การพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอด

DEVELOPMENT OF TUBED PACKAGE SESAME TOFU

สุวพิชญ์ วงศ์ศรีศิริ

SUWAPHIT WONGSRISIRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-AI-M-053-311

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอด

DEVELOPMENT OF TUBED PACKAGE SESAME TOFU

สุวพิชญ์ วงศ์ศรีศิริ

SUWAPHIT WONGSRISIRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-AI-M-053-311

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF TUBED PACKAGE SESAME TOFU

SUWAPHIT WONGSRISIRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF FOODSCIENCES

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-AI-M-053-311

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอด

DEVELOPMENT OF TUBED PACKAGE SESAME TOFU

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุวพิชญ์ วงศ์ศรีศิริ

รหัสประจำตัว 60608032

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล	
รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม	
ผศ.ดร.ยุพร พืชกมุทร	
รศ.ดร.ระติพร มูลสาร	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 24 กรกฎาคม 2561 เวลา 09.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่...24...เดือน...กรกฎาคม...พ.ศ...2561...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอด

นักศึกษา นางสาวสุวพิชญ์ วงศ์ศรีศิริ

รหัสนักศึกษา 60608032

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

พ.ศ. 2561

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอด โดยทำการศึกษาผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้งาขาว และสารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด คือ แป้งร้อยละ 8-15 ไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0-1 และไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0-0.05 ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด ใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสทุกด้านเพิ่มขึ้น ยกเว้นค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง เมื่อปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมจากนั้นจะมีค่าลดลง แต่ค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลงจนถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมจากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว และค่าความสามารถในการเกาะกันมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และจากการจัดกลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) และใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) ทำให้ได้กลุ่มสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 4 กลุ่ม และจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าผู้ทดสอบมีความชอบให้ลักษณะเนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่น และความสามารถในการเกาะกันมาก จึงนำไปกำหนดเงื่อนไขในการทำนายสภาวะที่เหมาะสม พบว่าสูตรที่เหมาะสม คือ ปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 จึงนำสูตรที่ได้ไปทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้อุณหภูมิที่ 70-90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส และเวลา 30-60 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าการเกาะติดผิวมีค่าลดลง ส่วนค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่าลดลงจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมจากนั้นจะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด คือ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 52 นาที จึงนำอุณหภูมิ และเวลาที่ได้ไปทำการศึกษาผลของชนิดงาที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้งาขาว และงาขาวคั่ว พบว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วมีค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และความคงตัวสูงกว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างทางจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วที่มีโครงสร้างของเจลที่ประสานกันแข็งแรงกว่า และมีพื้นผิวของรูพรุนตื้นกว่า จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วได้รับคะแนนความชอบสำหรับทุกด้านมากกว่า จึงนำเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วไปศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าเต้าหู้งาแบบหลอดมีพลังงานทั้งหมดสูงกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองแบบหลอดที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่มาจากไขมันเป็นหลัก โดยมีปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวสูง และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสมากในวันที่ 10 และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น พบว่าค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นลดลง แต่ค่าน้ำหนักที่หายไปและค่าน้ำหนักน้ำที่ออกจากก้อนเต้าหู้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า pH มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันที่ 16 และเมื่อถึงวันที่ 30 พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเพียง 1.5×10^{2} โคโลนี/กรัม และไม่พบปริมาณยีสต์ และราตลอดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ เต้าหู้งาแบบหลอดที่พัฒนาขึ้นจึงมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Development of tubed package sesame tofu
Student	Miss Suwaphit Wongsrisiri
Student ID.	60608032
Program	Food Science
Degree	Master of Science
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Naphatrapi Luangsakul

