas hardness was increased. The sesame tofu balls were further studied for sensory evaluation. The results showed that the ratio of soybean to water at 1:7.5 and 60% roasted sesame had been well accepted. The effect of sodium alginate and calcium chloride concentrations on the qualities of sesame tofu ball were studied by using response surface methodology (RSM). The result found that when the concentrations of alginate or calcium chloride increased from 1.5% to 2%, the hardness of the gel significantly increased. Moreover, the equations for predicting size, weight and hardness of the sesame tofu ball from both parameters were well conducted. Their coefficient of correlation (R^2) were greater than 0.93.

The state that used to produce sesame tofu ball was selected from the condition using at least of alginate and calcium chloride concentration to receive the maximum hardness of the gel.

The predicted condition was the state that used sodium alginate 1.5% and calcium chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.55%. This condition gave the sesame tofu ball with hardness of 2387 g-force. The effects of salt or sugar on the qualities of the ball were examined. The result showed that weight and size of the sesame tofu ball added with 1% salt or 5% sugar were increased whereas hardness was decreased. SEM revealed that the microstructure of the sesame tofu ball composed of the well constructed strands to form network. The addition of salt affected the network structure with leading to the decreasing in hardness value. The sensory evaluation by 9-point hedonic scale was used to examine the preference of the sesame tofu ball. The result showed that all the attributes had the liking scores of like moderately to like very much. The results of chemical composition showed that moisture, protein, fat, carbohydrate, ash and calcium content of the ball were 85.26%, 5.26%, 6.87%, 1.98%, 0.63% and 120 mg/100g respectively. The quality changes during keeping in polypropylene plastic box at 5°C for 15 days were also studied. The result show that the hardness of the sesame tofu ball did not significantly change and microbial count was detected less than 10 CFU/g. The sesame tofu ball could be kept at least for 15 days.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์จากหลายท่าน จึงต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ยุพร พิชกมุทร ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ แนวคิด ให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินการ และดูแลเอาใจใส่ ในการทำวิทยานิพนธ์อย่างใกล้ชิด รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้อง สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.โสธรา เกิดพิบูลย์ และ ผศ.ดร.สิทธิพงศ์ นลินานนท์ อาจารย์ประจำคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และ รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบทานแก้ไข ซึ่งแนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการปฏิบัติงานวิทยานิพนธ์เสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ณภัค รัฐธนรัตกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ถั่วเหลือง.....	4
2.2 เต้าหู้.....	8
2.3 งาดำ.....	11
2.4 อัลจินต.....	14
2.5 การขึ้นรูปทรงกลม.....	17
2.6 วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว.....	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	22
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	22
3.2 สารเคมี.....	23
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์.....	24
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
4.1 ผลการศึกษ้อัตราส่วนของตัวเหลืองต่อน้ำเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม	32
4.2 ผลการศึกษ้อัตราส่วนของงาดำคั่วเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม.....	36
4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ โซเดียมอัลจินตและปริมาณ แคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อการเกิดเจลของเต้าหู้งาดำทรงกลม.....	39
4.4 ผลการศึกษาผลของการเติมสารปรุงรสชาติในเต้าหู้งาดำทรงกลม.....	47
4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาดำทรงกลมในระหว่างการเก็บรักษา.....	54
4.6 ผลการศึกษองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาดำทรงกลม.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	57
ข้อเสนอแนะ.....	58
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	66
ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ.....	67
ข การวิเคราะห์ทางเคมี.....	69
ค การตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด.....	77
ง การวิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope).....	78
จ การเตรียมน้ำจืด และแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	79
ฉ การผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลม.....	82
ประวัติผู้วิจัย.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง 100 กรัม..... 9
2.2	กรดอะมิโนที่จำเป็นในถั่วเหลืองแห้ง..... 10
2.3	คุณค่าทางโภชนาการของงาคั่ว (100 กรัม) 13
3.1	สภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM)... 29
4.1	ผลของอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ ต่อน้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม 33
4.2	ผลของอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ ต่อค่าสีของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 33
4.3	ผลของอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม. 34
4.4	ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 35
4.5	ผลของอัตราส่วนของงาคั่วต่อน้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 36
4.6	ผลของอัตราส่วนของงาคั่วต่อค่าสีของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 36
4.7	ผลของอัตราส่วนของงาคั่วต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 37
4.8	ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลมเมื่อใช้งาคั่วใน ปริมาณต่างๆ..... 38
4.9	การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design และค่าตอบสนองของ ปัจจัย..... 40
4.10	ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าตอบสนองของปัจจัย..... 45
4.11	สมการที่ทำนายได้จากการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองของแต่ละปัจจัย..... 46
4.12	การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 46
4.13	ผลของการเติมเกลือต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 48
4.14	ผลของการเติมน้ำตาลต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 51
4.15	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลมที่เติมสารปรุงแต่งรสชาติ 53
4.16	ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาคั่วทรงกลมในระหว่างการเก็บรักษา..... 55
4.17	องค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม..... 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของอัลจินต (Alginate) ชนิดต่างๆ..... 16
2.2	กลไกการเกิดเจลของ calcium alginate (Egg-box model) 16
2.3	การขึ้นรูปด้วยวิธี External gelation (ภาพซ้าย) และ Internal gelation (ภาพขวา).... 18
2.4	ขั้นตอนการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองจืด..... 26
4.1	เต้าหู้จืดธรรมดา..... 32
4.2	แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจินตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อน้ำหนักของเต้าหู้จืดธรรมดา..... 41
4.3	แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจินตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อขนาดของเต้าหู้จืดธรรมดา..... 42
4.4	แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจินตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าความสว่างของเต้าหู้จืดธรรมดา..... 42
4.5	แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจินตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าสีแดงของเต้าหู้จืดธรรมดา..... 43
4.6	แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจินตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าสีเหลืองของเต้าหู้จืดธรรมดา... 43
4.7	แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจินตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าความแข็งของเต้าหู้จืดธรรมดา. 44
4.8	เต้าหู้จืดธรรมดาเมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตร้อยละ 1.5 และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.55..... 47
4.9	โครงสร้างภายในของเต้าหู้จืดธรรมดาที่เติมเกลือระดับความเข้มข้นต่างๆ..... 50
4.10	โครงสร้างภายในของเต้าหู้จืดธรรมดาที่เติมน้ำตาลระดับความเข้มข้นต่างๆ..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก-1	แสดงการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส.....	68
จ-1	เต้าหู้งาดำทรงกลมในน้ำจืดสำหรับการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส.....	79
ฉ-1	ถั่วเหลืองแกะเปลือก และงาคั่ว.....	82
ฉ-2	การตีปั่นถั่วเหลืองและงาคั่ว.....	82
ฉ-3	น้ำนมถั่วเหลืองงาคั่วผสมอัลจินต.....	83
ฉ-4	เต้าหู้งาดำทรงกลมในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์.....	83
ฉ-5	เต้าหู้งาดำทรงกลมที่แช่ในน้ำ.....	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกกันอย่างแพร่หลาย ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยสามารถผลิตถั่วเหลืองได้ 56,963 ตัน ส่งออกประมาณ 9,317 ตัน คิดเป็นเงินมูลค่า 171,704,181 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่นิยมนำมาแปรรูปเพื่อบริโภคกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีราคาถูก (สุริย์, 2552) ในถั่วเหลืองมีโปรตีนในปริมาณสูงประมาณร้อยละ 38-44 (Lokuruka, 2010) มีกรดอะมิโนจำเป็นครบทั้ง 8 ชนิด แต่มีสัดส่วนของกรดอะมิโนบางตัวที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ เมทไธโอนีน (methionine) และซิสทีน (cystine) (Saidu, 2005) และยังประกอบไปด้วยสารไฟโตเอสโตรเจนที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน ซึ่งจะสามารถช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน และอาการผิดปกติในหญิงวัยหมดประจำเดือนได้

อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองมีสัดส่วนของกรดอะมิโนบางตัวที่ไม่เหมาะสม คือมีปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็น เช่น เมทไธโอนีน ทรีปโตฟาน ในปริมาณต่ำกว่าที่ควรได้รับ (Mendel and David, 2001) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำงาดำมาผลิตร่วมกับถั่วเหลือง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เนื่องจากงาดำมีโปรตีนประมาณร้อยละ 16.7-27.4 ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน ได้แก่ เมทไธโอนีน ทรีปโตฟาน ซิสทีน อาร์จินีน และลิซีนในปริมาณสูง (Olaiya, 2014) งาดำยังมีสารลิกแนน (lignans) สำคัญ 2 ชนิด คือ เซซามิน (sesamin) และเซซาโมลิน (sesamol) ในปริมาณสูง ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้ เป็นสารแอนติออกซิเจนที่ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และลดระดับของคอเลสเตอรอลในเลือดได้ (ศัลยา, 2547) นอกจากนี้งาดำประกอบด้วยแร่ธาตุในปริมาณร้อยละ 4-6 โดยเฉพาะแคลเซียมมีมากถึง 1200 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัมของงาดำ (USDA Nutrient database, 2016) อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนของธาตุแคลเซียม และฟอสฟอรัสในงาดำ ซึ่งมีอยู่ประมาณ 2:1 เป็นอัตราส่วนที่ไม่ได้สัดส่วน เป็นผลให้อัตราการดูดซึมของแคลเซียม

ลดต่ำลง อัตราส่วนที่เหมาะสมของธาตุอาหารทั้งสองชนิดในผู้ใหญ่คือ 1:1 ดังนั้นเพื่อให้อัตราส่วน
ของธาตุทั้ง 2 ชนิดอยู่ในระดับที่เหมาะสมจึงควรบริโภคน้ำเกลือร่วมกับงาดำ (วัชรวิ, 2542)
เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีธาตุฟอสฟอรัสสูง คือประกอบด้วยฟอสฟอรัสร้อยละ 600-700
มิลลิกรัมต่อร้อยละของถั่วเหลือง การใช้ถั่วเหลืองร่วมกับงาดำ ทำให้การดูดซึมของธาตุแคลเซียม
สูงขึ้น

วรรณวิมล (2558) ได้ศึกษาการผลิตเต้าหู้โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม พบว่าเต้าหู้
ทรงกลมที่ผลิตได้มีเจลที่แข็งแรง ซึ่งวิธีการขึ้นรูปแบบทรงกลมสามารถทำได้โดยใช้โซเดียม
อัลจิเนตละลายในอาหารเหลว แล้วหยดส่วนผสมอาหารเหลวลงในสารละลายเกลือแคลเซียม เกิด
เป็นแคลเซียมอัลจิเนต และการเกิดเจลสามารถเกิดสมบูรณ์ได้ดีขึ้น เมื่อแช่น้ำทิ้งไว้ที่อุณหภูมิต่ำ
(Nussinovitch, 1997) ธนัชพร และพรรัศมี (2559) รายงานว่า สามารถเติมน้ำแครอทเข้มข้นลงใน
นํ้านมถั่วเหลืองได้ร้อยละ 50 ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นเต้าหู้ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม ดังนั้น
งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมมาผลิตเต้าหู้งาดำ โดยใช้โซเดียมอัลจิเนตและ
แคลเซียมคลอไรด์ โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม รวมถึง
ศึกษาผลของการเติมสารปรุงแต่งรสชาติโดยใช้น้ำตาลหรือเกลือ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและ
อายุการเก็บรักษาของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่ผลิตได้ ซึ่งการใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลมนี้ทำให้
เกิดผลิตภัณฑ์เต้าหู้ในรูปแบบใหม่ เกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ และเพื่อเพิ่ม
คุณประโยชน์แก่ผลิตภัณฑ์เต้าหู้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ และปริมาณของงาคำเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเต้าหู้งาคำทรงกลม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตและปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้งาคำทรงกลม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเติมสารปรุงแต่งรสชาติในเต้าหู้งาคำทรงกลม
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาคำทรงกลมในระหว่างการเก็บรักษา
- 1.2.5 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาคำทรงกลม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของงานวิจัยนี้จะครอบคลุมเนื้อหาที่สำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเต้าหู้งาคำทรงกลม ทั้งปริมาณของโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ การเติมสารปรุงแต่งรสชาติ ตลอดจนองค์ประกอบทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Glycine max* (L.) Merrill อยู่ในวงศ์ *Leguminosae* วงศ์ย่อย *Papilionoideae* ฝั่ *Phaseoleae* สกุล *Glycine* Willd. สกุลย่อย *Soja* (Moench) (Canadian Food Inspection Agency, 1996) ถั่วเหลืองมีชื่อเรียกต่างกันไปตามแต่ละท้องถิ่น ได้แก่ ถั่วระ ถั่วพระ เหลือง ถั่วแม่ตาย ถั่วเหลือง (ภาคกลาง) และมะถั่วเนา (ภาคเหนือ) (สุนทร, 2557) ถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุก มีขนยาวปกคลุมอยู่ทุกส่วนของลำต้น ใบติดกับลำต้นแบบสลับ มีใบย่อย 3 ใบ รูปร่างคล้ายรูปไข่ ปลายแหลม ใบมีขนทั้งด้านบนและด้านล่าง ดอกเล็กสีขาวอมม่วง ฝักแบนยาว มีเมล็ด 2-3 เมล็ด เป็นพืชที่ไม่ชอบน้ำขัง ดินที่ปลูกควรมีลักษณะเป็นดินร่วนปนดินเหนียว (สุริย์, 2552)

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง

องค์ประกอบของถั่วเหลืองนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ พื้นที่เพาะปลูก และปีที่เพาะปลูก (Poysa and Woodrow, 2002) ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีที่พบในถั่วเหลือง

2.1.1.1. โปรตีน

ถั่วเหลืองแห้งทั้งเมล็ดมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 38-44 (Lokuruka, 2010) โปรตีนถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสุขภาพครบแปดชนิด (ตารางที่ 2.2) มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับโปรตีนจากสัตว์ แต่ยังไม่เทียบเท่ากับโปรตีนจากนมและไข่ ทั้งนี้เพราะถั่วเหลืองและถั่วอื่นๆ ทั่วไปมีปริมาณกรดอะมิโนบางชนิดค่อนข้างต่ำ (Kennedy, 1995) คือ กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (S-containing amino acids) ซึ่งได้แก่ เมทไธโอนีน (methionine) และซิสทีน (cystine) (Saidu, 2005)

2.1.1.2. คาร์โบไฮเดรต

ในเมล็ดถั่วเหลืองมีคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 35 (Lokuruka, 2010) ซึ่ง

อยู่ในรูปโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ทั้งที่เป็นอะไมโลส (amyloses) อะไมโลแพคติน (amylopectins) (Anderson และคณะ, 2000) และในรูปน้ำตาลไคแซคคาไรด์ (disaccharides) ได้แก่ ซูโครส (sucrose) ในรูปโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) และสตาร์ชิโอส (starchyose) (พิชัย, 2528)

2.1.1.3. ไขมัน

ในถั่วเหลืองมีไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 16-18 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว สูงถึงร้อยละ 85 ของปริมาณไขมันทั้งหมด (Lokuruka, 2010) ไขมันในถั่วเหลืองจะประกอบด้วย กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) ร้อยละ 50 กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (monounsaturated fatty acid) ร้อยละ 20 กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ร้อยละ 20 กรดแอลฟา ไลโนเลอิก (α -linoleic acid) ร้อยละ 7 กรดไขมันห่วงโซ่ขนาดยาว (long chain fatty acid) และฟอสโฟไลปิด (phospholipids) ร้อยละ 3 ซึ่งกรดไลโนเลอิกมีหน้าที่สำคัญ คือ ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล และช่วยในการเจริญเติบโตของเด็ก และทารก (มลศิริ, 2545) ส่วนฟอสโฟไลปิดเป็นสารที่คล้ายไขมัน มีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย โดยฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) หรืออินอสิตอล (inosital) ในโมเลกุลของไขมัน และไนโตรเจนอยู่ในรูปของ เลซิธิน (lecithin) หรือเซฟาลิน (cephalin) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ดี (ธีระ, 2545)

2.1.1.4. วิตามิน

ถั่วเหลืองมีวิตามิน พบทั้งวิตามินที่ละลายในน้ำ และวิตามินที่ละลายในไขมัน วิตามินที่ละลายได้ในน้ำที่พบได้แก่ วิตามินบี1 (thiamin) วิตามินบี2 (riboflavin) ไนอะซิน (niacin) กรดแพนโทเทนิก (pantothenic acid) และกรดโฟลิก (folic acid) วิตามินที่ละลายในไขมัน ที่พบได้แก่ วิตามินเอ ในรูปของเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็น โปรวิตามินเอ (provitamin A) ส่วนวิตามินอี พบในรูปของแอลฟา เบต้า แกรมม่า และเดลต้า โทโคเฟอรอล ไม่พบวิตามินดี (Liu, 1997)

2.1.1.5. แร่ธาตุ

ถั่วเหลืองมีแร่ธาตุที่สำคัญ คือ เหล็ก แคลเซียม สังกะสี โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ คลอไรด์ โซเดียม (Saidu, 2005) และยังพบสารที่มีฟอสฟอรัสเป็น

องค์ประกอบ คือ ไฟติน (phytin) ฟอสฟอไลปิด และกรดนิวคลีอิก ซึ่งไฟตินเป็นแหล่งที่มีฟอสฟอรัสมากที่สุด และมีผลต่อการดูดซึมแคลเซียมในร่างกาย (สุริย์, 2552)

2.1.1.6. ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ

2.1.1.6.1 ไอโซฟลาโวน (isoflavones)

เป็นสารจำพวก polyphenol ที่ไม่ใช่สเตอรอยด์ (steroid) พบปริมาณสูงในถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง โดยปกติจะพบปริมาณไอโซฟลาโวนอยู่ระหว่าง 1.2-3.3 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองหนึ่งกรัม (Thawornkuno, 2014) ไอโซฟลาโวนในถั่วเหลืองมีอยู่ด้วยกันสองรูปแบบ คือ aglycone forms เป็นไอโซฟลาโวนรูปแบบที่ไม่มีโมเลกุลของน้ำตาลมาเชื่อมต่อ ได้แก่ daidzein genistein และ glycitein ส่วนในรูปแบบที่สองเป็นไอโซฟลาโวนที่มีโมเลกุลของน้ำตาลเชื่อมต่ออยู่ เรียกว่า isoflavone β -glucoside ได้แก่ daidzin genistin และ glycitin ไอโซฟลาโวนมีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน ซึ่งจะสามารถช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน และอาการผิดปกติในหญิงวัยหมดประจำเดือนได้

2.1.1.6.2 ซาโปนิน (saponins)

เป็นสารพวกไกลโคไซด์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนของเทเทอร์ฟีนอยด์ แอลกอฮอล์ (triterphenoid alcohols) ซึ่งพบในถั่วเหลืองประมาณร้อยละ 0.5 เป็นสารที่ทำให้รสขมในถั่ว ซึ่งในระหว่างการแปรรูป เช่น การล้าง และการต้มถั่ว จะถูกกำจัดออกไป (วันชัย, 2527)

2.1.1.6.3 กรดไฟติก (phytic acid) ไฟเตท (phytate)

เป็นเกลือแคลเซียม แมกนีเซียม หรือโพแทสเซียมของกรดไอโนสิตอล (inositol hexaphosphoric acid) ซึ่งมีมากในพืช ในถั่วเหลืองมีประมาณร้อยละ 1-1.47 โดย ไฟเตทจะขัดขวางการดูดซึมเกลือแร่ เช่น แคลเซียม เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็น chelating agent ทำให้สามารถจับกับโลหะที่มีประจุ 2 หรือ 3 ได้ดี (มลศิริ, 2545)

2.1.1.6.4 กรดฟีนอลิก (phenolic acid)

พบในถั่วเหลืองปริมาณไม่มาก กรดฟีนอลิกมีบทบาทเป็นสารร่วมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์ (วันชัย, 2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ Williams ซึ่งมีลำต้นแข็งแรง จำนวนฝักต่อต้นมาก กับพันธุ์ สจ.4 ซึ่งเป็นพันธุ์รับรองที่ให้ผลผลิตสูง ทนทานต่อโรคราสนิม คุณภาพเมล็ดดี เป็นพ่อพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 284 กิโลกรัม/ไร่ ทนทานต่อโรคราสนิม และต้านทานต่อโรคราน้ำค้างปานกลาง สามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้กว้าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์ปลูกทุกสภาพท้องถิ่น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ลำต้นมีโคนต้นอ่อนสีเขียวอ่อน ลักษณะลำต้นไม่ทอดยอกรูปแบบการเจริญเติบโตกิ่งทอดยอก แดกกิ่งน้อย ใบมีรูปร่างใบย่อยกว้าง สีใบเขียว ขนสีน้ำตาลเข้ม ดอกสีขาว ฝักแก่มีสีน้ำตาลเข้ม เปลือกเมล็ดมีสีเหลือง ขั้วเมล็ดสีน้ำตาล รูปร่างเมล็ดค่อนข้างกลม