Abstract

This research aimed to develop the tubed package sesame tofu. The effects of hydrocolloid type and their ratio on the quality of tubed package sesame tofu were investigated. Raw sesame was used as raw material. Three types of hydrocolloid; 8-15% of starch, 0-1% of hydrocolloid A and 0-0.05% of hydrocolloid B were studied for the optimum ratio by using a central composite design (CCD) with response surface methodology (RSM). The results indicated that the increasing of starch increased all tofu textural values (hardness, adhesiveness, and cohesiveness) but decreased the tofu springiness and its cooking loss. The increasing of hydrocolloid A increased the tofu adhesiveness, cohesiveness and springiness until their optimum contents and then their effects were decreased. Oppositely, the tofu cooking loss was decreased until its optimum content was reached. Then, its effect was increased. For the hydrocolloid B, slightly positively affected to tofu adhesiveness and cohesiveness. Grouped by as for the sensory test, the tofu textural properties were grouped by using principal component analysis (PCA) and cluster analysis. The results indicated that all the treatments could be grouped into 4 groups for the difference of the tofu textural properties. The representative tofu of each group was tested by 40 panelists by 9-point hedonic scale. The result showed that the tubed package sesame tofu was more accepted when it had more springiness and cohesiveness. Thus, the criteria of the optimum textural properties of the sesame tofu was specified for predicting the optimum ratio of the 3 hydrocolloids, The result indicated that the optimum ratio was 15% of starch, 0.29% of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hydrocolloid A and 0% of hydrocolloid B. This optimum ratio was further used to study the optimum conditions of the heating temperature and time for making the tubed package sesame tofu. The heating temperature and time were studied in the range of 70-90 °C and 30-60 minutes, respectively. The result indicated that the increasing of temperature increased the hardness but decreased the adhesiveness. The tofu cohesiveness and springiness also decreased until the optimum condition of the heating temperature and time were reached. It showed the opposite effect. Whereas, the cooking loss showed the opposite results to the tofu cohesiveness and springiness. For the effects of the heating time, it slightly decreased the tofu adhesiveness, cohesiveness, springiness and cooking loss, when it increased. The optimum heating temperature and time for making the tubed package sesame tofu was 90 °C for 52 minutes. Then, raw sesame and roasted sesame seeds was further studied to determine its effects on the quality of the tubed package sesame tofu. The result indicated that the sesame tofu made from roasted sesame seeds had higher cohesiveness, springiness and more stability than that made from raw sesame. The results concurred with the microstructure of the tubed package roasted sesame tofu by SEM that a stronger and dense gel structure with the shallower depth of pore surface than that showed from the raw sesame tofu. The sesame tofu made from roasted sesame had higher liking score for all values than that made from raw sesame. Then, the nutrition of the sesame tofu was investigated by using roasted sesame seeds. The results indicated that it had more total energy than the tubed package commercial soybean tofu. Most energy came from energy of fat which had a lot of unsaturated fatty acids. Finally, the change of the tubed package sesame tofu kept at 4 °C for 30 days was investigated. The results indicated that the sesame tofu had much changed on the day 10^{th}. The longer of keeping time decreased the tofu adhesiveness, cohesiveness and springiness but increased the cooking loss and syneresis value of the kept tofu. The pH value of the kept tofu had slightly decreased. The total plate count was found on the day 16^{th} and had 1.5×10^{2} CFU/g on the day 30^{th}. Yeast and mold was not found for the studied keeping time of 30 days. Therefore, the tubed package sesame tofu in this study could be kept for 10 days at 4 °C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ช่วยเหลือ และแก้ไขสิ่งที่บกพร่อง และให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์มาโดยตลอด อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ นับตั้งแต่แนวคิดตลอดจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ระติพร มูลสาร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพร พืชกมุทร ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาชี้แนะ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณสมชาย วงศ์ศรีศิริ (บิดา) คุณสุดารัตน์ วงศ์ศรีศิริ (มารดา) ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ด้านอื่นๆ และให้กำลังใจเสมอจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และ บุคคลากรทุกคน ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุวพิชญ์ วงศ์ศรีศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... III

กิตติกรรมประกาศ..... V

สารบัญ..... VI

สารบัญตาราง..... VIII

สารบัญภาพ..... X

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 งา (sesame)..... 4

2.2 งาคั่ว (Roasted sesame)..... 8

2.3 เต้าหู้ (tofu) 9

2.4 เต้าหู้งา (Gomatofu)..... 11

2.5 สารที่ทำให้เกิดเจล (Gelling agent)..... 12

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 13

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง..... 17

3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี..... 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 17

3.3 วิธีการทดลอง 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 29

4.1 ผลของการศึกษา และการกำหนดชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสม และมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด 29

4.2 ผลของการศึกษา และการกำหนดอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตที่เหมาะสม และมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด 45

4.3 ผลการศึกษาชนิดงาที่มีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอดทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส 52

4.4 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด 58

4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษา 60

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 65

บรรณานุกรม 67

ภาคผนวก 70

ก. การวิเคราะห์ทางกายภาพ 71

ข. การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ 78

ค. แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 80

ง.มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เต้าหู้แผ่น (มผช.461/2546) 83

ประวัติผู้วิจัย 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์..... 20

ตารางที่ 3.2 การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิต..... 24

ตารางที่ 4.1 ผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่อชนิดสารไฮโดรคอลลอยด์..... 30

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม (N = 40)..... 40

ตารางที่ 4.3 ผลการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด..... 41

ตารางที่ 4.4 ผลค่าทำนาย และค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์……..... 43

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ระหว่างตัวอย่างที่ได้จากสมการทำนาย และตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 4.1.2.2 (N = 40)..... 44

ตารางที่ 4.6 ผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่ออุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด…..... 46

ตารางที่ 4.7 ผลการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด 50

ตารางที่ 4.8 ผลค่าทำนาย และค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด..... 52

ตารางที่ 4.9 ผลของชนิดงาที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดงาที่มีต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดงเขียว (a*) และค่าสีเหลืองน้ำเงิน (b*) ของเต้าหู้งาแบบหลอด..... 54

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่ว (N = 40)..... 56

ตารางที่ 4.12 ผลคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด..... 58

ตารางที่ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีต่ออายุการเก็บรักษาของเต้าหู้งาแบบหลอด..... 61

ตารางที่ 4.14 ผลการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ และรา..... 63

ตารางที่ ข1 การตั้งค่าการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด..... 72

ตารางที่ ง1 หลักเกณฑ์การให้คะแนนเต้าหู้แผ่น..... 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 เมล็ดงา..... 4

ภาพที่ 2.2 ฝักงา..... 5

ภาพที่ 2.3 น้ำมันงา..... 5

ภาพที่ 2.4 วิธีการผลิตเต้าหู้งา (Gomatofu)..... 11

ภาพที่ 2.5 เต้าหู้งา (Gomatofu)..... 11

ภาพที่ 2.6 การเกิดเจล..... 12

ภาพที่ 4.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA)…..... 36

ภาพที่ 4.2 แผนภาพตำแหน่งของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis).. 36

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการแบ่งกลุ่มของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis)..... 38

ภาพที่ 4.4 โครงสร้างทางจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว (ก) และงาขาวคั่ว (ข) ที่กำลังขยาย 1000x…..... 54

ภาพภาคผนวกที่ ก1 การจัดวางตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดบนเครื่องวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส 71

ภาพภาคผนวกที่ ก2 กราฟแสดงการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด…..... 73

ภาพภาคผนวกที่ ก3 การกรองก้อนเต้าหู้ด้วยตะแกรงกรองขนาด 400 ไมโครเมตร..... 74

ภาพภาคผนวกที่ ก4 การวัดสีตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอด…..... 76