ลักษณะทางการเกษตร ลำต้นมีความสูง 55-65 เซนติเมตร ออกดอกเมื่ออายุ 31-35 วัน เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุ 88-95 วัน มีจำนวนฝัก 33-38 ฝักต่อต้น น้ำหนัก 100 เมล็ด 14.5-15.6 กรัม (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2530)

2.1.3 ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง

การแปรรูปถั่วเหลืองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายขึ้น และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่จำหน่ายในท้องตลาดสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ในรูปน้ำมันถั่วเหลือง และอาหารที่ทำจากถั่วเหลือง ซึ่งในผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลือง หลังจากการสกัดน้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวทำละลายแล้ว ส่วนที่เหลือจะเป็นเนื้อถั่วที่อุดมด้วยโปรตีน สามารถแปรรูปเป็นอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อเทียม (โปรตีนเกษตร) แป้ง เบเกอรี่ ทำโปรตีนเข้มข้น หรือผ่านกรรมวิธีเพื่อแยกเอาโปรตีนบริสุทธิ์ ส่วนอาหารที่ทำจากถั่วเหลืองในประเทศแถบเอเชีย เช่น ไทย จีน ญี่ปุ่น และประเทศอื่นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะแบ่งประเภทของอาหารที่ทำจากถั่วเหลืองได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก และผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมัก ในผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก ยกตัวอย่างเช่น น้ำมันถั่วเหลือง เต้าหู้ ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเหลือง เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลือง เช่น ถั่วเน่า เตมเป้ ซอสถั่วเหลือง เต้าเจี้ยว เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลายๆ ประเทศ เพื่อเป็นการขยายตลาดและเพิ่มความนิยมในการบริโภคถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่

เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง และเนยถั่วเหลือง เนื่องจากถั่วเหลืองมีองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น เลซิธิน โอลิโกแซคคาไรด์ วิตามินอี เป็นต้น (คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545)

2.2 เต้าหู้

เต้าหู้ (Tofu) จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ มีโปรตีนในปริมาณสูง เนื่องจากในเต้าหู้จะมีโปรตีนที่มากกว่าเนื้อสัตว์บางชนิดถึงสองเท่า เมื่อมีการเปรียบเทียบในปริมาณที่เท่ากัน อีกทั้งเต้าหู้ยังมีราคาที่ถูกกว่าเนื้อสัตว์ และเต้าหู้ยังเป็นอาหารที่ย่อยง่ายมีประโยชน์ต่อร่างกาย และไม่มีคอเรสเตอรอล รวมไปถึงเป็นอาหารที่สามารถหาบริโภคได้ง่าย

เต้าหู้สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด ตามปริมาณน้ำที่ถูกกำจัดออก และคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ คือชนิดอ่อน (soft หรือ silken) ชนิดแข็ง (firm)

เต้าหู้อ่อนทำจากนํ้านมถั่วเหลืองที่มีปริมาณของแข็ง ร้อยละ 10-12 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม แต่ยังคงมีความแข็งพอที่จะคงรูปอยู่ได้เมื่อมีการตัด มีความชื้นปริมาณร้อยละ 88-90 โดยในการผลิตเต้าหู้อ่อน สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ กัลคูโนเคลต้าแลคโตน หรือ สารละลายแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต ขั้นตอนในการผลิตเต้าหู้อ่อน จะผสมสารตกตะกอนกับนํ้านมถั่วเหลืองให้เข้ากัน บรรจุลงภาชนะบรรจุและปิดผนึก หลังจากนั้นแช่ในนํ้าร้อนอุณหภูมิ 80-95 องศาเซลเซียส ประมาณ 50 นาที แล้วนำไปแช่เย็นเพื่อเก็บรักษา เต้าหู้ชนิดนี้จะไม่มีการแยกเอาเวย์ออกจากเคิร์ด ทำให้มีปริมาณสารอาหารอยู่ในเต้าหู้สูง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม

เต้าหู้ชนิดแข็ง เป็นเต้าหู้ที่ผ่านการบีบอัดเคิร์ด ขั้นตอนในการผลิตจะเริ่มต้นจากการกวนสารตกตะกอนในนํ้านมถั่วเหลืองขณะร้อนอย่างรวดเร็วและทั่วถึงจากนั้นทำให้เคิร์ดที่เกิดขึ้นแตก และบีบอัดเคิร์ดนั้น แรงกดที่ใช้ในการบีบอัดจะมีผลต่อลักษณะของเต้าหู้ โดยแรงกดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อความแน่นเนื้อของเต้าหู้ ซึ่งเต้าหู้ที่มีความแน่นเนื้อสูงจะมีปริมาณน้ำต่ำมีลักษณะคล้ายเนื้อหรือเนยแข็ง สามารถคงรูปอยู่ได้ในขณะให้ความร้อน ดังนั้นเต้าหู้ที่ผ่านการบีบอัดจึงเป็นเต้าหู้ที่เหมาะสมสำหรับการทอด (น้ำทิพย์ และยุพร, 2544)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	หน่วย
พลังงาน	446	kcal
ความชื้น	8.54	g
โปรตีน	36.49	g
คาร์โบไฮเดรต	30.16	g
เส้นใย	9.3	g
ปริมาณไขมันทั้งหมด	19.94	g
Fatty acid, total saturated	2.884	g
Fatty acid, total monounsaturated	4.404	g
Fatty acid, total polyunsaturated	11.255	g
Fatty acid, total trans	0.000	g
Cholesterol	0	mg
แร่ธาตุ		
Calcium, Ca	227	mg
Iron, Fe	15.70	mg
Magnesium, Mg	280	mg
Phosphorus, P	704	mg
Potassium, K	1797	mg
Sodium, Na	2	mg
Zinc, Zn	4.98	mg
วิตามิน		
Vitamin C, total ascorbic acid	6.0	mg
Thiamin	0.874	mg
Riboflavin	0.870	mg
Niacin	1.623	mg
Vitamin B6	0.377	mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	หน่วย
Folate, DFE	375	µg
Vitamin B12	0.00	µg
Vitamin A, RAE	1	µg
Vitamin A, IU	22	IU
Vitamin E (alpha-tocopherol)	0.85	mg
Vitamin D (D2+D3)	0.0	µg
Vitamin D	0	IU
Vitamin K (phylloquinone)	47.0	µg

ที่มา : USDA National Nutrient database (2017)

ตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนที่จำเป็นในถั่วเหลืองแห้ง

กรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (grams of amino acid per 16 g nitrogen)
Lysine	6.9
Methionine	1.6
Tryptophan	1.3
Threonine	4.3
Isoleucine	5.1
Leucine	7.7
Phenylalanine	5.0
Valine	5.4

ที่มา : Preeti และคณะ (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งาดำ

งาดำมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* Linn. อยู่ในตระกูล Pedaliaceae งาดำเป็นพืชไร่ ประเภทไม้ล้มลุกมีความสูงประมาณ 155-185 เซนติเมตร (Sheahan, 2014) ลักษณะลำต้นเป็นรูปเหลี่ยม มีร่องตามยาวของลำต้น มีขนปกคลุม ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงตรงข้ามหรือสลับ ใบเป็นรูปไข่หรือรูปใบหอก มีความกว้างประมาณ 2-5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 6-10 เซนติเมตร ดอกจะเป็นดอกเดี่ยว มีกลีบดอกสีขาวหรือสีชมพู โดยออกดอกตามซอกใบ ภายในผลมีเมล็ดขนาดเล็ก แบบรูปไข่ อาจมีสีดำ น้ำตาล หรือสีขาว (นันทนา, 2549) เมล็ดงาดำมีขนาดเล็ก มีรสหวานเล็กน้อย มีไขมัน เมล็ดงาดำมีลักษณะเป็นเมล็ดเล็กกลมรี หรือรูปไข่ เมื่ออบแล้วจะมีกลิ่นคล้ายถั่วอบ

2.3.1 ชนิดและพันธุ์งาดำ

งาดำที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. งาดำ มีผิวเปลือกสีดำ พันธุ์งาดำที่นิยมปลูก ได้แก่ งาดำพันธุ์นครสวรรค์ มก.18 มข.2 และอุบลราชธานี3 (सानิต, 2558)
2. งาดำขาว มีผิวเปลือกสีขาว พันธุ์งาดำที่นิยมปลูก ได้แก่ งาดำพันธุ์ร้อยเอ็ด 1 มหาสารคาม 60 อุบลราชธานี2 และมก.1 (ถนอม, 2532)
3. งาดำ-แดง หรือ งาดำแดง หรือที่เรียกว่า งาดำเกษตร เมล็ดมีสีน้ำตาลแดง และสีดำปน ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก และสุโขทัย (วัชร, 2542)

2.3.2 คุณค่าทางโภชนาการของงาดำ

2.3.2.1 ไขมัน

ในเมล็ดงาดำจะมีไขมัน หรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูงประมาณร้อยละ 35-60 ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ประมาณร้อยละ 15 และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ร้อยละ 85 โดยมีกรดไขมันโอเลอิก หรือ โอเมก้า 9 ประมาณร้อยละ 36-40 และไลโนเลอิก หรือโอเมก้า 6 ประมาณร้อยละ 45-50 ซึ่งกรดไขมันทั้งสองตัวนี้ ช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และช่วยป้องกันการรวมตัวของเกล็ดเลือด ลดความเสี่ยงต่อการรวมตัวเป็นลิ่มของเลือด (วีระศักดิ์ และวิไลศรี, 2539) นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยกรดพาล์มิติก กรดสเตียริก แต่มีอยู่ในปริมาณน้อย (Namiki, 1995)

2.3.2.2 โปรตีน

เมล็ดงามีโปรตีนประมาณร้อยละ 16.7-27.4 ซึ่งประกอบด้วย กรดอะมิโนจำเป็น ได้แก่ เมทไธโอนีน (Methionine) ทริปโตฟาน (Tryptophan) ซิสทีน (Cystine) อาร์จินีน (Arginine) และลิวซีน (Leucine) ในปริมาณสูง (Olaiya, 2014) ซึ่งปริมาณของกรดอะมิโนจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสายพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 2.3

2.3.2.3 คาร์โบไฮเดรต

เมล็ดงาประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 18-20 ซึ่งพบปริมาณของกลูโคส (Glucose) และฟรุกโตส (Fructose) ในปริมาณต่ำ (Wankhede and Tharanathan, 1976)

2.3.2.4 วิตามิน

เมล็ดงามีวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามินบี ไบโอดีน โคลิน ไอโนสिटอล กรดพารา อะมิโนเบนโซอิก ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยบำรุงประสาท (วิไลศรี, 2546)

2.3.2.5 แร่ธาตุ

เมล็ดงามีแร่ธาตุที่สำคัญคือ ธาตุเหล็ก สังกะสี ไอโอดีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส มีอยู่ร้อยละ 4.1-6.5 งามีแคลเซียมมากกว่าพืชผักทั่วไป 40 เท่า มีฟอสฟอรัสมากกว่าพืชผักทั่วไป 20 เท่า (จันทนา, 2554) ธาตุสองชนิดนี้เป็นธาตุที่สำคัญในการเสริมสร้างกระดูก (ชนิกานต์, 2533) แต่ธาตุทั้งสองนี้อยู่ในอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้อัตราการดูดซึมของแคลเซียมต่ำ (วัชร, 2542)

2.3.2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ

เมล็ดงามีสารประกอบจำพวกลิกแนน (lignans) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารลิกแนนที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ สารเซซามิน (Sesamin) และเซซาโมลิน (Sesamol) ซึ่งสารสำคัญทั้งสองชนิดนี้มีอยู่ตามธรรมชาติในประมาณร้อยละ 0.5-1 และร้อยละ 0.3-0.5 ตามลำดับ และสารสำคัญสองชนิดนี้มีรายงานการวิจัยยืนยันว่าช่วยเพิ่มระดับของแกมมาโทโคฟีรอล (gamma-tocopherol) ในเลือดให้มากขึ้น และช่วยลดระดับของเบต้าโทโคฟีรอล (beta-tocopherol) ในเลือด ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลดระดับของคอเลสเตอรอลในเลือด (ศัลยา, 2547) และยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลในตับ และไม่ทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย ทำให้ระดับไขมันอยู่ในสัดส่วนที่พอดี (ปรัชญา, 2555)

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของงาดำ (100 กรัม)

คุณค่าทางโภชนาการ	งาดำดิบ	งาดำคั่ว	หน่วย
Water	4.69	3.30	g
Energy	533	600	kcal
Protein	16.67	16.96	g
Tryptophan	-	0.37	g
Threonine	-	0.70	g
Isoleucine	-	0.73	g
Leucine	-	1.29	g
Lysine	-	0.54	g
Methionine	-	0.56	g
Phenylalanine	-	0.89	g
Valine	-	0.94	g
Total lipid	46.67	60	g
Carbohydrate	20	20	g
Fiber, Total dietary	10	20	g
Sugar, total	0	0	g
Minerals			
Calcium, Ca	1333	1200	mg
Iron, Fe	12	72.0	mg
Vitamins			
Vitamin C, total ascorbic acid	0	0	mg
Vitamin A	0	0	IU
Lipid			
Fatty acids, total saturated	8.33	10	g
Fatty acids, total trans	0	0	g
Cholesterol	0	0	mg

ที่มา : USDA Nutrient database (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อัลจิเนต

อัลจิเนต (alginate) หรืออัลจिन (algin) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) สามารถพบได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ (Lee and Rogers, 2012) อัลจิเนตสกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) (Lai และคณะ, 2006) ในการผลิตอัลจิเนตเป็นอุตสาหกรรม สาหร่ายทะเลที่ใช้ได้แก่ *Macrocystis pyrifera* มีอัลจिनประมาณร้อยละ 14-19, *Laminaria cloustoni* และ *Laminaria digitata* มีอัลจिनประมาณร้อยละ 15-40 ปริมาณที่พบจะขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย ฤดูกาล และแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโต สาหร่ายเหล่านี้พบได้ทั่วไปในโลก ประเทศที่ผลิตอัลจิเนตมาก คือ อเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน นอร์เวย์ แคนาดา และญี่ปุ่น (สวามิณี และปฏิกุฑ์, 2557)

อัลจิเนตเป็น unbranched binary copolymer ของกรดแมนนูโรนิก (1,4- β -D-mannuronic acid; M) และกรดกลูโรนิก (L-guluronic acid; G) พอลิเมอร์ของอัลจิเนตจะฟอร์มโดยการเชื่อมระหว่างโมโนเมอร์ที่ตำแหน่ง C₁ และ C₄ ด้วยพันธะไกลโคซิดิก ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric ของกรดแมนนูโรนิก (M) และกรดกลูโรนิก (G) ที่เรียกว่า M- และ G-blocks ตามลำดับ และยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks ดังภาพที่ 2.1 (John และคณะ, 2014) สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนต เช่น ถ้าโพลิเมอร์มีกรดกลูโรนิก (G) ในปริมาณที่สูงจะมีสมบัติเป็นเจลที่แข็ง แต่ถ้าโพลิเมอร์มีกรดแมนนูโรนิก (M) ปริมาณสูง จะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่า

M block ประกอบด้วย β -D-mannuronic acid การจับกันระหว่างมอนอเมอร์ใน M block จะเป็นพันธะ β -1,4 ไกลโคซิดิก สายพอลิเมอร์มีลักษณะแบน (flat)

G block ประกอบด้วย α -L-guluronic acid สายพอลิเมอร์มีลักษณะโค้งงอ (buckled)

MG block ประกอบด้วย β -D-mannuronic acid และ α -L-guluronic acid

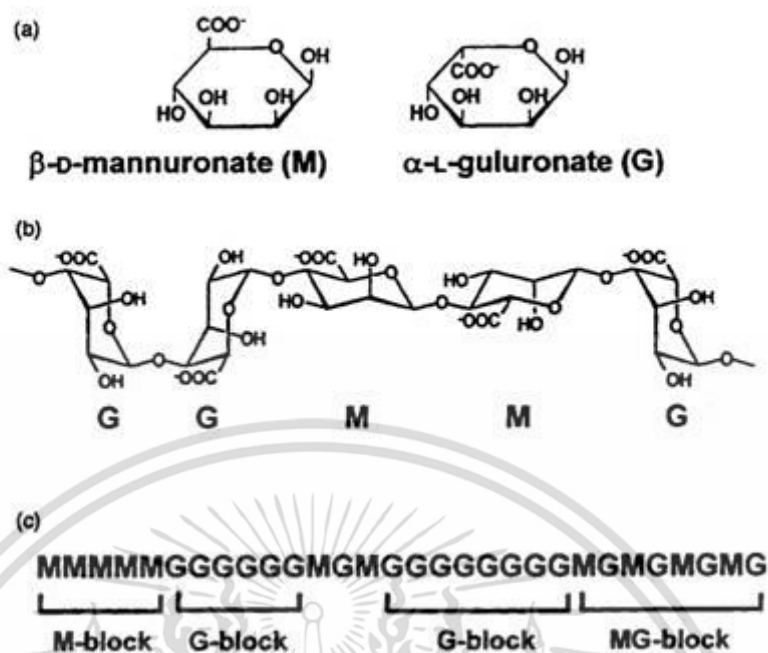
ในสายโมเลกุลของอัลจิเนต ส่วนที่เป็น G block มีลักษณะโค้งงอที่ถูกพับให้คงรูป มีความแข็งตึง เจลที่เตรียมจากอัลจิเนตที่มีกรดกลูโรนิกมากจะทำให้ความแข็งแรงของเจลสูง เจลที่ได้มีความแข็งไม่มีความยืดหยุ่น แต่ใน M block จะเป็นลักษณะแบน (flat) เจลที่มีอัลจิเนตที่มีแมนนูโรนิกมาก จะให้เซลล์ที่มีความอ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่น และในส่วนบล็อก MG จะมีความแข็ง

ตั้งปานกลาง โดยอัลจินตที่มีปริมาณ MG block มาก จะสามารถละลายน้ำได้ดี อัตราส่วนระหว่าง M/G จะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออนโลหะ (วรรณ, 2549)

อัลจินตที่ผลิตจำหน่ายเป็นการค้ามีหลายอนุพันธ์ซึ่งมีสมบัติการละลายในน้ำที่แตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ ของเกลือ Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ และยังผลิตในรูปของ propylene glycol alginate ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของ alginic acid กับ propylene oxide ภายใต้อุณหภูมิและความดัน อนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายอัลจินตที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และการมีโลหะประจุบวก (Phillips and Williams, 2003)

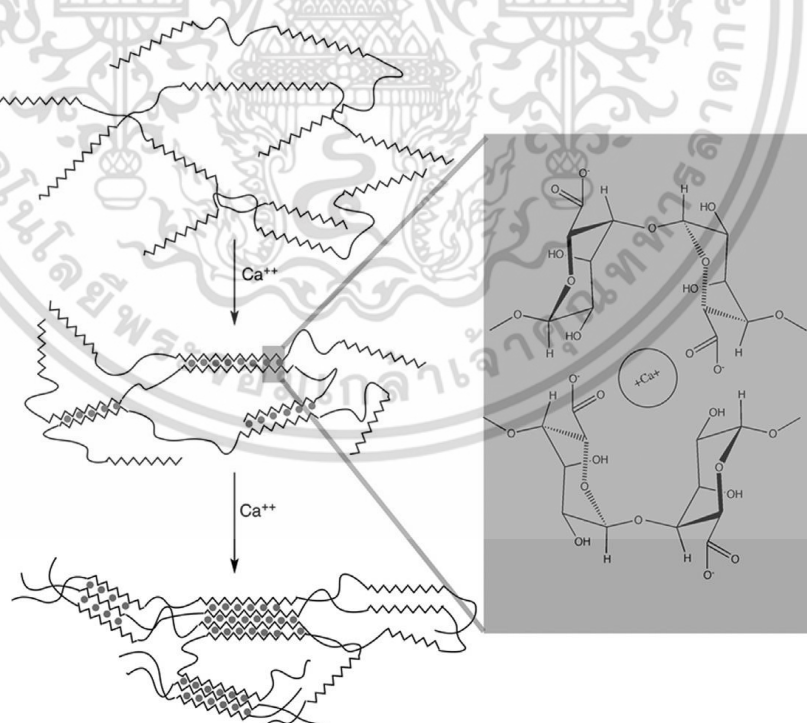
อัลจินตถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในด้านอาหาร ยา และอุตสาหกรรม เพราะอัลจินตมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ การเกิดเจล เป็นสารเพิ่มความหนืด และช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (John และคณะ, 2014) อัลจินตสามารถเกิดเป็นเจลได้เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีไอออนของโลหะที่เป็นพอลิวาเลนต์ เช่น Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} และ Al^{3+} ไอออนชนิดประจุบวกที่มักใช้สำหรับเตรียมเจลจากอัลจินต คือ Ca^{2+} ซึ่งสามารถจับกับ G block ได้ดี โดยเข้าไปแทนที่ H_3O^+ ของอัลจินตที่สร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ COO^- เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg box (ภาพที่ 2.2) แคทไอออนจะเกิดการรวมตัวกับส่วนที่มีประจุลบในโครงสร้างอัลจินต คือกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และหมู่ $-\text{OH}$ ที่มีอยู่ในสายพอลิเมอร์ใกล้เคียงกันสองสาย ด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond) ทำให้เกิดเป็นร่างแห