ภาพภาคผนวกที่ ก5 เต้าหู้งาแบบหลอดบนตะแกรงในกล่องพลาสติก…..... 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันผู้บริโภคนิยมรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น โดยมีการรับประทานอาหารจากพืชมากขึ้น และมีการรับประทานอาหารจากสัตว์น้อยลง โดยเต้าหู้ที่ใช้วัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบจัดเป็นอาหารประเภทโปรตีนจากพืช ซึ่งได้จากการเสียสภาพโปรตีน ส่วนมากจะใช้ถั่วเหลืองในการผลิต ดังนั้นเต้าหู้จึงเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยโปรตีนที่มีประโยชน์สูง นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ ซึ่งให้พลังงานมาก มีไขมันชนิดอิ่มตัวต่ำ และไม่มีคอเลสเตอรอล ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับเป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหาร ทั้งอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารควบคุมน้ำหนัก อาหารผู้รับประทานมังสวิรัติ/เจ และด้วยความที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มผู้สูงอายุจึงสามารถรับประทานได้ โดยมีการผลิตเต้าหู้หลายรูปแบบ ซึ่งมีความแตกต่างกันด้านเนื้อสัมผัส เช่น เต้าหู้แข็ง เต้าหู้อ่อน เต้าหู้หลอด เต้าฮวย และฟองเต้าหู้ แต่ถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด เช่น เมไทโอนิน ลิวซิน ในปริมาณน้อย และมีกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของถั่วเหลือง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้บริโภคบางคนไม่รับประทานเต้าหู้ ดังนั้นการนำงาที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น เมไทโอนิน ลิวซีน ในปริมาณสูง ซึ่งในถั่วเหลืองมีปริมาณน้อย มาใช้ในการผลิตเต้าหู้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยมีเต้าหู้ประเภทหนึ่งในประเทศญี่ปุ่นที่ทำจากงา เรียกว่า “Gomatofu” หรือเต้าหู้งา เป็นเต้าหู้ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม มีความยืดหยุ่นมาก และมีเนื้อเนียน (Sato, 2003) ซึ่งทำจากการนำเมล็ดงาทั้งเมล็ดไปปั่นผสมกับน้ำจนละเอียด จากนั้นทำการกรองกากงาออกจะได้น้ำนมงาออกมา แล้วนำแป้ง Kudzu เติมลงไปในน้ำนมงา ซึ่งแป้ง Kudzu เป็นแป้งของประเทศญี่ปุ่นที่ทำจากรากของพืช เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะมีลักษณะเหนียว และนุ่ม จากนั้นให้ความร้อนประมาณ 25 นาที พร้อมทำการกวนด้วยความเร็วคงที่ แล้วเทใส่พิมพ์ รอให้เย็นเพื่อให้เกิดการเซตตัวก็จะได้เป็นเต้าหู้งา ซึ่งจะเห็นได้ว่าเต้าหู้จากงากับเต้าหู้จากถั่วเหลืองมีวิธีการทำคล้ายกันแต่มีความแตกต่างกัน คือ เต้าหู้จากงาจะใช้แป้ง Kudzu ในการช่วยให้เกิดโครงสร้างเคิร์ดของเต้าหู้ ในขณะที่เต้าหู้จากถั่วเหลืองจะใช้สารช่วยตกตะกอนในการตกตะกอนโปรตีน และมีการทับน้ำออกสำหรับเต้าหู้บางชนิด ซึ่งเต้าหู้งาในประเทศญี่ปุ่นนิยมรับประทานเป็นของหวาน ไม่ต้องมีการผ่านการให้ความร้อนหลังจากเซตตัวแล้ว และในผลิตภัณฑ์เต้าหู้มีผลิตภัณฑ์เต้าหู้อีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือ เต้าหู้ไข่ ซึ่งเป็นเต้าหู้สำหรับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรุงอาหารแบบร้อน โดยการใช้ความร้อนในการทำให้เกิดเจล ซึ่งเจลที่เกิดขึ้นสามารถทนความร้อนในระดับการปรุงอาหารได้ และนิยมบรรจุในหลอด ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ และทำการบรรจุลงในหลอด โดยเป็นเจลที่สามารถคงรูปได้เมื่อนำเต้าหู้งาแบบหลอดมาผ่านการให้ความร้อนในระดับการปรุงอาหารแบบต้ม

โดยในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้แป้งที่ปลูกในประเทศไทย และสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ รวมถึงศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด และผลของชนิดงา (งาขาว และงาขาวคั่ว) ที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอด รวมทั้งศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ และการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด
2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด
3. เพื่อศึกษาผลของชนิดงาที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด
4. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด
5. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้งาขาว และสารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด คือ แป้งร้อยละ 8 ถึง 15 ไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0 ถึง 1 และไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 ถึง 0.05 ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) เพื่อพัฒนาเต้าหู้งาแบบหลอดให้เกิดความแตกต่างของเนื้อสัมผัส น้ำหนักที่หายไป และลักษณะทางประสาทสัมผัส จากการทดลองนี้ได้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารไฮโดรคอลลอยด์แบบผสมทั้ง 3 ชนิด ในการทำเต้าหู้งาแบบหลอด จากนั้นทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 70 ถึง 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส และใช้เวลา 30 ถึง 60 นาที ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) เพื่อพัฒนาเต้าหู้งาแบบหลอดด้านเนื้อสัมผัสและน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด จากการทดลองนี้ได้ทราบอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด จากนั้นทำการศึกษาผลของชนิดงาที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้งา 2 ชนิด คือ งาขาว และงาขาวคั่วมาทำการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด เพื่อศึกษาเต้าหู้งาแบบหลอดด้านเนื้อสัมผัส น้ำหนักที่หายไป สี โครงสร้างทางจุลภาค และคุณภาพทางประสาทสัมผัส จากการทดลองนี้ได้ทราบชนิดงาที่เหมาะสมในการทำเต้าหู้งาแบบหลอด จากนั้นนำชนิดงาที่เหมาะสมจากการศึกษาขั้นต้นมาทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยทำการวิเคราะห์พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมัน ไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว โคเลสเตอรอล โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร น้ำตาล โซเดียม วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 แคลเซียม เหล็ก เถ้า และความชื้น และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงในเต้าหู้งาแบบหลอดทางด้านคุณภาพเนื้อสัมผัส น้ำหนักที่หายไป การเกิดซินเนอริซิส การเปลี่ยนแปลง pH และจุลินทรีย์ จากการทดลองนี้ได้ทราบการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอดต่ออายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 งา (Sesame) (อริยาภรณ์, 2556)

งา (Sesame) จัดอยู่ในวงศ์ Pedaliaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* L. ซึ่งเป็นพืชน้ำมัน (Oil crop) ที่มีอายุเก่าแก่ชนิดหนึ่งของโลก พบโดยทั่วไปในเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน สำหรับประเทศไทยมีการปลูกงามาอย่างยาวนาน โดยมีการส่งออกเมล็ดงา (ภาพที่ 2.1) และน้ำมันงาในระยะแรกเป็นจำนวนมาก แต่ในระยะหลังมีการนำเข้าเมล็ดงาเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการปลูกงาไม่เพียงพอต่อความต้องการ

ภาพที่ 2.1 เมล็ดงา

ที่มา: Spiegel (2015)

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

งาเป็นพืชน้ำมันที่ไวต่อแสง สามารถปลูกได้ในดินทุกชนิด โดยเมล็ดงาจะมีลักษณะเป็นผลหรือฝักยาวประมาณ 2-5 เซนติเมตร(ภาพที่ 2.2) มีจำนวน 2-4 พู แต่ละพูมีเมล็ดประมาณ 40-400 เมล็ด เมล็ดติดอยู่กับผนังด้านในของเปลือกฝักซึ่งมี 2 ชั้น โดยส่วนชั้นในเป็นเส้นใย เปลือกฝักจะมีผิวเรียบหรือมีขนอ่อนปกคลุม โดยฝักอ่อนจะมีสีเขียว และจะเป็นสีน้ำตาลหรือม่วงดำเมื่อฝักแก่ เมล็ดงามีขนาดเล็กรูปไข่หรือรูปหัวใจ มีสีขาว สีเหลือง สีแดง สีน้ำตาล สีเทา หรือสีดำ น้ำหนักประมาณ 2-4 กรัม ต่อ 1,000 เมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.2 ฝักงา

ที่มา: Spiegel (2015)

2.1.2 การใช้ประโยชน์

เมล็ดงาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ทางยา เครื่องสำอาง และอาหาร โดยเมล็ดงาสามารถนำไปสกัดเป็นน้ำมันงา (ภาพที่ 2.3) และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถช่วยลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ หลอดเลือดอุดตัน ป้องกัน และรักษาโรคข้อเสื่อม ได้ เป็นต้น

ภาพที่ 2.3 น้ำมันงา

ที่มา: Conklin (2018)

2.1.3 องค์ประกอบของเมล็ดงา

องค์ประกอบหลักของเมล็ดงาคือ น้ำมันที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 43.3-44.7 และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 18.3-25.4 โดยน้ำมันที่ได้จากเมล็ดงาเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี คือ ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ประมาณร้อยละ 80-85 ได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) ซึ่งกรดลิโนเลอิกเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกาย (Essential fatty acid) นอกจากนั้นยังมีแร่ธาตุที่สำคัญ คือ สังกะสี ไอโอดีน เหล็ก ฟอสฟอรัส แคลเซียม และมีวิตามินต่างๆ โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน คือ วิตามินอี (Vitamin E)

เมล็ดงายังมีสารสำคัญ 2 ชนิด คือ เซซามิน (Sesamin) และเซซาโมลิน (Sesamolin) ซึ่งมีในงาเท่านั้น โดยมีปริมาณประมาณ 474 ppm และ159 ppm ตามลำดับ และมีสารเซซาโมล (Sesamol) ในปริมาณน้อยอีกด้วย โดยสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ดี ทำให้น้ำมันงาสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานและไม่มีกลิ่นหืน

2.1.4 ชนิดพันธุ์งาและแหล่งปลูก (อภิชาต และ วิไลภรณ์, 2558)

งาที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งตามสีของเมล็ดได้ 3 ชนิด ดังนี้