ถ้าไม่มีไอออนของ Ca^{2+} ในสารละลายจะไม่มีเกิดการเกิดเจล อัลจินตจะทำหน้าที่เป็นเพียงสารช่วยเพิ่มความหนืด ใช้สารละลายเท่านั้น การผสม Ca^{2+} ลงไปในสารละลายอัลจินต จะมีผลต่อลักษณะเจลที่ได้ ถ้าผสมเร็วเกินไปเจลที่ได้จะไม่ต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะเกิดเป็นจุด (spot gelation) ขึ้น และเจลที่เกิดจากอัลจินต เป็นเจลที่ผันกลับไม่ได้เมื่อได้รับความร้อน (thermoirreversible) นั่นคือทนต่อความร้อน (ไม่ละลาย) (วรรณวิมล, 2558)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของอัลจินเนต (Alginate) ชนิดต่างๆ

ที่มา : Phillips and Williams, 2000



ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิดเจลของ calcium alginate (Egg-box model)

ที่มา : Lee and Rogers, 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การขึ้นรูปทรงกลม

การขึ้นรูปแบบทรงกลมเป็นหนึ่งในเทคนิคของโมเลกุลาร์แกสโตรมี (molecular gastronomy) หมายถึง การนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการประกอบอาหารเพื่อทำให้เกิดเป็นอาหารรูปแบบแปลกใหม่และทำให้ผู้บริโภคมีความรู้สึกประหลาดใจในลักษณะปรากฏของอาหาร

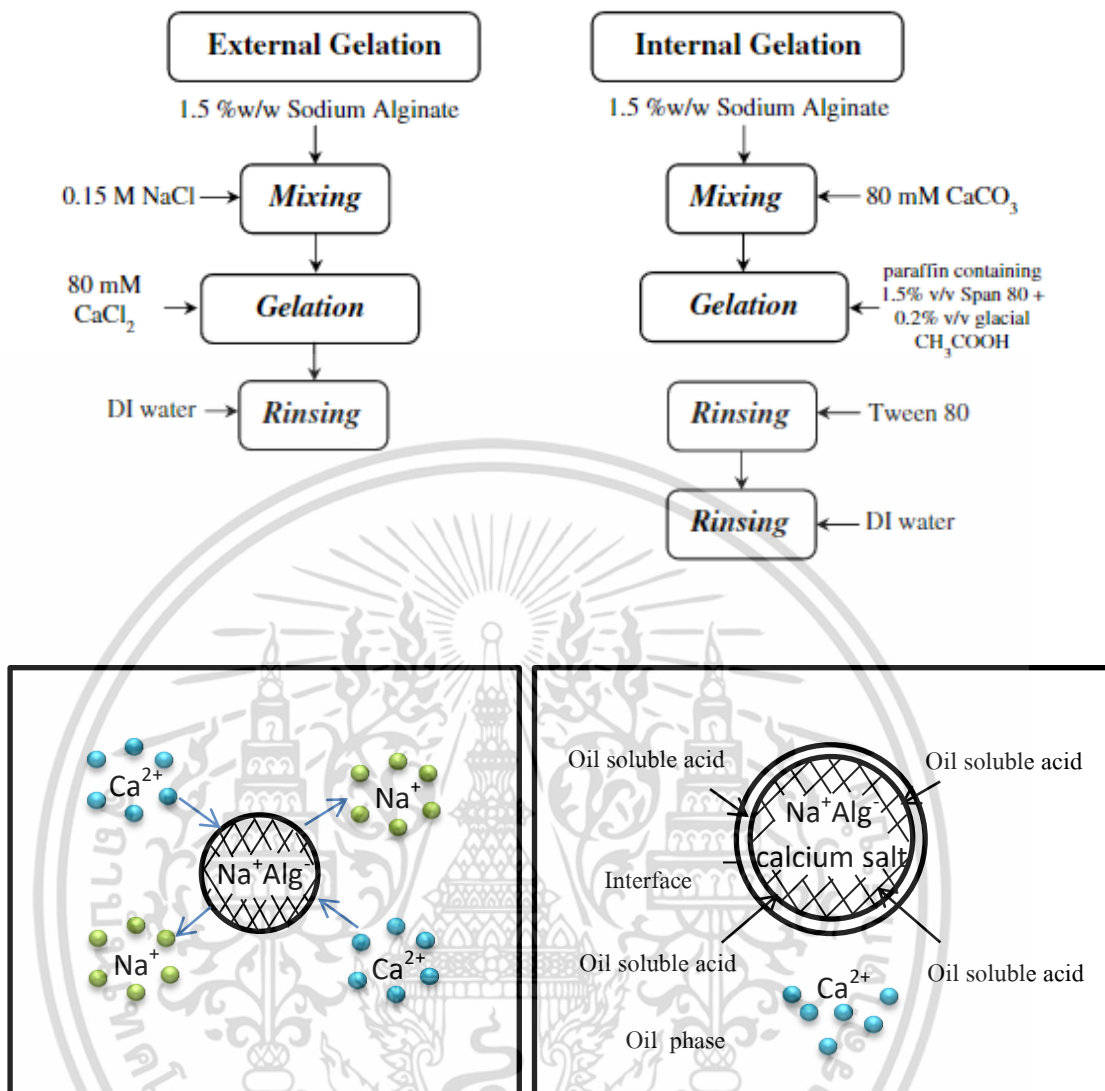
เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมถูกนำมาประยุกต์ใช้ในธุรกิจบริการอาหารครั้งแรกในปี 2003 จากร้านอาหารแอลบูยี ประเทศสเปน โดยพ่อครัวชาวสเปนชื่อ เฟอราน อาเดรีย การขึ้นรูปทรงกลม คือกระบวนการห่อหุ้มของเหลวด้วยเจลให้เป็นทรงกลม เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ในอาหารสมัยใหม่ (modernist cuisine) สามารถทำได้โดยใช้โซเดียมอัลจินตละลายในอาหารเหลวหดยส่วนผสมอาหารเหลวลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ หรือแคลเซียมแลคเตททำให้ได้ทรงกลมเล็กๆ ทรงกลมที่ได้จะมีรูปร่าง และเนื้อสัมผัสคล้ายไข่ปลาเคียวหรือทรงกลมขนาดใหญ่จะมีลักษณะคล้ายกับลูกแก้ว สามารถนำมาใช้จัดจานอาหารในแนวที่ทันสมัยแบบ molecular โดยเป็นส่วนประกอบในเมนูอาหารทั้งคาวและหวาน (Myhrovold และคณะ, 2011)

การขึ้นรูปทรงกลมมี 2 วิธีได้แก่

1.) External gelation เป็นเทคนิคที่ต้องจุ่มของเหลวหรืออาหารเหลวที่มีโซเดียมอัลจินตอยู่ลงในสารละลายแคลเซียม กระบวนการเกิดเจลของแคลเซียมอัลจินตเป็นกระบวนการที่เกิดจากการแพร่ของแคลเซียมไอออนเข้าภายในทรงกลม เกิดเป็นโครงตาข่าย (egg box) (John และคณะ, 2014) (ภาพที่ 2.3) เป็นเทคนิคที่สามารถทำได้ง่าย เชื้อหุ้มเซลล์ของทรงกลมที่ได้จะมีความเปราะและเมื่อรับประทานทำให้ทรงกลมแตกได้ง่าย อย่างไรก็ตามการเกิดเจลภายในทรงกลมสามารถเกิดได้ต่อเนื่อง แม้จะนำเม็ดเจลออกจากสารละลายแคลเซียมหรือล้างแล้วก็ตาม ทำให้ต้องเสริมผลิตภัณฑ์ที่ได้อย่างรวดเร็ว หากไม่ต้องการให้ทรงกลมมีลักษณะเป็นเจลทั้งเม็ด กล่าวคือต้องการให้อาหารภายในยังคงเป็นของเหลว (วรรณวิมล, 2558)

2.) Internal gelation เป็นเทคนิคที่เติม calcium source ได้แก่ calcium gluconate หรือ calcium lactate ลงในอาหารเหลวที่มีโซเดียมอัลจินต และหยดอาหารเหลวลงใน สารละลายที่มีกรดอะซิติก (glacial acetic acid) (John และคณะ, 2014) หลังจากนั้นจะเกิดการปลดปล่อย Ca^{2+} และ Ca^{2+} จะมา cross-linking กับอัลจินต เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (egg box) ภายในของเม็ดทรงกลม (ภาพที่ 2.3) (Lai และคณะ, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 การขึ้นรูปด้วยวิธี External gelation (ภาพซ้าย) และ Internal gelation (ภาพขวา)

ที่มา : John และคณะ, 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว

วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว (Response Surface Methodology; RSM) คิดค้นโดย Box ในปี ค.ศ. 1948 เป็นวิธีการที่ใช้เทคนิคทางสถิติ และคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาหาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการ หรือใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ดี เพื่อหาคุณลักษณะของคุณภาพ (quality characteristic) ของผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าตัวแปรตอบสนอง (response) หรือผลลัพธ์ โดยในการศึกษาหาความสัมพันธ์กับปัจจัยการทดลอง จะต้องมีการวางแผนและออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลด้วย เทคนิคทางสถิติที่ใช้แผนภาพคอนทัวร์ (contour plot) (อนุวัตร, 2552)

การออกแบบการทดลองด้วยวิธี full fraction factorial ที่อาศัยค่ากลางของข้อมูลจากระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองสูงสุด โดยนิยมออกแบบการทดลอง 2 วิธีคือ Central Composite Design (CCD) และ Box-Behnken Design (BBD) โดยใช้ในการกระจายระดับข้อมูลออกจากศูนย์กลาง เพื่อศึกษาระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองสูงสุด การออกแบบการทดลองแบบ BBD จะเน้นที่จุดรอบๆ ค่ากลาง โดยไม่รวมค่าการกระจายในระดับแกน (axial point) และค่าที่มุม (factorial point) ทำให้ค่าคงที่ที่ได้ไม่ครอบคลุมไปสุดของระดับปัจจัย ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบ CCD จึงได้รับความนิยมมากกว่า (Myers และคณะ, 2009)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธี RSM สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + E \quad (1)$$

โดยที่ Y คือค่าตอบสนอง (response) ซึ่งเป็นตัวแปรตาม และ X_1, X_2, \dots, X_k คือตัวแปรที่สนใจ ซึ่งเป็นตัวแปรต้น E = error term ของความสัมพันธ์หรือฟังก์ชันของตัวแปร ซึ่งมักใช้สมการลำดับที่หนึ่ง (first order model) หรือสมการลำดับที่สอง (Second order model) หรือสมการโพลิ โนเมียล (Polynomial Model) เป็นตัวอธิบาย โดยวิธีการทางสถิติที่ใช้คือ วิธีกำลังสองที่น้อยที่สุด (The Least Square Method) เพื่อประมาณค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณวิมล (2558) ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ในน้ำเย็นต่อการเกิดเจลของเต้าหู้ทรงกลม พบว่าระยะเวลาการแช่ในน้ำเย็นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาด น้ำหนัก ค่าความสว่าง และค่าความแข็งของเต้าหู้ทรงกลมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อแช่ในน้ำเย็น 12 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาการแช่เพิ่มขึ้น และศึกษาผลของความเข้มข้นของ โซเดียมอัลจินเตและแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการเกิดเจลของเต้าหู้ทรงกลม พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้โซเดียมอัลจินเตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.96 และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.59

ธนัชพร และพรรัศมี (2559) ศึกษาผลของการเติมน้ำตาลร้อยละ 5 และ 10 และเกลือร้อยละ 0.5 และ 1.0 ที่ส่งผลต่อคุณภาพของไข่มุกนมถั่วเหลือง พบว่าการเติมน้ำตาลร้อยละ 10 ทำให้ไข่มุกนมถั่วเหลืองไม่สามารถขึ้นรูปได้ และเมื่อเติมเกลือและน้ำตาลจะทำให้ค่าความแข็งของไข่มุกนมถั่วเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Ana และคณะ (1999) ศึกษาอิทธิพลของ โซเดียมอัลจินเต และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ในการเกิดเจล พบว่าการเกิดเจลจะอยู่ในรูปของแคลเซียมอัลจินเต การเพิ่มขึ้นของอัลจินเตก่อให้เกิดการลดลงของความหนาของเยื่อหุ้มเซลล์ ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้เกิดการก่อตัวของฟิล์มหนาขึ้น

Lee และ Rogers (2012) ศึกษาผลของการทำคาวีเยอร์แบบพื้นฐาน (basic caviar) โดยใช้โซเดียมอัลจินเต และแคลเซียมที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมกลูโคเนต ซึ่งพบว่าความเร็วในการเกิดเจลของโซเดียมอัลจินเตที่หดยกลงในสารละลายแคลเซียมเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มข้นของแคลเซียม ความแข็งแรงของเจลมีการเปลี่ยนแปลงตามแหล่งของแคลเซียมที่ใช้ ซึ่งพบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์จะให้ผลดีที่สุด เพราะใช้เวลาในการขึ้นรูปทรงกลม ประมาณ 100 วินาที ตามด้วยแคลเซียมแลคเตท ใช้เวลาในการขึ้นรูปทรงกลม ประมาณ 500 วินาที และแคลเซียมกลูโคเนต ใช้เวลาในการขึ้นรูปทรงกลม ประมาณ 2,000 วินาที ดังนั้นแคลเซียมคลอไรด์จึงเป็นที่นิยมมากที่สุด แต่การใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นมากจะให้รสขม

Liling และคณะ (2016) ศึกษาความหนาของฟิล์มอัลจินต โดยใช้พารามิเตอร์การเชื่อมโยงประจุ (crosslink) ที่แตกต่างกัน คือ Mn^{2+} , Zn^{2+} และ Ca^{2+} พบว่า Ca^{2+} ทำให้เจลมีความแข็งแรงมากที่สุด ถัดมาคือ Mn^{2+} และ Zn^{2+} ตามลำดับ และได้ศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ ร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 ต่อระยะเวลาในการเกิดเชื่อมโยงประจุ (crosslink) พบว่าระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ระยะเวลา 2 นาที มีค่า tensile strength และค่า elongation มากที่สุด

Nuchanart และคณะ (2010) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเซซามิน เซซาโมลิน และโทโคฟีรอล ในเมล็ดงา และในผลิตภัณฑ์น้ำมันงาในประเทศไทย พบว่าการกระจายตัวของสารเซซามิน เซซาโมลิน และโทโคฟีรอล ในเมล็ดงาจะเท่ากับ 1.55 mg/g, 0.62 mg/g และ 50.9-211 μ g/g ตามลำดับ ส่วนในผลิตภัณฑ์น้ำมันงาจะมีสารเซซามิน เซซาโมลิน และโทโคฟีรอล เท่ากับ 0.93-2.89 mg/g, 0.3-0.74 mg/g และ 304-647 μ g/g ตามลำดับ

Jimoh และคณะ (2011) ศึกษาการให้ความร้อนแก่เมล็ดงา โดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, และ 15 นาที และการให้ความร้อน โดยการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่าการให้ความร้อนโดยการต้มและการอบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางอาหารของเมล็ดงา และทำให้ Antinutrient composition มีค่าลดลง

Eva และคณะ (2012) ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่มีต่อลิกแนน ในเมล็ดแฟลกซ์ เมล็ดงาคำ และข้าวไรซ์ พบว่าการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส จะไม่ย่อยสลายลิกแนน และไกลโคไซด์ในตัวอย่างแห้ง แต่ในทางตรงกันข้ามการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสกับตัวอย่างที่มีความชื้นสูง จะทำให้เกิดการย่อยสลายของลิกแนน และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะทำให้ลิกแนน และไกลโคไซด์ในเมล็ดงา และข้าวไรซ์ สลายตัวอย่างรวดเร็ว

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เก็บเกี่ยวในระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2559 จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

3.1.1.2 งาดำพันธุ์ มก. 18 เก็บเกี่ยวเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 จากภาควิชาพืชไร่ นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

3.1.2.1 โซเดียมอัลจินต (Food grade) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

3.1.2.2 แคลเซียมคลอไรด์ (Food grade) จากบริษัท นวัตกรรม จำกัด

3.1.3 สารปรุงแต่งรสชาติ

3.1.3.1 น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล

3.1.3.2 เกลือบริ โภค ตราปรุงทิพย์

3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.4.1 ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาคความชื้น (Aluminium can)

3.1.4.2 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.4.3 ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)

3.1.4.4 ที่คีบ (Tong)

3.1.4.5 บีกเกอร์ (Beaker)

3.1.4.6 กระจกบอควง (Graduate cylinder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.4.7 แท่งแก้วคนสาร (Glass stirring rod)
- 3.1.4.8 ไมโครปิเปต (Micropipette)
- 3.1.4.9 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask)
- 3.1.4.10 Kjeldahl flask
- 3.1.4.11 Boiling chip
- 3.1.4.12 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 3.1.4.13 กรวยแก้ว (Glass funnel)
- 3.1.4.14 บิวเรต (Buret)
- 3.1.4.15 ขาตั้งบิวเรต (Stand Buret)
- 3.1.4.16 อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ (Infrared Thermometer)
- 3.1.4.17 เข็มฉีดยา (Syringe) ขนาด 10 ml
- 3.1.4.18 กะละมังสเตนเลส
- 3.1.4.19 ข้อนตวงขนาด 1/2 ซ้อนโต๊ะ
- 3.1.4.20 ผ้าขาวบางตาถี่

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) (Merek, Germany)
- 3.2.2 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) (Merek, Germany)
- 3.2.3 กรดบอริก 2 % (Merek, Germany)
- 3.2.4 สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (Merek, Germany)
- 3.2.5 สารละลายอินดิเคเตอร์ (Merek, Germany)
- 3.2.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Carbo Erba Reagenti, Italy)
- 3.2.7 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether 40-60) (Thailand)
- 3.2.8 เอซิลแอลกอฮอล์ (Merek, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์

- 3.3.1 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Ohaus Balance 2 decimal Ohaus รุ่น ARC120, USA)
- 3.3.2 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น TE214S, Switzerland)
- 3.3.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert รุ่น UNB400, Germany)
- 3.3.4 เครื่องย่อยโปรตีน Gerhardt (Kjeldatherm Digestion Block รุ่น KB (KB-8S), Germany)
- 3.3.5 เครื่องกลั่น โปรตีน (Gerhardt Vapodest VAP30, Germany)
- 3.3.6 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (รุ่น SOX406 SOX406 ; Soxhlet, China)
- 3.3.7 เครื่องวัดค่าสี (รุ่น CR400 ; Minota, Japan)
- 3.3.8 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro Systems Texture Analyzer, TA-XT Plus, UK)
- 3.3.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Schott Gerate, Germany)
- 3.3.10 เตาเผา (Muffle furnace) (Nabertherm LT40, Germany)
- 3.3.11 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper, China)
- 3.3.12 Stomacher (Bag Mixxer, 400 interscience, France)
- 3.3.13 เครื่องปั่นผสม (Philips รุ่น HR2118, Netherlands)
- 3.3.14 ตู้บ่มเชื้อจุลินทรีย์ (Kendro, Heraeus, Germany)
- 3.3.15 หม้อนึ่งอัดไอ (Tomy, Es-315, Japan)