2.1.4.1 งาดำที่ใช้ปลูกกันทั่วไปมี 4 พันธุ์ ได้แก่

2.1.4.1.1 งาดำพันธุ์บุรีรัมย์ เป็นพันธุ์พื้นเมืองมีลักษณะฝัก 4 กลีบ 8 พู เมล็ดมีสีค่อนข้างดำสนิท และมีขนาดใหญ่ มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 90-100 วัน ผลผลิต 60-130 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.4.1.2 งาดำพันธุ์นครสวรรค์ เป็นพันธุ์พื้นเมือง ปัจจุบันเป็นพันธุ์ที่มีการแนะนำส่งเสริมให้ปลูกในพื้นที่หลายจังหวัด ลักษณะฝักเป็นแบบ 4 กลีบ 8 พู ฝักแตกง่ายเมื่อสุกแก่ เมล็ดมีสีดำขนาดใหญ่ และเต่ง มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 95-100 วัน ผลผลิต 60-130 กิโลกรัมต่อไร่ นิยมปลูกมากในจังหวัดบุรีรัมย์ ศรีสะเกษ สุรินทร์ นครราชสีมา มหาสารคาม ชัยภูมิ สระบุรี ลพบุรี เพชรบูรณ์ พิษณุโลก อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ปราจีนบุรี และ สุราษฎร์ธานี

2.1.4.1.3 งาดำพันธุ์ มก.18 เป็นพันธุ์แท้ที่มีการปรับปรุงพันธุ์โดยหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งได้คัดเลือกพันธุ์โดยวิธีจดประวัติจากคู่ผสมระหว่าง col.34 กับงาดำนครสวรรค์ ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู ฝักเกิดตรงกันข้าม จึงมีจำนวนของฝักต่อต้นสูง เมล็ดมีสีดำสนิท มีน้ำหนักเมล็ด 3 กรัม ต่อ 1,000 เมล็ด มีอายุการเก็บเกี่ยวช่วงปลายฤดูฝน 85 วัน และช่วงต้นฤดูฝน 90 วัน ผลผลิต 60-148 กิโลกรัมต่อไร่ มีความทนทานต่อโรคราแป้ง และทนต่อการหักล้ม โดยมีการส่งออกงาดำพันธุ์ มก.18 ไปยังประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีความต้องการงาสูงถึงปีละ 10,000-30,000 ตัน

2.1.4.1.4 งาดำพันธุ์ มข.2 เป็นพันธุ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นปรับปรุง และคัดเลือกพันธุ์มาจากงาดำพันธุ์ ซีบี 80 ของจีน ลักษณะฝักเป็นแบบ 4 พู เมล็ดสีดำสนิท ไม่ไวต่อช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง น้ำหนักเมล็ด 2.77 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ปลูกได้ดีทั้งต้นฝนและปลายฤดูฝน มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 70-75 วัน ผลผลิต 80-150 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานต่อโรคเน่าดำ และทนแล้งได้ดี ส่งเสริมการปลูกในจังหวัดบุรีรัมย์ และมหาสารคาม

2.1.4.2 งาขาวที่ใช้ปลูกกันทั่วไปมี 6 พันธุ์ ได้แก่

2.1.4.2.1 งาขาวพันธุ์เมืองเลยหรืองาไข่ปลา ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 กลีบ 4 พู มีขนาดเมล็ดเล็ก มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 110-120 วัน ผลผลิต 60-90 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นที่ต้องการของตลาดเนื่องจากเมื่อนำไปสกัดน้ำมันจะมีกลิ่นหอม นิยมปลูกมากในจังหวัดเลย และบริเวณชายแดนไทย-ลาว ช่วงจังหวัดเลยถึงอุตรดิตถ์

2.1.4.2.2 งาขาวพันธุ์เชียงใหม่ ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 กลีบ 4 พู มีขนาดเมล็ดเล็กแต่ใหญ่กว่าพันธุ์เมืองเลยเล็กน้อย เมล็ดมีรูปร่างคล้ายหัวใจ ไวต่อช่วงแสง มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 110-120 วัน ผลผลิต 60-90 กิโลกรัมต่อไร่ นิยมปลูกมากในจังหวัดแม่ฮ่องสอนและเชียงใหม่

2.1.4.2.3 งาขาวพันธุ์ชัยบาดาลหรือสมอทอด ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 กลีบ 4 พู เมล็ดมีขนาดปานกลาง มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 80-85 วัน ผลผลิต 50-80 กิโลกรัมต่อไร่ นิยมปลูกมากในจังหวัดเพชรบูรณ์ และลพบุรี แต่ปัจจุบันมีปริมาณน้อยมาก