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 การเตรียมงาคั่ว

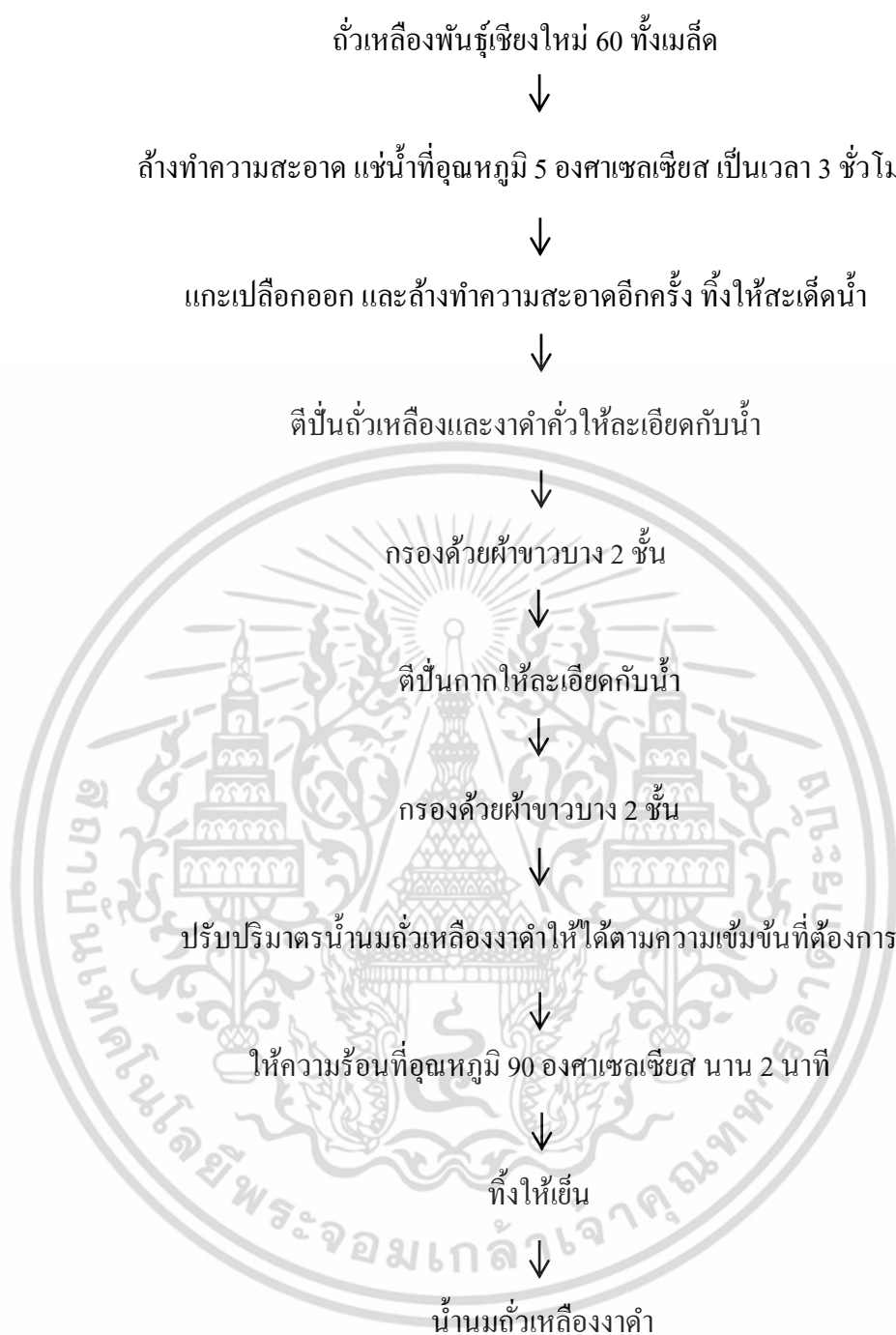
ทำการคัดเลือกสกปรกออกจากงาคั่ว และนำงาคั่ว 100 กรัม มาคั่วในหม้อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร โดยใช้เตาแก๊สไฟอ่อน คนงาคั่วให้ทั่วตลอดเวลา ใช้เวลาประมาณ 20 นาที เมล็ดงาคั่วจะมีอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส (Noel และคณะ, 2016) ตั้งทิ้งให้เย็นประมาณ 20 นาที เพื่อคายความร้อนออก และบรรจุงาคั่วในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนเก็บไว้ใช้ในการผลิตเต้าหู้งาคั่ว 1 วัน

3.4.2 การเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำ

นำถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มาล้างทำความสะอาด แช่ในน้ำปริมาตร 3 เท่า ของ น้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นล้างทำความสะอาด และแยกเอาเปลือกออก ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำถั่วเหลืองและงาดำคั่วไปตีปั่นกับน้ำ โดยใช้เครื่อง ปั่นผสม ความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 1 นาที ทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และเติมน้ำลงในกาก ที่เหลือ ตีปั่นอีกครั้ง เป็นเวลา 1 นาที ทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น ปรับปริมาตรรวมของน้ำนม ถั่วเหลืองงาดำตามความเข้มข้นที่ต้องการด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที (ภาพที่ 2.4)

3.4.3 การทำเต้าหู้งาดำทรงกลม

เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำตามวิธีในข้อ 3.4.2 และทำการเตรียมสารละลาย โซเดียมอัลจินเตในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการผสมสารละลายโซเดียมอัลจินเต กับน้ำนมถั่วเหลืองงาดำปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใช้เครื่องปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 1 นาที จะได้ของผสมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำที่มีความข้นหนืดสูง ทำการขึ้นรูปน้ำนมถั่วเหลือง งาดำที่เตรียมได้โดยการบรรจุของผสมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในช้อน ตวงขนาด $\frac{1}{2}$ ช้อนโต๊ะ จุ่มช้อนลงในสารละลายของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ โดยใช้ ตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองงาดำ 100 มิลลิลิตร ต่อสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ปริมาตร 300 มิลลิลิตร แคลเซียมคลอไรด์จะเข้าล้อมรอบน้ำนมถั่วเหลืองงาดำ เกิดเป็นเต้าหู้งาดำทรงกลม และแช่เต้าหู้งาดำทรงกลมในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปล้าง ด้วยน้ำกรอง แล้วแช่เต้าหู้งาดำทรงกลมในน้ำที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และนำไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ก่อนนำไปใส่ภาชนะที่ ผ่านการฆ่าเชื้อ และบรรจุน้ำที่ผ่านการ สเตอริไรซ์ นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองงาคั่ว

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Puechkamut (2004)

3.4.4 การศึกษาหาอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำในการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม

เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำตามวิธีการในข้อ 3.4.2 และผลิตเต้าหู้งาดำตามวิธีการในข้อ 3.4.3 โดยใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:5 1:7.5 และ 1:10 และใช้ปริมาณงาดำคั่วเท่ากับร้อยละ 50 ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ใช้โซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นร้อยละ 1.75 ของผสมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำ และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.75 และทำการวิเคราะห์คุณภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลมทางกายภาพ และทดสอบทางลักษณะประสาทสัมผัส เพื่อเลือกปริมาณของถั่วเหลืองต่อน้ำที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลมต่อไป

3.4.4.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้งาดำ

- 1.) วิเคราะห์น้ำหนักของเต้าหู้งาดำทรงกลมด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 2.) วิเคราะห์ขนาดของเต้าหู้งาดำทรงกลมด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์
- 3.) วิเคราะห์ค่าสีของเต้าหู้งาดำทรงกลมด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR 400 ซึ่งแสดงผลในรูปของค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*)
- 4.) วิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาดำทรงกลมด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-xt.plus) โดยทำการวิเคราะห์ค่าความแข็ง

3.4.4.2 การตรวจสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

นำเต้าหู้งาดำทรงกลมมาทดสอบการยอมรับ โดยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale scoring ที่คะแนนความชอบตั้งแต่ 1-9 (เมื่อคะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด 9 คือ ชอบมากที่สุด) ให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ทดสอบกับผู้ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน ($n = 50$) โดย เสรฟเต้าหู้งาดำทรงกลมในน้ำขิง (ภาคผนวก จ)

3.4.5 การศึกษาหาปริมาณงาดำในการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม

เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำตามวิธีการในข้อ 3.4.2 และผลิตเต้าหู้งาดำตามวิธีการในข้อ 3.4.3 โดยใช้ปริมาณของถั่วเหลืองต่อน้ำที่ได้คัดเลือกมาจากข้อ 3.4.4 และใช้งาดำคั่วปริมาณร้อยละ 40 50 และ 60 ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง ใช้โซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นร้อยละ 1.75 ของผสมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำ และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.75 และทำการวิเคราะห์คุณภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลมตามวิธีในข้อ 3.4.4.1 และทดสอบทาง

ลักษณะประสาทสัมผัสตามวิธีในข้อ 3.4.4.2 เพื่อเลือกปริมาณของงาดำที่เหมาะสมในการผลิต เต้าหู้งาดำทรงกลมต่อไป

3.4.6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต และปริมาณ แคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลม

เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำตามวิธีการในข้อ 3.4.2 และผลิตเต้าหู้งาดำตามวิธีการในข้อ 3.4.5 โดยใช้โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.5 1.75 และ 2 ของของผสมน้ำนมถั่วเหลืองงาดำ และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 1.75 และ 2 และทำการวิเคราะห์คุณภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เตรียมได้ตามวิธีในข้อ 3.4.4.1

วางแผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Method, RSM) สภาวะที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 เทคนิคทางสถิติใช้แผนภาพคอนทัวร์ (Contour plot) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่สนใจ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยวิธีทางสถิติ คือ วิธีการกำลังสองที่น้อยที่สุด (The least square method) เพื่อประมาณค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยฟังก์ชันที่ใช้ เรียกว่า Fitted response function : แสดงในสมการที่ (2)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 \quad (2)$$

เมื่อ Y คือค่าการทำนายค่าของตัวแปร (response) คือ น้ำหนัก ขนาด ค่าสี (ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง) และค่าเนื้อสัมผัสของทรงกลม ในขณะที่ X_1 คือ sodium alginate level และ X_2 คือ calcium chloride level และจากสมการทำนายที่ได้ ทำการเลือกสภาวะที่ใช้ในการทดลองต่อไป โดยพิจารณาจากปริมาณของโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ที่น้อยที่สุด ที่ให้ค่าความแข็งของเต้าหู้งาดำทรงกลมสูงสุด

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM)

Run	Alginate (%)	CaCl ₂ (%)
1	1.50	1.50
2	1.50	1.75
3	1.50	2.00
4	1.75	1.50
5	1.75	1.75
6	1.75	1.75
7	1.75	1.75
8	1.75	1.75
9	1.75	1.75
10	1.75	2.00
11	2.00	1.50
12	2.00	1.75
13	2.00	2.00

3.4.7 การศึกษาผลของการเติมสารปรุงแต่งรสชาติในเต้าหู้งาคำทรงกลม

ทดลองทำเต้าหู้งาคำทรงกลมตามภาวะที่เลือกจากข้อ 3.4.6 และทดลองเติมสารปรุงแต่งรสชาติโดยใช้เกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1 หรือน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 เปรียบเทียบผลของการแช่เต้าหู้งาคำทรงกลมที่เตรียมได้ในน้ำเปล่า และน้ำที่ใส่สารปรุงแต่งรสชาติตามความเข้มข้นที่กำหนดข้างต้น เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพของเต้าหู้งาคำทรงกลมตามวิธีในข้อ 3.4.4.1 ทดสอบทางประสาทสัมผัสตามวิธีในข้อ 3.4.4.2 และวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่ปรุงแต่งรสชาติ และไม่ปรุงแต่งรสชาติ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ทำการถ่ายภาพที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.8 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาคำทรงกลมในระหว่างการเก็บรักษา

ทดลองทำเต้าหู้งาคำทรงกลมตามสภาวะที่เลือกจากข้อ 3.4.6 โดยเก็บรักษาในกล่องพลาสติกที่ทำจากโพลีโพรพิลีน กว้าง 60 กรัม ในน้ำสเตอร์ไรซ์ 100 มิลลิลิตร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยทำการตรวจสอบ

3.4.8.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ด้านสี และเนื้อสัมผัส

3.4.8.2 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) รายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัม

3.4.8.3 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter

3.4.8.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด ด้วยการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน (AOAC, 2012) ดังภาคผนวก ข-5

3.4.9 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาคำทรงกลม

ทดลองทำเต้าหู้งาคำทรงกลมตามสภาวะที่ได้คัดเลือกจากข้อ 3.4.6 นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

3.4.9.1 ความชื้น (moisture) ตามวิธีการของ (AOAC, 2012) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข-1

3.4.9.2 เถ้า (ash) ตามวิธีการของ (AOAC, 2012)) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข-2

3.4.9.3 ปริมาณโปรตีน (protein) ตามวิธีการของ (AOAC, 2012)) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข-3

3.4.9.4 ไขมัน (fat) ตามวิธีการของ (AOAC, 2012)) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข-4

3.4.9.5 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ตามวิธีการของ (AOAC, 2012)

3.4.9.6 แคลเซียม (calcium) ตามวิธีการของ (AOAC, 2016) วิเคราะห์โดยสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

3.4.10 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (Complete randomize design, CRD) โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

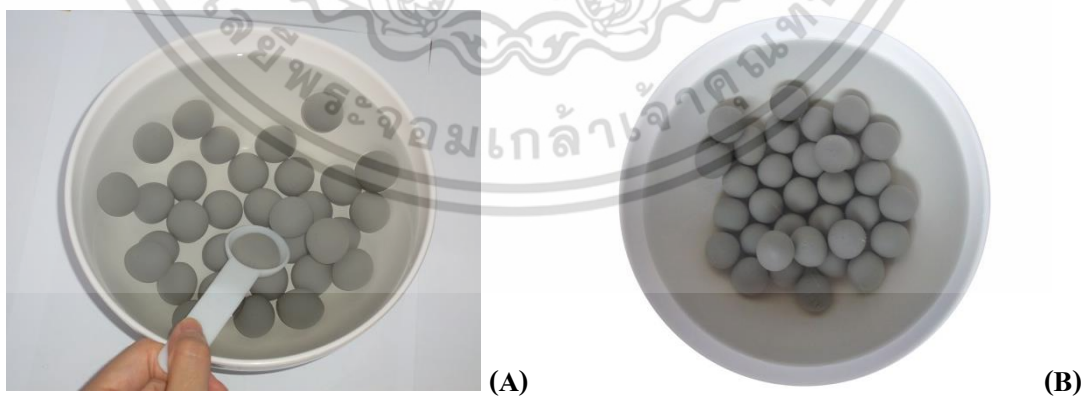
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของตัวเหลืองต่อน้ำเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเต้าหู้งาคำทรงกลม

การผลิตเต้าหู้งาคำทรงกลม อาศัยการเกิดเจลของโซเดียมอัลจิเนตในสภาพที่มีเกลือแคลเซียม เมื่อหยดน้ำนมถั่วเหลืองงาคำที่ผสมโซเดียมอัลจิเนตลงในอ่างแคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมไอออนจะเข้าจับกับอัลจิเนต ทำให้เกิดการฟอร์มเจลทันที เป็นผลให้เกิดเป็นเจลบางๆ ล้อมรอบทรงกลม การเกิดเจลดำเนินต่อไปเมื่อแช่ในน้ำ จนกระทั่งเกิดเจลสมบูรณ์ทั้งเม็ดของเต้าหู้งาคำทรงกลม ภาพตัวอย่างของเต้าหู้งาคำทรงกลม แสดงดังรูปที่ 4.1

การศึกษารูปของอัตราส่วนของตัวเหลืองต่อน้ำในการขึ้นรูปเต้าหู้งาคำทรงกลม ทำการเตรียมเต้าหู้งาคำทรงกลมโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.75 งาคำร้อยละ 50 ของน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง และใช้อัตราส่วนของตัวเหลืองต่อน้ำเท่ากับ 1:5, 1:7.5 และ 1:10 นำเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ซึ่งได้แก่น้ำหนัก ขนาด ค่าสี และลักษณะเนื้อสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 และทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.1 เต้าหู้งาคำทรงกลม

(A) เต้าหู้งาคำทรงกลมในสารละลายแคลเซียม

(B) เต้าหู้งาคำทรงกลมที่แช่ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ ต่อน้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาดำทรงกลม

Soybean : Water	Weight (g) ^{ns}	Size (cm) ^{ns}
1:5	4.84±0.04	2.13±0.05
1:7.5	4.83±0.31	2.13±0.01
1:10	4.80±0.47	2.12±0.04

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากการทดลองการผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลมโดยใช้อัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ ทั้ง 3 สภาวะ พบว่าสามารถขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลมได้ดี เจลเกิดขึ้นสมบูรณ์ทั้งเม็ด อย่างไรก็ตาม พบว่าอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:5 ถึง 1:10 ไม่มีผลต่อขนาดและน้ำหนักของเต้าหู้งาดำทรงกลม (p>0.05) (ตารางที่ 4.1) โดยพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของเต้าหู้งาดำทรงกลมมีค่า 2.13 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 4.83 กรัม

ตารางที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ ต่อค่าสีของเต้าหู้งาดำทรงกลม

Soybean : Water	L*	a*	b*
1:5	53.81±0.15 ^c	0.44±0.03 ^b	0.77±0.02 ^c
1:7.5	54.73±0.47 ^b	0.46±0.02 ^b	0.84±0.02 ^b
1:10	56.71±0.29 ^a	0.55±0.02 ^a	1.33±0.02 ^a

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าสีของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเต้าหู้งาดำทรงกลม มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) โดยพบว่าค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 53.81 และ 0.77 ไปเป็น 56.71 และ 1.33 เมื่ออัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำเปลี่ยนแปลงจาก 1:5 ไปเป็น 1:10 ตามลำดับ การใช้อัตราส่วนของน้ำมากขึ้น จะทำให้น้ำนมถั่วเหลืองงาคั่วที่เตรียมได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยลง จึงส่งผลต่อค่าความสว่างของเต้าหู้งาดำทรงกลม มีค่า

ความสว่าง และค่าสีเหลืองสูงกว่าเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เตรียมจากน้ำนมถั่วเหลืองงาคำที่ใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่า (Tanteeratarom และคณะ, 1997)

ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาคำทรงกลม

Soybean : Water	Hardness (g-force)	Springiness ^{ns}	Cohesiveness ^{ns}	Gumminess ^{ns}	Chewiness ^{ns}
1:5	2637.93±138.44 ^a	0.91±0.01	0.74±0.01	5.26±0.93	4.94±0.60
1:7.5	2461.71±239.85 ^b	0.90±0.01	0.73±0.00	5.03±0.46	4.53±0.39
1:10	2194.73±180.92 ^c	0.91±0.02	0.74±0.01	5.30±0.25	4.83±0.13

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลของปริมาณถั่วเหลืองในการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาคำทรงกลม พบว่าค่า springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อปริมาณของน้ำในสูตรที่ใช้เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความแข็ง (hardness) ของเต้าหู้งาคำทรงกลมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าค่าความแข็งของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เตรียมจากอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:10 มีค่า 2197 กรัม-แรง ในขณะที่อัตราส่วน 1:5 มีค่า 2637 กรัม-แรง (ตารางที่ 4.3) การเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงาคำโดยใช้ปริมาณน้ำมากขึ้น ทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำลดน้อยลง จึงส่งผลให้เต้าหู้งาคำทรงกลมที่ใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:10 มีความแข็งน้อยกว่าเต้าหู้งาคำทรงกลมที่ใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:7.5 และ 1:5 (Pumpho and Puechkamut, 2015) นอกจากนี้การใช้อัตราส่วนของถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองงาคำเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดเจลได้ดีขึ้น (น้ำทิพย์ และยุพร, 2544) เต้าหู้งาคำทรงกลมที่ใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองมากขึ้น จึงมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคำทรงกลม

Soybean :	Properties				
	Water	Appearance ^{ns}	Color ^{ns}	Texture	Flavor ^{ns}
1:5	7.54±0.84	7.48±0.99	5.38±1.60 ^b	7.08±0.98	7.50±0.99
1:7.5	7.56±0.86	7.52±0.95	7.54±1.07 ^a	7.08±0.98	7.58±1.01
1:10	7.52±0.86	7.50±0.95	7.52±1.09 ^a	7.10±1.02	7.58±1.01

หมายเหตุ : ^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=50)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคำทรงกลม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ประเมินคุณลักษณะทางด้านต่างๆ ของเต้าหู้งาคำทรงกลม ซึ่งได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดยเลือกสุ่มในน้ำจืด (ภาคผนวก จ) จากการสอบถามผู้ชิมเบื้องต้นก่อนทำการทดลอง พบว่าผู้ชิมส่วนใหญ่แนะนำให้ผู้ผลิตเต้าหู้งาคำทรงกลมเหมาะสมทานกับน้ำจืด ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามคะแนนด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำที่ 1:5 มีคะแนนน้อยกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีคะแนนความชอบอยู่ที่ 5.38 ในขณะที่ตัวอย่างอื่นมีคะแนนความชอบ ประมาณ 7.5 ผู้ชิมส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่าเต้าหู้งาคำทรงกลมที่ใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:5 แข็งเกินไป ในขณะที่คะแนนเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาคำที่เตรียมจากอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:7.5 และ 1:10 ได้รับความเห็นชอบใกล้เคียงกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเลือกอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:7.5 มาใช้ในการผลิตเต้าหู้งาคำทรงกลมต่อไป เนื่องจากน้ำนมถั่วเหลืองที่ใช้อัตราส่วนนี้จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าที่อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:10

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนของงาดำคั่วเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม

การศึกษาผลของอัตราส่วนของปริมาณงาดำคั่วในการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม ทำการเตรียมเต้าหู้งาดำทรงกลมโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.75 ใช้อัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำตามที่ได้เลือกจากข้อ 4.1 คือ 1:7.5 และใช้งาดำคั่วร้อยละ 40, 50 และ 60 ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง นำเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก ขนาด ค่าสี และลักษณะเนื้อสัมผัส ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 ถึง 4.7 และทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนของงาดำคั่วต่อน้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาดำทรงกลม

Sesame (%)	Weight (g) ^{ns}	Size (cm) ^{ns}
40	4.83±0.03	2.13±0.02
50	4.83±0.05	2.13±0.02
60	4.85±0.18	2.14±0.02

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.6 ผลของอัตราส่วนของงาดำคั่วต่อค่าสีของเต้าหู้งาดำทรงกลม

Sesame (%)	L*	a*	b*
40	60.13±0.58 ^a	0.63±0.02 ^a	1.59±0.03 ^a
50	56.09±0.43 ^b	0.45±0.02 ^b	1.35±0.05 ^b
60	53.31±0.26 ^c	0.31±0.03 ^c	0.80±0.05 ^c

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากการทดลองในเบื้องต้น พบว่าการใช้งาคั่วในปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 จะทำให้น้ำนมถั่วเหลืองงาคั่วที่เตรียมได้มีไขมันลอยอยู่ด้านบน และจะส่งผลให้มีปัญหาในขั้นตอนการขึ้นรูปเต้าหู้งาคั่วทรงกลม ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้อัตราส่วนของงาคั่วในปริมาณร้อยละ 40, 50 และ 60

จากการทดลองผลิตเต้าหู้งาคั่วทรงกลมโดยใช้อัตราส่วนของงาคั่วในการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้อัตราส่วนงาคั่วร้อยละ 40, 50 และ 60 นั้น ไม่ทำให้น้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาคั่วทรงกลมมีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.5) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราส่วนของงาคั่วในเต้าหู้งาคั่วทรงกลมมีผลทำให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองลดลง ($p\leq 0.05$) โดยพบว่าการใช้อัตราส่วนงาคั่ว ร้อยละ 40 ทำให้เต้าหู้งาคั่วทรงกลมมีค่าความสว่างมากที่สุด คือ 60.13 ส่วนการใช้งาคั่วร้อยละ 50 และ 60 มีค่าความสว่างลดลงมาเท่ากับ 56.09 และ 53.31 ตามลำดับ และการใช้อัตราส่วนของงาคั่ว เป็นผลทำให้ค่าสีแดงและสีเหลืองลดลงจาก 0.63 เป็น 0.31 และ 1.59 เป็น 0.80 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) เนื่องมาจากการใช้งาคั่วเพิ่มมากขึ้น จะทำให้น้ำนมถั่วเหลืองงาคั่วที่เตรียมได้มีสีเข้ม จึงส่งผลต่อค่าความสว่างของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม มีค่าความสว่างน้อยกว่าเต้าหู้งาคั่วทรงกลมที่เตรียมจากงาคั่วที่ใช้ปริมาณน้อย

ตารางที่ 4.7 ผลของอัตราส่วนของงาคั่วต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม

Sesame (%)	Hardness (g-force)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess ^{ns}	Chewiness ^{ns}
40	2295.90±186.88 ^c	0.93±0.01 ^{ab}	0.75±0.01 ^b	5.32±0.94	4.94±0.86
50	2566.60±57.07 ^b	0.94±0.02 ^a	0.77±0.02 ^a	5.57±1.08	5.24±1.07
60	2778.53±112.98 ^a	0.93±0.01 ^b	0.74±0.01 ^b	5.46±0.73	5.05±0.65

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม พบว่าค่า gumminess และ chewiness ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ค่าความแข็งของเต้าหู้งาคั่วทรงกลมที่ใช้งาคั่วร้อยละ 60 มีค่ามากที่สุด คือมีค่า 2778.53 กรัม-แรง รองลงมาคือการใช้อัตราส่วนของงาคั่วร้อยละ 50 และ 40 มีค่า

ความแข็ง เท่ากับ 2566.60 และ 2295.90 กรัม-แรง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) การที่เป็นเช่นนี้เกิดจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพิ่มปริมาณงาคั่วมากขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในน้ำมันถั่วเหลืองงาคั่วเพิ่มขึ้น (สุริย์, 2552) จึงส่งผลให้เต้าหู้งาคั่วทรงกลมมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลมเมื่อใช้งาคั่วในปริมาณต่างๆ

Sesame (%)	Properties				
	Appearance ^{ns}	Color	Texture	Flavor	Overall ^{ns}
40	7.50±0.86	5.14±1.16 ^b	7.16±1.61 ^a	6.62±1.29 ^b	7.18±0.72
50	7.62±0.81	7.16±0.89 ^a	7.46±0.86 ^a	7.18±0.92 ^a	7.38±0.53
60	7.66±0.80	7.26±1.18 ^a	6.52±1.23 ^b	7.24±1.08 ^a	7.32±0.62

หมายเหตุ : ^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=50)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ประเมินคุณลักษณะทางต่างๆ ของเต้าหู้งาคั่วทรงกลม ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คะแนนด้านกลิ่นรสพบว่า เต้าหู้งาคั่วทรงกลมที่เตรียมจากงาคั่วร้อยละ 50 และ 60 มีคะแนนสูงกว่าการใช้งาคั่วร้อยละ 40 โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่ากลิ่นหอมของงาคั่ว และเนื่องจากผลคะแนนความชอบโดยรวมในการทดลองนี้ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เพื่อให้ได้เต้าหู้งาคั่วทรงกลมที่มีปริมาณแคลเซียมสูง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกอัตราส่วนงาคั่วร้อยละ 60 ของน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองแห้งไปใช้ในการผลิตเต้าหู้งาคั่วทรงกลมในการทดลองต่อไป

4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตและปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อการเกิดเจลของเต้าหู้งาดำทรงกลม

การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์ในการขึ้นรูปเต้าหู้งาดำทรงกลม โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method, RSM) ออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design โดยกำหนดให้ X_1 คือ ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต และ X_2 คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ ปัจจัย (response) ที่ทำการตรวจสอบ คือ น้ำหนัก ขนาด ค่าสี และเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาดำทรงกลม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9

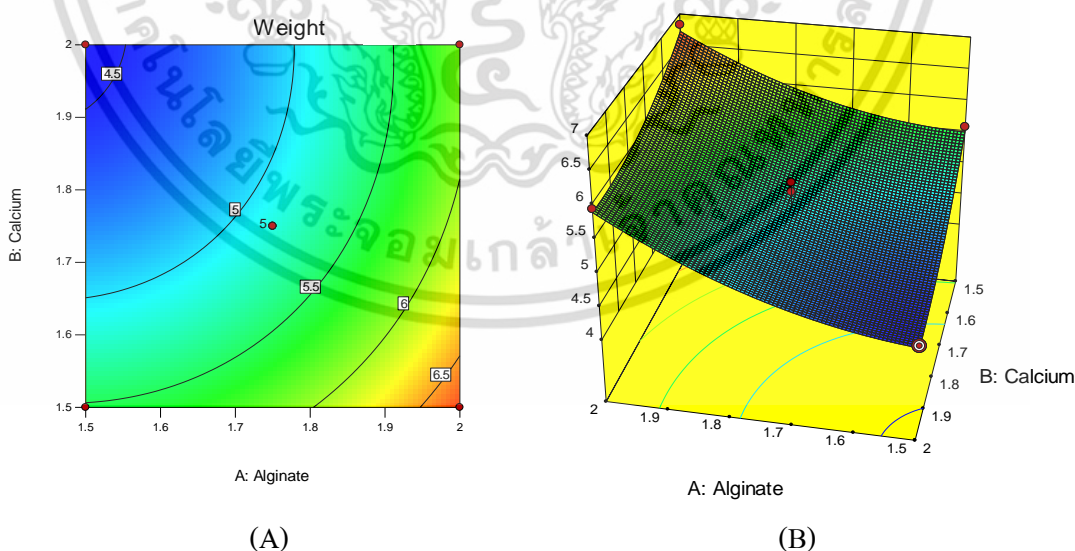


ตารางที่ 4.9 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design และค่าตอบสนองของปัจจัย

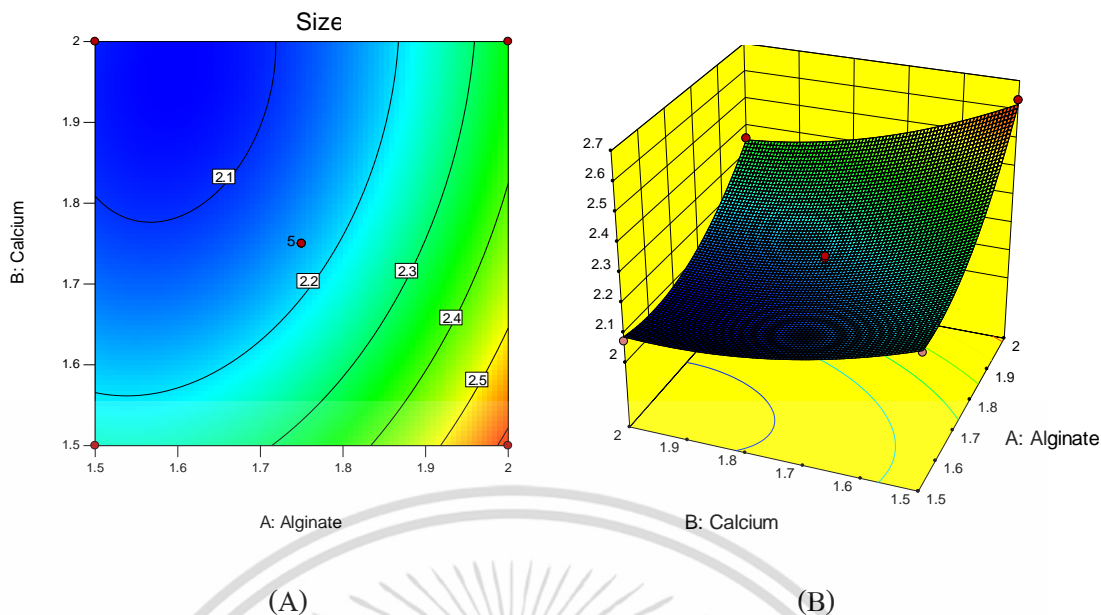
RUN	Alginate (%)	Calcium (%)	Weight (g)	Size (cm)	Color			Hardness (g-force)	springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
					L*	a*	b*					
1	1.50	1.50	5.61	2.24	54.45	0.36	1.26	2309.20	0.9187	0.7296	5.2753	4.9778
2	1.50	1.75	4.69	2.17	53.28	0.45	0.86	2734.79	0.9245	0.7300	5.2873	4.7530
3	1.50	2.00	4.48	2.07	53.62	0.46	0.84	2522.00	0.9230	0.7324	5.2834	4.8780
4	1.75	1.50	6.19	2.41	53.38	0.37	1.36	2074.02	0.9265	0.7376	5.3672	4.8970
5	1.75	1.75	5.52	2.22	53.34	0.45	0.85	2325.78	0.9243	0.7322	5.2898	4.7170
6	1.75	1.75	5.08	2.15	53.46	0.46	0.83	2540.59	0.9311	0.7340	5.3168	4.8462
7	1.75	1.75	4.94	2.13	53.15	0.46	0.86	2522.00	0.9312	0.7410	5.3922	4.7796
8	1.75	1.75	5.38	2.21	53.47	0.46	0.85	2493.41	0.9332	0.7416	5.4522	5.0568
9	1.75	1.75	4.81	2.12	53.53	0.47	0.86	2542.31	0.9307	0.7415	5.4160	4.5320
10	1.75	2.00	4.92	2.13	53.61	0.45	0.88	2849.33	0.9139	0.7237	5.1594	4.3036
11	2.00	1.50	6.83	2.63	58.51	0.33	1.78	2556.62	0.9020	0.7024	5.0716	3.4800
12	2.00	1.75	6.56	2.59	58.49	0.32	1.67	3049.03	0.9406	0.7804	5.7156	5.3726
13	2.00	2.00	5.97	2.36	58.67	0.33	1.72	3161.14	0.9379	0.7585	5.4618	5.5736

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 เมื่อนำผลของค่าตอบสนองของปัจจัยมาเขียนแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนองได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.2 ถึง 4.7 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตคงที่ การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้น้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาดำทรงกลมมีแนวโน้มลดลง มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์คงที่ การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต ทำให้น้ำหนัก ขนาด และค่าความแข็งของเต้าหู้งาดำทรงกลมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.7) นอกจากนี้เมื่อขนาดของเต้าหู้งาดำเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองของเต้าหู้งาดำทรงกลมมีค่าสูงขึ้น (ภาพที่ 4.4 และ 4.6) อาจเนื่องมาจาก เมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณน้ำที่เต้าหู้งาดำทรงกลมดูดซึมได้มีมากขึ้น จึงทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น

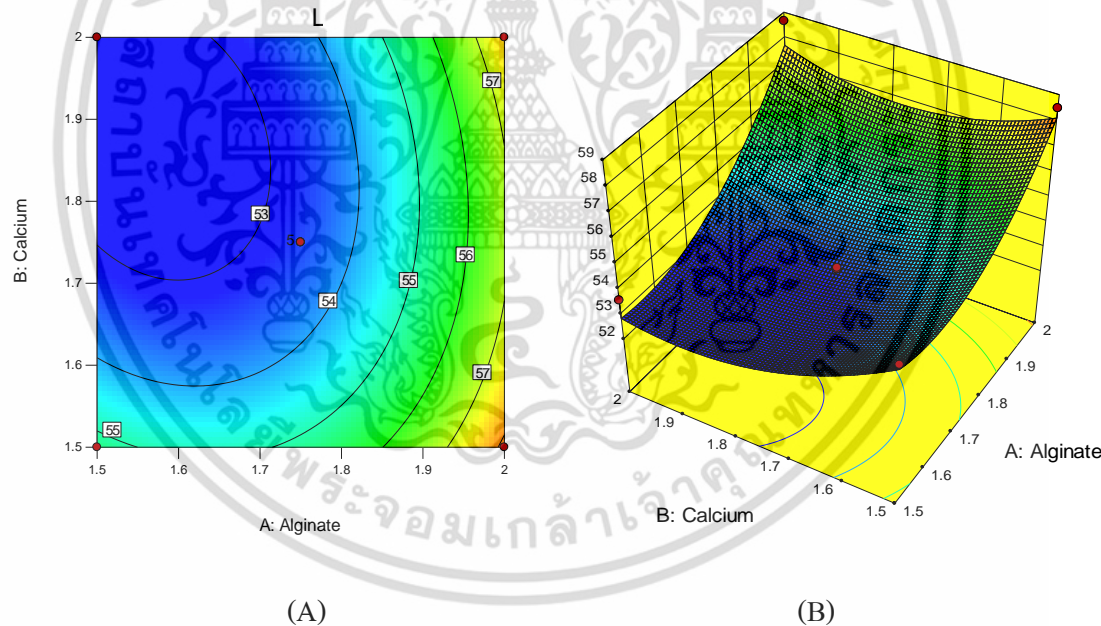
เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งของเต้าหู้งาดำทรงกลมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้โซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 เต้าหู้งาดำทรงกลมมีค่าความแข็งเท่ากับ 2309.20 กรัม·แรง แต่เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2 เต้าหู้งาดำทรงกลมมีค่าความแข็งเท่ากับ 3161.14 กรัม·แรง ผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Pumpho and Puechkamut (2015) การเชื่อมต่อนของโครงข่ายร่างแหของเจลมีมากขึ้น เมื่อปริมาณของสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) สูงขึ้น เป็นผลให้โครงสร้างของเจลมีความแข็งแรง เจลที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (Adrianus และคณะ, 2015)



ภาพที่ 4.2 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อน้ำหนักของเต้าหู้งาดำทรงกลม

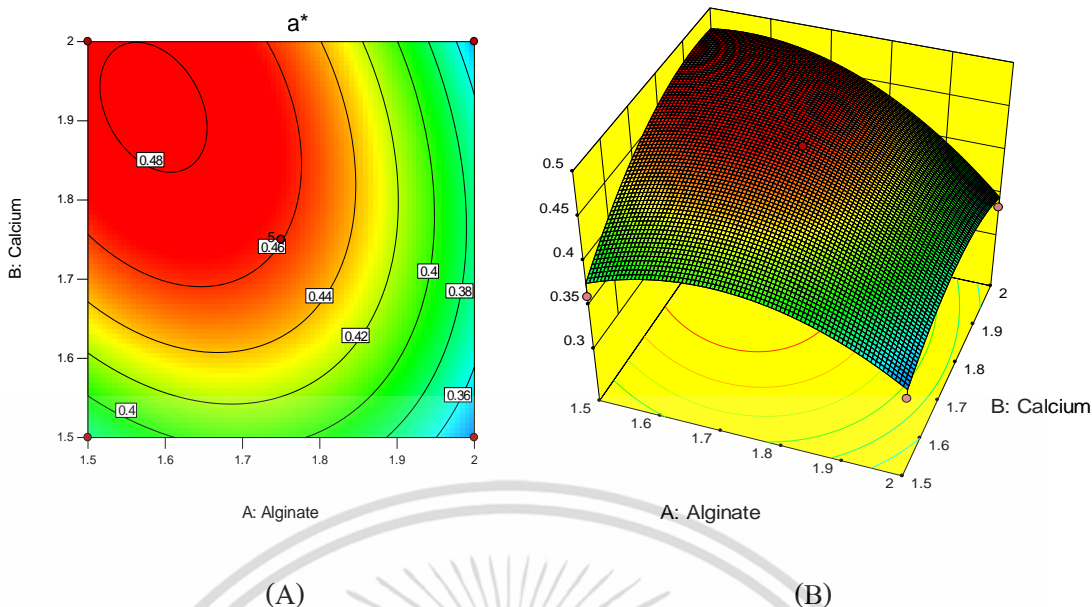


ภาพที่ 4.3 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อขนาดของเด้าหุ้มดำทรงกลม

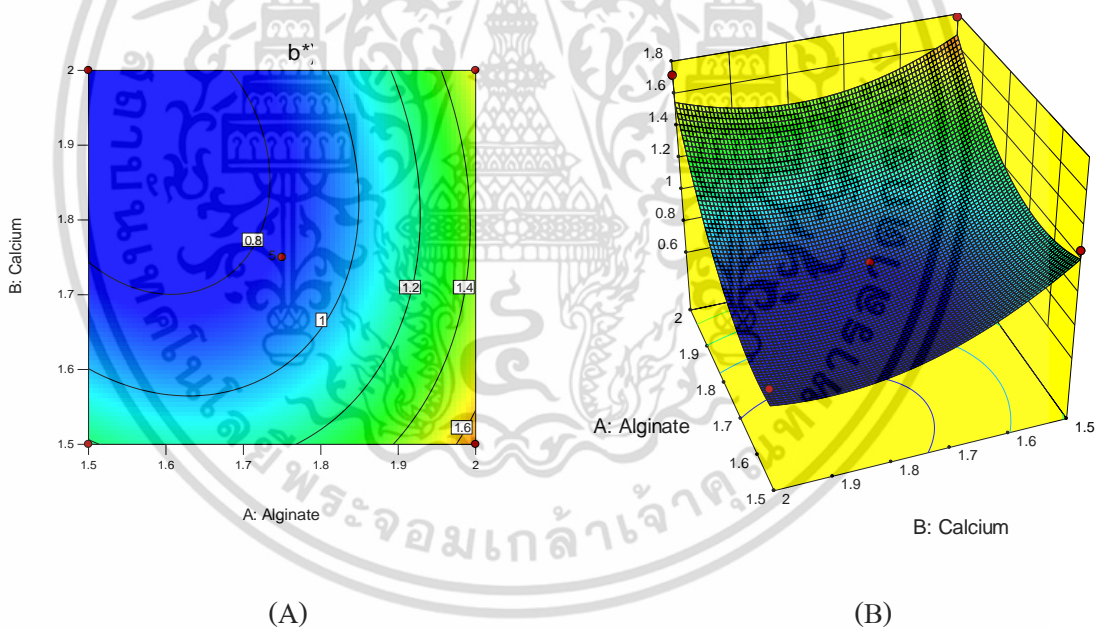


ภาพที่ 4.4 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าความสว่างของเด้าหุ้มดำทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

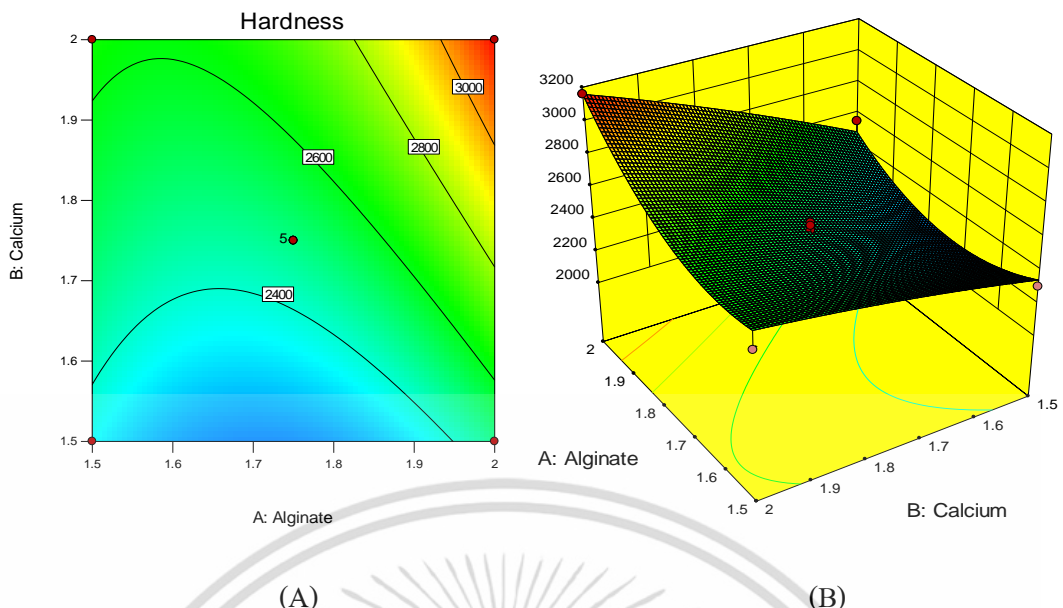


ภาพที่ 4.5 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าสีแดงของเต้าหู้งาดำทรงกลม



ภาพที่ 4.6 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าสีเหลืองของเต้าหู้งาดำทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (A) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (B) แสดงผลของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ต่อค่าความแข็งของเต้าน้ำดำทรงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าตอบสนองของปัจจัย

Source	df	weight	size	L*	a*	b*	hardness	springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	p-value
												Prob>F
Model	5	0.0004*	<0.0001*	0.0003*	0.0001*	0.0003*	0.0005*	0.3008	0.2024	0.3566	0.1388	
A-alginate	1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.0001	0.0022	0.4544	0.1642	0.2066	0.9538	
B-CaCl ₂	1	0.0008	<0.0001	0.0240	0.0022	0.0103	0.0003	0.4259	0.4190	0.8094	0.3771	
AB	1	0.5880	0.1722	0.1912	0.0206	0.1796	0.0919	0.1353	0.1382	0.2361	0.0341	
A ²	1	0.0197	0.0001	0.0006	0.0002	0.0007	0.0014	0.9418	-	0.5326	-	
B ²	1	0.0347	0.0079	0.0042	0.0012	0.0043	0.5903	0.1123	-	0.1840	-	
Lack of Fit	3	0.9226 ^{ns}	0.9162 ^{ns}	0.0014	0.0091	<0.0001	0.3429 ^{ns}	0.0102	0.0051	0.0268	0.0284	
R ²	-	0.9398	0.9755	0.9449	0.9579	0.9434	0.9338	0.5177	0.3860	0.4847	0.4409	

หมายเหตุ : * Significant at $p \leq 0.05$

^{ns} not significant

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าตอบสนองของปัจจัย (ตารางที่ 4.10) พบว่าข้อมูลที่ได้จากค่าของน้ำหนัก ขนาด และค่าความแข็งของเต้าหู้งาคำทรงกลม สามารถให้สมการที่นำไปใช้ทำนายผลได้ เนื่องจากสมการนั้นๆ มี Lack of fit ที่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (อนุวัตร, 2549) และนอกจากนี้สมการที่ได้มายังมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (Coefficient of correlation : R^2) ของค่าตอบสนองมีค่ามากกว่า 0.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลจากการทดลองนี้สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้งาคำทรงกลมได้ โดยในการทดลองนี้สมการที่ทำนายจะแสดงอยู่ในรูปสมการกำลังสอง (quadratic model) แสดงดังตารางที่ 4.11 ซึ่งประโยชน์ของสมการทั้งสาม ทำให้สามารถทำนายเลือกสภาวะที่ต้องการผลิตเต้าหู้งาคำทรงกลมที่มีคุณภาพด้านความแข็ง ขนาด และน้ำหนักต่างกันได้

ตารางที่ 4.11 สมการที่ทำนายได้จากการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองของแต่ละปัจจัย

Dependent values	Equation quadratic models	R^2
Weight	$= 31.99-14.45A-17.03B+1.08AB+4.35A^2+3.78B^2$	0.94
Size	$= 8.19-4.56A-2.53B-0.45AB+1.71A^2+0.83B^2$	0.98
hardness	$= 12881.87-12921.35A-583.35B+1566.86AB+3098.52A^2-343.37B^2$	0.93

A คือ ความเข้มข้นของ โซเดียมอัลจิเนต

B คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

ตารางที่ 4.12 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้งาคำทรงกลม

Response variable	Optimization of condition					
	Goal	Lower	Upper	Weight	Predicted responses	Desirability
Alginate	Minimize	1.5	2	1	1.5	0.636
Calcium	Minimize	1.5	2	1	1.55	0.636
Hardness	Maximize	2074.02	3161.14	1	2387.29	0.636

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลม เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป พิจารณาจากการใช้สารที่ทำให้เกิดเจลในปริมาณที่น้อยที่สุด เพื่อให้เจลสามารถฟอร์มเป็นทรงกลมได้ จึงเลือกใช้สมการกำลังสองของตัวแปรค่าความแข็งเป็นสมการที่ใช้ในการทำนายสภาวะในการทดลองต่อไป โดยกำหนดค่าคุณลักษณะของค่าความแข็ง เท่ากับ สูงสุด (Maximize) และกำหนดความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์ให้มีค่าต่ำที่สุด (Minimize) ผลการทำนายแสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลม คือ การใช้โซเดียมอัลจินตร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.55 จะทำให้ได้เต้าหู้งาดำที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 2387.29 กรัม-แรง โดยที่สภาวะนี้จะให้ค่า Desirability เท่ากับ 0.636 ซึ่งหมายถึงมีค่าความพอใจและคุณค่าของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับดี (Harington, 1965) และเมื่อได้ทำการทดลองผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลมที่สภาวะดังกล่าว พบว่าค่าความแข็งของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่ผลิตได้มีค่าความแข็งเท่ากับ 2422.41 ± 36.93 กรัม-แรง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าที่ทำนายได้ ตัวอย่างของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่ผลิตได้แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 เต้าหู้งาดำทรงกลมเมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตร้อยละ 1.5 และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.55

4.4 ผลการศึกษาผลของการเติมสารปรุงรสชาติในเต้าหู้งาดำทรงกลม

การศึกษาผลของการเติมสารปรุงแต่งรสชาติ คือ เกลือหรือน้ำตาล ในเต้าหู้งาดำทรงกลม ทำโดยการเตรียมเต้าหู้งาดำทรงกลมใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.55 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:7.5 และใช้งาดำคั่วร้อยละ 60

ต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง ก่อนนำเต้าหู้งาดำทรงกลมที่ขึ้นรูปเสร็จ แช่ในน้ำเปล่าและน้ำที่ใส่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารปรุงแต่งรสชาติเป็นเวลา 20 ชั่วโมง นำเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก ขนาด ค่าสี และค่าความแข็ง รวมทั้งวิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscopy : SEM)

ตารางที่ 4.13 ผลของการเติมเกลือต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาคำทรงกลม

Salt (%)	Weight (g)	Size (cm)	Color			Hardness (g·force)
			L*	a*	b*	
0	5.03±0.21 ^c	2.17±0.04 ^b	55.45±0.05 ^b	0.36±0.01 ^b	1.33±0.03 ^{bc}	2422.41±281.56 ^b
0.5 W	4.92±0.18 ^c	2.16±0.04 ^b	55.33±0.09 ^b	0.36±0.05 ^b	1.37±0.03 ^b	2680.83±251.48 ^{ab}
0.5 S _{0.5}	4.53±0.19 ^d	2.08±0.03 ^c	54.71±0.05 ^c	0.33±0.03 ^b	1.28±0.03 ^c	2794.92±196.14 ^a
1 W	5.62±0.10 ^a	2.26±0.03 ^a	56.68±0.11 ^a	0.47±0.03 ^a	1.45±0.05 ^a	1559.25±232.77 ^c
1 S ₁	5.38±0.18 ^b	2.20±0.04 ^b	56.46±0.14 ^a	0.46±0.04 ^a	1.50±0.04 ^a	1595.58±137.89 ^c

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=50)

W หมายถึง เต้าหู้งาคำทรงกลมแช่น้ำเปล่า

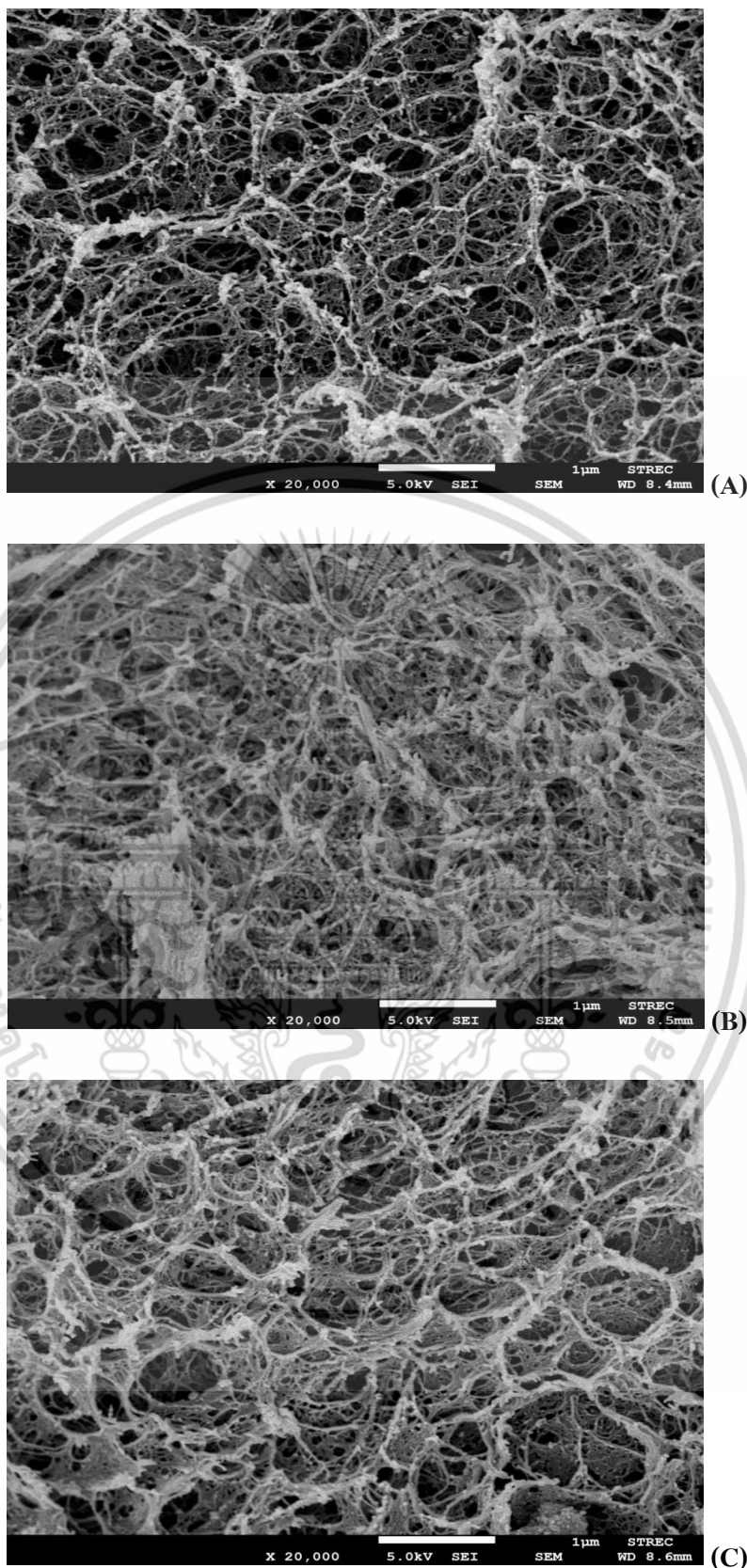
S_{0.5} และ S₁ หมายถึง เต้าหู้งาคำทรงกลมแช่น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1 ตามลำดับ

จากการทดลองเติมเกลือร้อยละ 0.5 และ 1 ในเต้าหู้งาคำทรงกลม แบ่งเต้าหู้งาคำทรงกลมแช่น้ำเปล่า และน้ำเกลือ ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เตรียมได้แสดงดังตาราง 4.13 พบว่าการเติมเกลือร้อยละ 0.5 แช่น้ำเกลือละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ทำให้ค่าความแข็งของเต้าหู้งาคำทรงกลมเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) แต่การเติมเกลือในปริมาณที่สูงคือร้อยละ 1 ทำให้ค่าความแข็งของเต้าหู้งาคำทรงกลมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าเต้าหู้งาคำทรงกลมที่ไม่มีการเติมเกลือมีค่าความแข็งอยู่ที่ 2422.41 กรัม·แรง ในขณะที่เต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมเกลือร้อยละ 1 แช่น้ำเกลือละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 1 มีค่าความแข็งเท่ากับ 1595.58 กรัม·แรง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อแช่เต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมเกลือในน้ำเปล่า น้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาคำทรงกลมมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่แช่น้ำเกลือ การแช่เต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมเกลือแช่น้ำเปล่า ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมซิส จากความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จึงทำให้เกิดกระบวนการแพร่โมเลกุลของน้ำจากภายนอกเข้าสู่เต้าหู้งาคำทรงกลม (Garcia และคณะ, 2010) เป็นผลให้เต้าหู้งาคำทรงกลมมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น น้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาคำทรงกลมจึงเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเต้าหู้งาคำทรงกลมที่ไม่ได้เติมเกลือ และที่เติมเกลือร้อยละ 0.5 และ 1 ที่แช่ในน้ำเกลือมาวิเคราะห์โครงสร้างภายใน แสดงดังภาพที่ 4.9 พบว่าโครงสร้างของเต้าหู้งาคำทรงกลมประกอบด้วยเส้นสายร่างแหยึดเกาะกันอย่างมีระเบียบ แคลเซียมอออนที่แพร่เข้าไปภายในน้ำนมถั่วเหลืองงาคำที่มีโซเดียมอัลจินเต จะเข้าไปจับกับประจุลบใน โครงสร้างของโซเดียมอัลจินเตที่มีหมู่คาร์บอกซิลของกรดกลูโรริก และหมู่ไฮดรอกซิล ที่มีอยู่ในสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันสองสาย ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ (John และคณะ, 2014) ซึ่งจะแตกต่างจากโครงสร้างของเต้าหู้ทั่วไปที่ใช้สารตกตะกอนในการเกิดเจล โดยโครงสร้างภายในเกิดจากกลุ่มก้อนของโปรตีนจับกันอย่างมีระเบียบ (aggregate gel) (Fligner and Mamgino, 1989)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างภายในของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมเกลือ และไม่เติมเกลือ พบว่าการเติมเกลือร้อยละ 0.5 ทำให้เส้นใยมีความหนาและจับตัวกันแน่นขึ้น ในขณะที่การเติมเกลือร้อยละ 1 พบว่าเส้นใยเกาะกันหลวมๆ และช่องว่างระหว่างเส้นใยมีขนาดเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งของเจล (ตารางที่ 4.13) พบว่าการที่โครงสร้างของร่างแหมีการจับตัวกันแน่น ทำให้เต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมเกลือร้อยละ 0.5 ($0.5 S_{0.5}$) มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และการที่โครงสร้างมีช่องว่างระหว่างเส้นใยร่างแหมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมเกลือร้อยละ 1 ($1 S_1$) มีค่าความแข็งลดลง การเติมเกลือในปริมาณที่ต่างกัน ส่งผลต่อการสร้างร่างแหของเจล การเติมเกลือในปริมาณน้อย อาจส่งผลให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองงาคำเพิ่มขึ้น (Wolf and Cowan, 1971) เป็นผลให้สมบัติการเกิดเจลดีขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมเกลือร้อยละ 0.5 แช่ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมเกลือในปริมาณที่สูง ประจุบวกที่เพิ่มขึ้นจากโซเดียมอออน อาจไปรบกวนการจับกันของแคลเซียมอออนกับกรดกลูโรริกของอัลจินเตในการสร้างโครงสร้างร่างแห (Liling และคณะ, 2016) เป็นผลให้เจลมีความแข็งลดลง



ภาพที่ 4.9 โครงสร้างภายในของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เติมเกลือระดับความเข้มข้นต่างๆ

(A) ร้อยละ 0 (B) ร้อยละ 0.5 (แช่ในน้ำเกลือ) (C) ร้อยละ 1 (แช่ในน้ำเกลือ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลของการเติมน้ำตาลต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลม

Sugar (%)	Weight (g)	Size (cm)	Color			Hardness (g-force)
			L*	a*	b*	
0%	5.03±0.21 ^c	2.17±0.04 ^c	55.45±0.05 ^c	0.36±0.01 ^b	1.33±0.03 ^c	2408.81±295.94 ^a
5% W	6.68±0.34 ^a	2.39±0.04 ^a	57.47±0.15 ^a	0.51±0.05 ^a	1.66±0.03 ^a	1615.89±91.89 ^b
5% Su	5.76±0.09 ^b	2.26±0.04 ^b	56.52±0.22 ^b	0.47±0.06 ^a	1.49±0.05 ^b	2119.70±245.96 ^a

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=50)

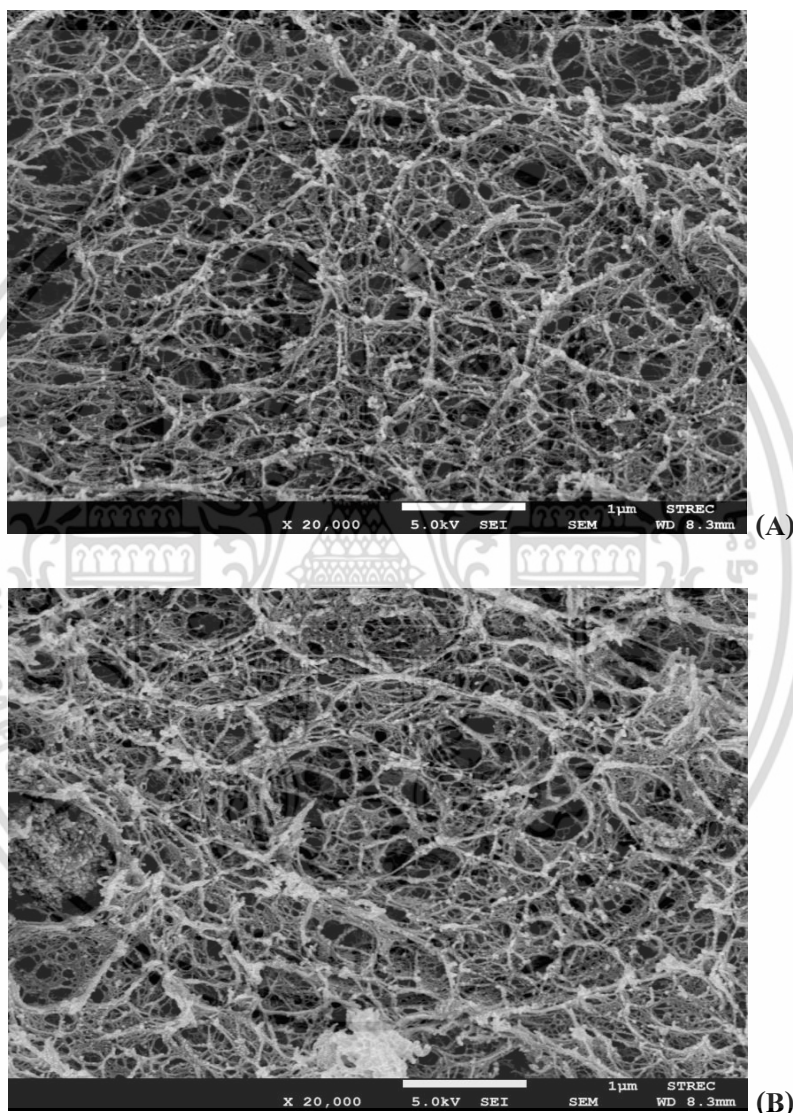
W หมายถึง เต้าหู้งาดำแช่ในน้ำเปล่า

Su หมายถึง เต้าหู้งาดำแช่ในน้ำผสมน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 5

ผลการทดลองเติมน้ำตาลร้อยละ 5 และ 10 ในเต้าหู้งาดำทรงกลม แบ่งเต้าหู้งาดำทรงกลม เก็บรักษาในน้ำเปล่า และน้ำผสมน้ำตาล พบว่าการเติมน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อเก็บรักษาในน้ำเปล่า หรือเก็บในน้ำผสมน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เต้าหู้งาดำทรงกลมที่ได้จะปริและแตกออก ไม่สามารถวัดคุณภาพทางกายภาพได้ สำหรับตัวอย่างเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เติมน้ำตาลร้อยละ 5 สามารถฟอร์มเจลได้

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เติม และไม่ได้เติมน้ำตาลร้อยละ 5 แสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่า เมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 5 แช่ในน้ำเปล่า ค่าความแข็งของเต้าหู้งาดำจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เต้าหู้งาดำทรงกลมที่แช่ในน้ำผสมน้ำตาลมีค่าความแข็งไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาล และพบว่าน้ำหนัก และขนาดของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เติมน้ำตาลแช่ในน้ำเปล่ามีค่าเท่ากับ 6.68 กรัม และ 2.39 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นๆ การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสาร เป็นผลให้เกิดแรงดันออสโมซิส ดันน้ำจากภายนอกเข้าสู่ภายใน (Garcia และคณะ, 2010) ของเม็ดเต้าหู้งาดำทรงกลม เมื่อปริมาณน้ำภายในเต้าหู้งาดำทรงกลมเพิ่มมากขึ้น น้ำหนักและขนาดจึงเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่าความแข็งลดลง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เติมน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงดังภาพที่ 4.10 พบว่าโครงสร้างของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เติมน้ำตาลร้อยละ 5 แซ่ในน้ำผสมน้ำตาล เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาล พบว่ามีการจัดเรียงตัวของเส้นใยอย่างเป็นระเบียบ (regular structure) มีลักษณะโครงข่ายสามมิติ (three dimensional structure) ทำให้เจลมีความแข็งแรง (น้ำทิพย์, 2540) เป็นผลให้ค่าความแข็งของเจลของทั้งสองตัวอย่างไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.14)



ภาพที่ 4.10 โครงสร้างภายในของเต้าหู้งาดำทรงกลมที่เติมน้ำตาลระดับความเข้มข้นต่างๆ

(A) ร้อยละ 0

(B) ร้อยละ 5 (แซ่ในน้ำผสมน้ำตาล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมสารปรุงแต่งรสชาติ

Sample	Properties					
	Appearance	Color ^{ns}	Texture ^{ns}	Flavor ^{ns}	Taste	Overall ^{ns}
0%	7.50±0.74 ^a	7.52±0.97	7.52±1.05	7.10±0.99	6.8±0.95 ^b	7.58±1.01
0.5% S	7.54±0.84 ^a	7.52±0.95	7.48±1.07	7.08±0.98	7.12±1.04 ^b	7.46±0.95
5% Su	7.10±0.71 ^b	7.40±0.95	7.68±0.91	7.06±0.86	7.50±0.89 ^a	7.56±1.03

หมายเหตุ : ^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=50)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

S หมายถึง เต้าหู้งาคำทรงกลมแช่น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.5

Su หมายถึง เต้าหู้งาคำแช่น้ำผสมน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 5

ผลการศึกษารยอมรับของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมและไม่เติมสารปรุงแต่งรสชาติ ทำโดยวิธีการให้คะแนน 9-point hedonic scale โดยการเตรียมตัวอย่างเต้าหู้งาคำทรงกลมที่ไม่เติมสารปรุงแต่งรสชาติ และที่เติมเกลือร้อยละ 0.5 แช่น้ำเกลือ และที่เติมน้ำตาลร้อยละ 5 ที่แช่น้ำผสมน้ำตาล ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่าคะแนนด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบรวม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีคะแนนความชอบรวมอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก อย่างไรก็ตาม พบว่าคะแนนด้านรสชาติของตัวอย่างที่ใส่สารปรุงแต่งรสชาติมีมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใส่ แสดงว่าผู้ทดสอบชอบเต้าหู้งาคำทรงกลมที่มีรสชาติมากกว่า โดยเฉพาะตัวอย่างที่ใส่น้ำตาลร้อยละ 5 อาจเป็นไปได้ว่าการทดสอบทำกับน้ำจืด (ภาคผนวก จ) รสหวานของเต้าหู้งาคำทรงกลม เหมาะกับน้ำจืดที่มีรสชาติเผ็ดร้อน อย่างไรก็ตามคะแนนลักษณะปรากฏของเต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมน้ำตาลร้อยละ 5 มีคะแนนน้อยที่สุด คือ 7.10 อาจเนื่องมาจากมีขนาดลูกที่ใหญ่มากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น การแก้ไขสามารถทำได้โดยลดปริมาณของน้ำนมถั่วเหลืองงาคำที่หยอดลงในสารละลายแคลเซียม เพื่อให้เต้าหู้งาคำทรงกลมที่เติมน้ำตาลมีขนาดเล็กลง

4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาดำทรงกลมในระหว่างการเก็บรักษา

ทดลองเตรียมเต้าหู้งาดำทรงกลมโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.55 บรรจุลงในกล่องพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) กล่องละ 60 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด สี ลักษณะเนื้อสัมผัส และปริมาณจุลินทรีย์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.16

จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเต้าหู้งาดำทรงกลมเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 7.56 เป็น 7.18 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่มีความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น และการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม โดยเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเต้าหู้หลอด (มอก. 1004-2533) กำหนดให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 5×10^4 โคโลนีต่อกรัม ดังนั้นอายุการเก็บรักษาเต้าหู้งาดำทรงกลมที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์สามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 15 วัน และตลอดอายุการเก็บรักษา 15 วัน พบว่า ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษา

Storage time (day)	pH	Total acidity (%)	Total Plate Count (CFU/g)	Color			Hardness (g-force) ^{ns}
				L*	a* ^{ns}	b*	
0	7.56±0.02 ^a	0.02±0.00 ^d	ND	50.69±0.37 ^c	0.07±0.02	0.46±0.04 ^b	2145.49±273.36
3	7.49±0.07 ^{ab}	0.02±0.01 ^{cd}	ND	50.89±0.35 ^{bc}	0.04±0.02	0.48±0.06 ^b	2036.02±176.01
6	7.42±0.04 ^{bc}	0.03±0.01 ^{cd}	ND	51.10±0.46 ^{bc}	0.05±0.02	0.71±0.02 ^a	1961.73±129.32
9	7.38±0.05 ^c	0.03±0.02 ^{bc}	ND	51.49±0.12 ^{ab}	0.06±0.01	0.72±0.05 ^a	1956.94±74.77
12	7.24±0.04 ^d	0.03±0.00 ^{ab}	ND	51.84±0.37 ^a	0.04±0.01	0.71±0.05 ^a	1936.25±76.11
15	7.18±0.03 ^d	0.04±0.00 ^a	ND	52.01±0.20 ^a	0.04±0.01	0.76±0.06 ^a	1928.69±99.31

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ND หมายถึง ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.6 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาคำทรงกลม

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาคำทรงกลม แสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่าเต้าหู้งาคำทรงกลมมีปริมาณความชื้นร้อยละ 85.26 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.26 ปริมาณไขมันร้อยละ 6.87 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.98 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.63 และปริมาณแคลเซียมร้อยละ 120 มิลลิกรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเต้าหู้ทรงกลม และเต้าหู้อ่อนทางการค้า พบว่าเต้าหู้งาคำทรงกลมมีปริมาณไขมัน และแคลเซียมมากกว่า เนื่องจากในถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันและแคลเซียมอยู่ในปริมาณเพียง 19.94 กรัม และ 227 มิลลิกรัมต่อถั่วเหลือง 100 กรัม ตามลำดับ แต่ในงาคำมีไขมันและแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึง 46.67 กรัม และ 1333 มิลลิกรัมต่องาคำ 100 กรัม (USDA National Nutrient Database, 2016) ดังนั้นเมื่อใช้งาคำเป็นส่วนประกอบในการผลิตเต้าหู้ จึงทำให้มีปริมาณไขมันและแคลเซียมสูงขึ้น นอกจากนี้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบในงาคำนั้นมีกรดไขมันจำเป็นอยู่หลายชนิด ได้แก่ Linoleic acid หรือ โอเมกา-6 มีอยู่ร้อยละ 36.8 และ Oleic acid หรือ โอเมกา-9 มีอยู่ร้อยละ 44.1 (Kamal and Appelqvist, 1994) อีกทั้งในงาค่ายังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ คือ สารเซซามิน (Sesamin) และเซซาโมลิน (Sesamol) อีกด้วย (ศัลยา, 2547) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมของเต้าหู้งาคำทรงกลมกับนมวัว พบว่าในนมวัวมีปริมาณแคลเซียม 125 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (USDA Branded Food Products Database, 2017) ซึ่งถือได้ว่าแคลเซียมในเต้าหู้งาคำทรงกลม 100 กรัม มีปริมาณใกล้เคียงกับการดื่มนมวัว 100 มิลลิลิตร ดังนั้นการบริโภคเต้าหู้งาคำทรงกลมทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่จำเป็นหลายชนิด

ตารางที่ 4.17 องค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาคำทรงกลม

Chemical composition	Sesame tofu ball (g/100g)	Tofu ball (g/100g)*	Soft tofu (g/100g)**
Moisture	85.26	79.48	88.08
Protein	5.26	12.47	6.38
Fat	6.87	3.12	2.71
Carbohydrate	1.98	4.43	2.19
Ash	0.63	0.50	0.64
Calcium	120 mg	-	78 mg

* Tofu ball (Pumpho and Puechkamut, 2015)

** House Foods Premium Soft Tofu (USDA Branded Food Products Database, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการใช้อัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เต้าหู้งาดำทรงกลมมีค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น การใช้ปริมาณงาดำคั่วเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองลดลง ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น และอัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ 1:7.5 และการใช้งาดำคั่วร้อยละ 60 ของน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมมากที่สุด ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินेट และแคลเซียมคลอไรด์ สามารถนำมาสร้างสมการทำนายคุณภาพด้านน้ำหนัก ขนาด และเนื้อสัมผัสด้วยสมการกำลังสอง และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลม คือ การใช้โซเดียมอัลจินेटร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.55 ซึ่งจะให้ได้ค่าความแข็งของเต้าหู้งาดำทรงกลม เท่ากับ 2387.29 กรัม-แรง การเติมเกลือร้อยละ 1 ทำให้น้ำหนัก ขนาดเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความแข็งลดลง เมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 10 เกิดได้ไม่สมบูรณ์ และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับเต้าหู้งาดำทรงกลมอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเต้าหู้งาดำทรงกลม และการเติมน้ำตาลร้อยละ 5 พบว่าประกอบด้วยเส้นใยร่างแหที่จัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (regular structure) แต่เมื่อเติมเกลือร้อยละ 0.5 ทำให้เส้นใยมีการจัดเรียงตัวกันแน่นขึ้น และมีความหนามากขึ้น ผลการเก็บรักษาเต้าหู้งาดำทรงกลมที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน้อย 15 วัน และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้งาดำทรงกลม ประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 85.26 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.26 ปริมาณไขมันร้อยละ 6.87 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.98 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.63 และปริมาณแคลเซียมร้อยละ 120 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของการให้ความร้อนในระดับสเตอริไรซ์ต่อคุณภาพของเต้าหู้งาดำทรงกลม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา
2. ศึกษาผลของการเก็บรักษาเต้าหู้งาดำทรงกลมในสภาวะสุญญากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2545. ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง.

[Online]. Available : <https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/create-web/10000/technology/10000-3085.html>

จินทนา บุญประภาพิทักษ์. 2554. งานขาว-งาดำ. กลุ่มส่งเสริมการผลิตพืชน้ำมันและพืชตระกูลถั่ว. กรุงเทพฯ.

ชนิกานต์. 2533. งานกับคุณค่าที่ไม่ค่อยมีใครรู้. หมอชาวบ้าน 12(136). กรุงเทพฯ.

ถนอม ดาวงาม. 2532. งาน หล่่ง ถั่วพุ่ม. ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี สถาบันวิจัยพืชไร่กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 148 หน้า.

ธัชพร หอมฟุ้ง และพรรณีศรี วัฒนวัฒนกิจ. 2559. การผลิตไขมันถั่วเหลืองโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธีระ เอกสมทรงเมษฐ์. 2545. ถั่วเหลือง (Soybean: Glycine max). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

นันทนา พิภพลาภอนันต์. 2549. งานวิจัยแห่งวัฒนธรรมการดูแลสุขภาพ.

[Online]. Available : http://www.tei.or.th/plibai/th_plibai58_namsaibaimaikhew.html

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2540. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป และยุพร พืชกมูทร. 2544. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเจลโปรตีนของเจลเต้าหู้หลอด. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 9(2): 7-12.

ปรัชญา คงทวีเลิศ. 2555. งานดำราชินีแห่งพืชน้ำมัน ราชันย์แห่งธัญพืช. บริษัทคอนเซ็ปท์พรีนซ์ จำกัด. 76 หน้า.

- พิชัย สราญรมย์. 2528. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับถั่วเหลืองสำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, วิทยาลัยรำไพพรรณี. จันทบุรี.
- มลศิริ วิโรทัย. 2545. เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ. บริษัทพัฒนาคุณภาพทางวิชาการ (พว.) จำกัด. กรุงเทพฯ.
- วรรณวิมล พุ่มโพธิ์. 2558. การผลิตเต้าหู้โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรรณมา ตูลยชัย. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 166 หน้า.
- วัชรวิ เลิศมงคล. 2542. งา (sesame). เท็กแอนด์เจอร์นัล ฟันลิเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.
- วันชัย สมจิต. 2527. ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์. บริษัทสยามออปเซ็ท จำกัด. กรุงเทพฯ.
- วิไลศรี ลิ้มปยอม. 2546. งามกับคุณค่าทางอาหาร. จดหมายข่าวผลิใบ ฉบับ 9 ประจำเดือนตุลาคม พ.ศ. 2546. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- วีระศักดิ์ อนันมบุตร และ วิไลศรี ลิ้มปยอม. 2539. คุณลักษณะและการใช้ประโยชน์ของงา. ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ศัลยา คงสมบูรณ์เวช. 2547. เชื้อรามินกับสุขภาพ. โภชนบำบัด. 15(2): 98-105.
- ศานิต สวัสดิคกาญจน์. 2558. พืชน้ำมัน : งา. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 360 หน้า.
- ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมส่งเสริมการเกษตร. 2530. ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60.
- สวามินี ชีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน. 2557. การยืดอายุการเก็บรักษาหอยแมลงภู่สุกด้วยการเคลือบอัลจินเตผสมสารกันเหี่ยวร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ. มหาวิทยาลัยบูรพา. 68 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร.
- [Online]. Available : <http://www.oae.go.th/economicdata/soybean57.html>
- สุนทร ตรีนันทวัน. 2557. ถั่วเหลืองราชาแห่งถั่ว 2. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุรีย์ แถวเที่ยง. 2552. เครื่องดื่มน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำแครอท. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- อนุวัตร แจ่มชัด. 2549. สถิติสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อนุวัตร แจ่มชัด. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 136 หน้า.
- Ana, B., Manuel, M. and Domingo, C. 1999. Formation of calcium alginate gel capsules: Influence of sodium alginate and CaCl_2 concentration on gelation kinetic. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 88: 686-689.
- Adrianus, O.W., Ani, S., Joko, S. and Meika, S.R. 2015. The effect of gelling agent concentration on the characteristic of gel produced from the mixture of semi refined carrageenan and glukomannan. *International Journal of Science: Basic and Applied Research*. 20, 313-324.
- Anderson, J.B. Garner, J.S. and Sanford, C. 2000. The soybean as a source of bioactive molecules. *Essentials of functional foods*. Aspen publication, Maryland, United State of America. pp. 239-269.
- AOAC. 2012. Official Method of Analysis of AOAC International. 19th ed. Washington, D.C., U.S.A.
- Canadian Food Inspection Agency. 1996. The Biology of Glycine max (L.) Merr. (Soybean): Biology Document BIO1996-10. Plant Biosafety Office. Ontario.
- Eva, G., Sigrid R., Emmerich B., Heidi S. and Gerhard S. 2012. Effect of thermal heating on some lignans in flax seeds, sesame seeds and rye. *Food Chemistry*. 138: 1847–1855
- Fligner, K.L. and Mangino, M.E. 1989. Relationship of Composition to Protein Functionality in Parris, N. and Barford, R. (Eds.). *Interaction of Food Protein*. Washington, D.C.: American Chemical Society: 1-12.

- Garcia, M., Diaz, R., Martinez, T. and Casariego, A. 2010. Effect of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International*. 43, 1656-1660.
- Harington, J. 1965. The Desirability Function. *Industrial Quality Control*. 21: 494-498.
- Jimoh, W.A., Fagbenro, O.A. and Adeparusi, E.O. 2011. Effect of processing on some minerals, antinutrients and nutritional composition of sesame (*Sesamum indicum*) seed meals. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 10(1): 1858-1864.
- John, M.C.P., Xiaohong Y. and Hern K. 2014. Characterization of structure, physico-chemical properties and diffusion behavior of Ca-Alginate gel beads prepared by different gelation methods. *Journal of Colloid and Interface Science*. 432: 109-116.
- Kamal, E.A. and Appelqvist, L.A. 1994. Variation in fatty acid composition of the different aryl lipids in seed oil from four sesamum species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 71: 135 - 147.
- Kennedy, A.R. 1995. The evidence for soybean products as cancer preventive agents. *Journal of Nutrition*. 125: 733-743.
- Lai, W.C., Huey, Y.L. and Paul, W.S.H. 2006. Mechanisms of external and internal gelation and their impact on the functions of alginate as a coat and delivery system. *Carbohydrate Polymers*. 63: 176-187.
- Lee, P. and Rogers, M.A. 2012. Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 1: 96-100.
- Liling, G., Di, Z., Jiachao, X., Xiaoting, F., and Qing, Z. 2016. Effects of ionic crosslinking on physical and mechanical properties of alginate mulching films. *Carbohydrate Polymers*. 136: 259-265.

- Liu, K. 1997. Soybeans : Chemistry, Technology and Utilization. Chapman & Hall, New York.
- Mansouripour, S., & Esfandiari, Z., & Nateghi, L. 2013. The effect of heat process on the survival and increased viability of probiotic by microencapsulation: A review. *Annals of Biological Research*. 4(4): 83-87
- Lokuruka, M. 2010. Soybean nutritional properties: the good and the bad about soy foods consumption. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*. 10(4): 2439-2459.
- Mendel, F. and David, L.B., 2001. Nutritional and health benefits of soy proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3): 1069-1086.
- Myers, R., Montgomery, D.C. and Cook, C.M.A. 2009. *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. 3rd edition. John Wiley & Sons, New Jersey. 704 pages.
- Myhrovold, N., Chris, Y. and Maxime, B. 2011. *Modernist cuisine: The art and science of cooking, volume 4 ingredients and preparation*. Bellevue: The cooking lab. USA. 2439 pages.
- Namiki, M. 1995. The chemistry and physiological functions of sesame. *Food Reviews International*. 11: 281-329.
- Noel, T., Roger, P., Bernard, T., Fabrice, T.D., Thirupathi, A., Mallampalli, S.L., Karuna, Rachapudi, B.N.P., Hilaire, M.W. 2017. Effects of boiling and roasting on proximate composition, lipid oxidation, fatty acid profile and mineral content of two sesame varieties commercialized and consumed in Far-North Region of Cameroon. *Food Chemistry*. 221: 1308-1316.
- Nuchanart, R., Nanthanit, P., Chulabhorn, M., Wasana, W., Kanya, S., Sumontha, N. and Jutamaad, S. 2010. Variation of sesamin, sesamol and tocopherols in sesame (*Sesamum indicum L.*) seeds and oil products in Thailand. *Food Chemistry*. 122: 724–730.
- Nussinovitch, A. 1997. *Hydrocolloid Application; Gum technology in the food and other industries*. 1st Edition. Blackie Academic & Professional. United Kingdom. 354 pages.

- Olaiya, O. 2014. Evaluation of sesame (*Sesamum indicum L*) seed meal as a source of supplementary methionine in broiler diets. Department of animal science, Faculty of agriculture, Ahmadu bello university, Zaria. 87 pages.
- Phillips, G.O. and Williams, P.A. 2003. Handbook of hydrocolloids, New York, CRC press, pp. 87-213.
- Poysa, V. and Woodrow, L. 2002. Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality. Food Research International. 35: 337-345.
- Pumpho, W. and Puechkamut, Y. 2015. Tofu-ball production from spherification technique using sodium alginate. The 53rd Kasetsart University Annual Conference. Bangkok.
- Preeti, S.R., Kumar, S.N.S. and A.S. Bawa. 2008. Functional and edible uses of soy protein products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 7: 14-28.
- Puechkamut, Y. 2004. Effect of salts that minimized beany flavor on the gelation of soy protein. Proceedings of the 1st KMITL international conference: Integration Science and Technology for Sustainable Development. 2: 371-374. Bangkok.
- Saidu, J.E.P. 2005. Development, Evaluation and Characterization of Protein-Isoflavone Enriched Soymilk. Ph.D. Philosophy. Louisiana State University.
- Sheahan, C.M. 2014. Plant guide for sesame (*Sesamum orientale*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center, Cape May, NJ.
- Tanteratarm, K., Nalson, A.I. and Wei, L.S. 1997. Processing of soymilk free from beany and other off-flavors. Proceedings World Soybean Research Conference. 412-414. Chiang Mai.
- Thawornkuno C. 2014. Soy isoflavones: Biochemistry, mechanism of action and implication for breast cancer preventions. Thai Journal of Genetics. 7(1): 7-15.
- USDA Branded Food Products Database. 2016. Basic Report 16279, HOUSE FOODS Premium Soft Tofu. (Report Date: December 4,2016)
- USDA Branded Food Products Database. 2017. Nutrient data for 45192656, 100% Real Cow's Milk. (Report Date: October 31,2017)

USDA National Nutrient Database. 2016. Nutrient data for 45082703, Roasted Black Sesame Seed. (Report Date: November 18,2016)

USDA National Nutrient Database. 2017. Basic Report 16108, Soybeans, mature seeds, raw. (Report Date: October 6,2017)

Wankhede, D.B. and Tharanathan, R.N. 1976. Sesame carbohydrate. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 24: 655-663.

Wolf, W.J. and Cowan, J.C. 1971. Soybeans as a food source, Crit. Rev. Food Technol. 2: 81.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก-1 การวัดสี (Chroma meter; Minolta CR-400, Japan)

- 1.) ปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank; $L^* = 97$, $a^* = -0.18$, $b^* = 1.84$)
- 2.) นำเครื่องวัดสีมาแนบกับตัวอย่าง และวัดค่าทั้งหมด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของการวัด
- 3.) บันทึกค่าสี L^* a^* และ b^* โดยค่า

L^* คือ ค่าความสว่าง

มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a^* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว

เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวก คือ สีแดง

เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบ คือ สีเขียว

b^* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน

เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก คือ สีเหลือง

เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ คือ สีน้ำเงิน

ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank; $L^* = 97$, $a^* = -0.18$, $b^* = 1.84$) แล้วจึงวัดสีของผลิตภัณฑ์

ก-2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

นำตัวอย่างเต้าหู้งาดำทรงกลมจำนวน 10 ลูก มาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-xt.plus โดยใช้หัววัดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร (P/35) เป็นระยะ (stain) ร้อยละ 50 วิเคราะห์ค่าที่วัดได้ด้วยโปรแกรม Texture profile analysis โดยกำหนดความเร็วการเคลื่อนที่ของ Load cell ดังนี้

Pre-Test Speed = 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

Test Speed = 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

Post-Test Speed = 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

รายงานผลค่าความแข็ง (hardness) ของเต้าหู้งาดำทรงกลมในหน่วยกรัม-แรง

ทดสอบในรูปแบบ Compression กำหนดการเคลื่อนที่ของหัววัดเป็น return to start



ภาพที่ ก-1 แสดงการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางเคมี

ข-1 การวิเคราะห์หาความชื้น (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- 2.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.) อลูมิเนียม แคน (Aluminium can)
- 4.) โถดูดความชื้น (Desicator)
- 5.) ที่คีบ (Tong)

วิธีการทดลอง

- 1.) นำอลูมิเนียม แคน อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำอลูมิเนียม แคน ใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง)
- 2.) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเต้าหู้งาดำทรงกลม 3-5 กรัม (ทำ 3 ซ้ำ) โดยอบในตู้อบอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โดยเปิดฝาอลูมิเนียม แคน ไว้ เมื่อครบเวลาปิดฝาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 3.) อบตัวอย่างอีกครั้งจนน้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งไม่เกิน 1-2 มิลลิกรัม คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ดังสมการ

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

ข-2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) เตาอบไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (Furnace muffle)
- 2.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)
- 4.) Hot plate
- 5.) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 6.) ที่คีบ (Tong)

วิธีการทดลอง

- 1.) เเผาถ้วยกระเบื้องที่แห้ง และสะอาดในเตาเผาที่ 600 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด บันทึก
- 2.) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง
- 3.) เเผาตัวอย่างบน Hot plate (ทำในตู้ดูดควัน) จนหมดควัน
- 4.) นำไปเผาที่ 600 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นสีขาวหรือสีเทา
- 5.) คีบถ้วยกระเบื้องจากเตาเผา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้า ดังสมการ

$$\text{เถ้า (ร้อยละ)} = \frac{b-a}{w} \times 100$$

เมื่อ	b	=	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา
	a	=	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
	w	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) เครื่องย่อย (Digestion apparatus)
- 2.) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Distillation apparatus)
- 3.) ขวดย่อยโปรตีน (Kjeldahl flask) พร้อม Rack
- 4.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 5.) กระจกบอกลวด (Cylinder)
- 6.) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 7.) เม็ดกั้นเดือด (Boiling chip)
- 8.) ขาตั้ง (Stand) และบิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

- 1.) กรดซัลฟูริกเข้มข้น
- 2.) กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2
- 3.) สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 0.1 นอร์มัล
- 4.) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40
- 5.) ตัวเร่ง (Catalyst) (เตรียมจาก 1:10 ของ $\text{CuSO}_4 : \text{K}_2\text{SO}_4$)
- 6.) สารละลายอินดิเคเตอร์ร้อยละ 0.2 Methyl red 1 หยด และร้อยละ 0.1 Methylene blue 1 หยด

วิธีการทดลอง

- 1.) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมตัวเร่ง 10 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย กรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2 ลูก ในหลอดย่อยโปรตีน
- 2.) นำหลอดย่อยโปรตีนใส่ใน Rack ไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อยโปรตีน ปิดฝาหลอดย่อยด้วย Exhaust system เปิดสวิทช์ชุดจับไอกรด แล้วจึงเปิดสวิทช์เครื่องย่อยโปรตีน ตั้งอุณหภูมิที่ 380 องศาเซลเซียส ย่อยจนได้สารละลายสีเขียวใส แล้วยก Rack ขึ้นพักไว้บน Stand ทิ้งให้เย็นโดยปล่อยให้ชุดจับไอกรดควบควันจนหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.) เตรียมกรดบอริกในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 60 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปวางที่เครื่องกลั่นโปรตีน โดยให้ปลายท่อของเครื่องจุ่มอยู่ในกรดบอริก เพื่อให้กรดบอริกเป็นตัวจับแอมโมเนีย
- 4.) นำหลอดตัวอย่างที่ย่อยเสร็จแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่นโปรตีน โดยการทำงานของเครื่องจะมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 และน้ำกลั่น รอนจนกลั่นเสร็จ
- 5.) นำขวดรูปชมพู่ที่ได้จากการกลั่นไปไตเตรทด้วยกรดกรดไฮโดรคลอริก จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีชมพูใส บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณโปรตีน ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ไนโตรเจน (ร้อยละ)} &= \frac{0.014 \times N \times (A-B)}{w} \times 100 \\ \text{โปรตีน (ร้อยละ)} &= \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25 \end{aligned}$$

เมื่อ	N	=	นอร์มัลลิตีของกรดไฮโดรคลอริก
	A	=	ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง
	B	=	ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรท blank
	w	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

หมายเหตุ : ควรล้างเครื่องทั้งก่อนและหลังใช้ทุกครั้ง

ข-4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)
- 2.) อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน ประกอบด้วย
 - 2.1) ถ้วยสกัด (Extraction cup) พร้อม Rack
 - 2.2) ที่จับถ้วยสกัด (Extraction cup holder)
 - 2.3) ทิมเบิล (Thimble)
 - 2.4) ตัวล็อกทิมเบิล (Thimble holder)
 - 2.5) เครื่องควบคุมความร้อน
 - 2.6) เครื่องป้อนลม
 - 2.7) เครื่องทำความเย็น (Cooling tower)
- 3.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 4.) กระดาษกรอง
- 5.) เม็ดกันเดือด (Boiling chip)
- 6.) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- 7.) โถดูดความชื้น (Desicator)

สารเคมี

- 1.) ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether) ที่มีจุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส

วิธีการทดลอง

- 1.) อบถ้วยสกัดไขมันพร้อม boiling chip ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 2.) ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วบนกระดาษกรอง 5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อให้มิดชิด ใส่ในทิมเบิล แล้วต่อทิมเบิลกับตัวล็อกทิมเบิลในถ้วยสกัดไขมัน
- 3.) ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ 150 มิลลิลิตรลงในถ้วยสกัดไขมัน
- 4.) นำถ้วยสกัดไขมันมาต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6.) เมื่อเครื่องทำการสกัดไขมันเสร็จ นำถ้วยสกัดไขมันมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยสกัดไขมัน บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 7.) อบอุ่นอย่างอีกครั้งจนน้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัมคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน ดังสมการ

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของถ้วยสกัดไขมันหลังสกัด} - \text{น้ำหนักของถ้วยสกัดไขมันก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) ขาตั้ง (Stand) และบิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2.) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- 4.) โถดูดความชื้น (Desiccator)

สารเคมี

- 1.) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
- 2.) Potassium Hydrogen Phthalate ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)
- 3.) Phenolphthalein 1%

การเตรียมสารเคมี

- 1.) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 นอร์มอล
 - 1.1) ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร นำไป standardize ด้วยสารละลายมาตรฐาน $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$
 - 1.2) วิธี standardize สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำได้โดยละลาย $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ที่ผ่านการอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ปริมาณ 0.6-0.7 กรัม ในน้ำกลั่น 50-70 มิลลิลิตร หยดสารละลาย Phenolphthalein 1% ในสารละลาย $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ จำนวน 2 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่บรรจุอยู่ในบิวเรต จนกระทั่งสารละลายมีปฏิกิริยาเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนที่คงตัว โดยทำการไตเตรท 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

$$\text{Normality ของโซเดียมไฮดรอกไซด์} = \frac{\text{จำนวนกรัม } \text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \times 1000}{\text{ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้} \times 204.229}$$

- 2.) Phenolphthalein 1%

ละลาย Phenolphthalein 1 กรัม ในเอทานอล 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

- 1.) ตวงน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Phenolphthalein 2-3 หยด
- 2.) ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์จนได้สีชมพูจางๆ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ซึ่งเป็นค่า blank
- 3.) ชั่งตัวอย่างเต้าหู้งาคำทรงกลมด้วยเครื่องชั่งละเอียดน้ำหนักประมาณ 5 กรัมลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นประมาณ 30 มิลลิลิตร บั่นด้วยเครื่องบั่นละเอียดประมาณ 1 นาที เพื่อให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ล้างเครื่องบั่นด้วยน้ำกลั่นอีก 20 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ใบเดิม หยดสารละลาย Phenolphthalein 2-3 หยด
- 4.) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนได้สีชมพูจางๆ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง กำหนดปริมาณกรดทั้งหมด ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลคติก (ร้อยละ)} = \frac{(V)(N)(\text{eq.wt})(100)}{(1000)(v)}$$

เมื่อ	V	=	ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์
	N	=	Normality ของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์
	v	=	ปริมาณของตัวอย่าง (กรัม)
	eq.wt	=	น้ำหนักสมมูลของกรดเป็นกรัม (กรดแลคติกเท่ากับ 90 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

1. การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของแข็ง

เตรียมตัวอย่างเต้าหู้ทรงกลมจากนั้นใช้ช้อนสแตนเลสที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ตักเต้าหู้ทรงกลมลงในถุงพลาสติกที่ใช้สำหรับเข้าเครื่องตีปั่น ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 25 กรัม เติมน้ำยาเจือจาง 225 มิลลิลิตร ตีปั่นด้วยเครื่อง stomacher นาน 1 นาที ตัวอย่างที่ได้จะมีระดับการเจือจาง 1:10 (10^{-1}) จากนั้นทำ dilution ต่อเป็น 10^{-2} , 10^{-3}

2. การเตรียมน้ำยาสำหรับเจือจาง **Buttlefield's phosphate buffered**

2.1 การเตรียมน้ำยาสต็อก

ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 34 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1N และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร แล้วนำมาฆ่าเชื้อใน autoclave อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2.2 การเตรียม Dilution blank

ตวงสารละลายสต็อก 1.25 มิลลิลิตร แล้วปรับเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตวงใส่ขวดที่มีปริมาตร 225 มิลลิลิตร (สำหรับเจือจางตัวอย่าง 25 กรัม) จากนั้นคูณปริมาตร 9 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองขนาด 12×150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ด้วยเครื่อง autoclave

3. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

เปิดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร แต่ละระดับการเจือจาง โดยใช้ระดับความเชื่อจากอย่างละ 2 ซ้ำ ลงในแผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M Petrifilm™ Aerobic count plate (AC) ที่ศูนย์กลางของแผ่นเพาะเชื้อ จากนั้นค่อยๆ ปล่อยแผ่นฟิล์มลงมา ระวางอย่างให้เกิดฟองอากาศ วางตัวกด (spreader) ลงบนแผ่นฟิล์มในบริเวณที่หยดตัวอย่าง ใช้นิ้วกดด้วยแรงพอประมาณจนตัวอย่างกระจายเต็มวงกลม รอประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้เจลแข็งตัวก่อนเคลื่อนย้ายแผ่นฟิล์ม ไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามวิธี AOAC official method 986.33 และ 989.10 โดยให้ด้านใสอยู่บน ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ รายงานผลเป็นจำนวน โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ภาคผนวก ง

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. ตัดชิ้นเต้านูให้เป็นแท่ง ขนาดไม่เกิน 5×8 มม. และหนาไม่เกิน 3 มม.
2. แช่ตัวอย่างในน้ำยา 2.5% glutaraldehyde ใน 0.1 M phosphate buffer pH 7.2 ซ้ำมกึนในตู้เย็น 4°C
3. ล้างน้ำยาออกด้วย phosphate buffer 1 ครั้ง แล้วตามด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที
4. Dehydrate ด้วย ethanol ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 50 70 95 และ 100 ขั้นตอนละ 30 นาที แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 ให้เปลี่ยน 3 ครั้ง
5. นำไปทำแห้ง ณ จุดวิกฤตด้วยเครื่อง critical point dryer (Quorum model K850, UK)
6. หักแท่งเต้านูตามขวางแล้วติดบนแท่นวาง (stub) ด้วยเทปกาวสองหน้าแล้วนำไปฉาบทอง (sputter coater, Balzers model SCD 040, Liechtenstein)
7. ส่องดูด้วยกล้อง SEM (JEOL, model JSM-7610F, JAPAN)

ภาคผนวก จ

จ-1 การเตรียมน้ำขิง

ส่วนผสม

- | | | |
|-------------------|-----|------|
| 1.) ขิง | 100 | กรัม |
| 2.) น้ำตาลทรายแดง | 100 | กรัม |

วิธีทำ

- 1.) นำขิงมาล้างความสะอาด ปอกเปลือก หั่นขิงให้มีความหนา 2 นิ้วแล้วทุบให้พอบุบ
- 2.) นำขิงใส่หม้อต้ม เติมน้ำกรอง 1500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- 3.) เติมน้ำตาลทรายแดง และเคี่ยวน้ำขิงต่ออีก 20 นาที จะได้น้ำขิงสีน้ำตาลเข้ม
- 4.) ยกออกจากเตา ทิ้งให้เย็น แล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อแยกขิงออก
- 5.) นำน้ำขิงที่ได้ไปใช้ในการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ตามภาคผนวก จ-2 และ จ-3



ภาพที่ จ-1 เต้าหู้งาคำทรงกลมในน้ำขิงสำหรับการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

จ-2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-Point Hedonic Scale Test

ผลิตภัณฑ์ “เต้าหู้งาดำทรงกลม”

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำชี้แจง 1. ผู้รับการประเมินจะได้รับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาดำทรงกลม 3 ตัวอย่าง

2. กรุณาชิมตัวอย่างเต้าหู้งาดำทรงกลมแล้วทำการประเมินโดยกรอกคะแนนลงในช่องว่าง
3. กำหนดระดับคะแนน ดังนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

6 = ชอบเล็กน้อย

2 = ไม่ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

3 = ไม่ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

9 = ชอบมากที่สุด

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

รหัสตัวอย่าง			
คุณลักษณะ			
ลักษณะปรากฏ			
สี			
เนื้อสัมผัส			
กลิ่นรส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-3 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-Point Hedonic Scale Test

ผลิตภัณฑ์ “เต้าหู้งาดำทรงกลมปรุงแต่งรสชาติ”

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำชี้แจง 1. ผู้รับการประเมินจะได้รับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาดำทรงกลม 3 ตัวอย่าง

2. กรุณาชิมตัวอย่างเต้าหู้งาดำทรงกลมแล้วทำการประเมินโดยกรอกคะแนนลงในช่องว่าง
3. กำหนดระดับคะแนน ดังนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

6 = ชอบเล็กน้อย

2 = ไม่ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

3 = ไม่ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

9 = ชอบมากที่สุด

5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

รหัสตัวอย่าง			
คุณลักษณะ			
ลักษณะปรากฏ			
สี			
เนื้อสัมผัส			
กลิ่นรส			
รสชาติ			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การผลิตเต้าหู้งาดำทรงกลม

ภาพแสดง



ภาพที่ จ-1 ถั่วเหลืองแกะเปลือก และงาดำคั่ว



ภาพที่ จ-2 การตีปั่นถั่วเหลืองและงาดำคั่ว

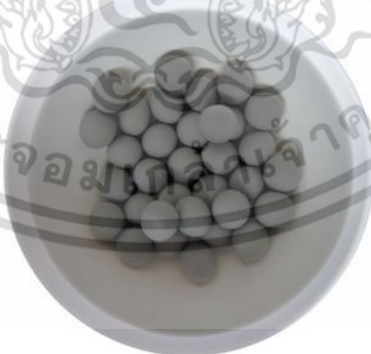
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ จ-3 น้ำนมถั่วเหลืองงาดำผสมอัลจินต



ภาพที่ จ-4 เติ้าหุ้มงาดำทรงกลมในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์



ภาพที่ จ-5 เติ้าหุ้มงาดำทรงกลมที่แช่ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวณภัท รัตนรัตกุล
วัน เดือน ปี เกิด	15 เมษายน พ.ศ.2537
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2557 ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2558 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2560
ประสบการณ์การทำงาน	นักศึกษาฝึกงาน บริษัท ฟริสแลนด์คัมพิน่า (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
การนำเสนอผลงาน	Rattanaratkul, N. and Puechkamut, Y. 2017. The production of sesame tofu by spherification technique. The 19 th Food Innovation Asia Conference 2017. 15-17 June 2017 at BITEC, Bangkok, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้