2.1.4.2.4 งาขาวพันธุ์ร้อยเอ็ด 1 เป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงคัดเลือกพันธุ์ ลักษณะฝักเป็นแบบ 4 กลีบ 8 พู สีเมล็ดขาวสม่ำเสมอ มีขนาดปานกลาง มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 70-75 วัน ผลผลิต 50-120 กิโลกรัมต่อไร่ เหมาะสำหรับปลูกเป็นแถว ไม่ต้านทานต่อหนอนห่อใบงา และหนอนผีเสื้อ หัวกะโหลก ฝักแตกง่าย จะต้องเก็บเกี่ยวทันทีที่ครบอายุเก็บเกี่ยว

2.1.4.2.5 งาขาวพันธุ์ มข. 1 เป็นพันธุ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นปรับปรุงมาจากงาขาว ซีดับบลิว 103 ของจีน ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู ไม่ไวต่อแสงช่วงแสง ไม่แตกกิ่งก้าน เมล็ดสีขาวค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเมล็ด 2.79 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 70-75 วัน ผลผลิต 80-150 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ต้านทานหนอนห่อใบงา และหนอนผีเสื้อกะโหลก

2.1.4.2.6 งาขาวพันธุ์มหาสารคาม 60 เป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงพันธุ์จากพันธุ์ที-85 ของประเทศอินเดีย ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 กลีบ 4 พู ต้นโปร่ง ขนาดเมล็ดโตสีขาว น้ำหนัก 2.90 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 80-85 วัน ผลผลิต 107 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ต้านทานโรคราแป้ง ส่งเสริมการปลูกในจังหวัดสระบุรี ลพบุรี เพชรบูรณ์ พิษณุโลก และกาญจนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 งาดำแดงหรืองาเกษตรที่ใช้ปลูกมี 3 พันธุ์ ได้แก่

2.1.4.3.1 งาแดงพันธุ์พื้นเมืองพิษณุโลก และพันธุ์พื้นเมืองสุโขทัย ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 กลีบ 4 พู แตกกิ่งก้านมาก ขนาดเมล็ดโต สีของเมล็ดมีทั้งสีดำ และสีน้ำตาลแดงปนอยู่ด้วยกัน มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 80-85 วัน ผลผลิต 60-90 กิโลกรัมต่อไร่ นิยมปลูกมากในจังหวัดเพชรบูรณ์ นครสวรรค์ พิษณุโลก สุโขทัย ลพบุรี สระบุรี อุตรดิตถ์ แพร่ และน่าน

2.1.4.3.2 งาแดงพันธุ์อุบลราชธานี 1 คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร จากงาพันธุ์นานนี 25/160/85-9 ของประเทศพม่า ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู ต้นแตกกิ่ง 3-5 กิ่ง มีขนาดเมล็ดโต น้ำหนักเมล็ด 3.16 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 80-85 วัน ผลผลิต 141 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานโรคเหี่ยวหนอนห่อใบงา ไรขาว และมวนฝื่น ใช้เป็นพันธุ์แนะนำให้เกษตรกรปลูกแทนพันธุ์พื้นเมือง

2.1.4.3.3 งาแดงพันธุ์ มข.3 คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น จากงาพันธุ์นานนีของประเทศพม่า ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู เมล็ดโตสีแดง น้ำหนักเมล็ด 3.12 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด มีอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 80-85 วัน ผลผลิต 100-180 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกได้ทั้งต้นฝน และปลายฤดูฝนเหมาะที่จะปลูกแบบหว่าน ค่อนข้างต้านทานโรคและแมลง

2.2 งาคั่ว (Roasted sesame) (Morgan, 2016; Makinde และ Akinoso, 2014)

งาคั่ว คือ เมล็ดงาที่นำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน จนเมล็ดงาพอง และกรอบมากขึ้น เพื่อให้ได้กลิ่นหอมเพิ่มมากขึ้น โดยมีคุณค่าทางโภชนาการเปลี่ยนไปดังนี้

2.2.1 พลังงาน และไขมัน

งาที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วจะมีพลังงานสูงกว่า โดยงา 100 กรัมมีพลังงานประมาณ 567 กิโลแคลอรี่ ในขณะที่งาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีพลังงานประมาณ 560 กิโลแคลอรี่ และมีปริมาณไขมันมากกว่า โดยการเพิ่มขึ้นของพลังงานส่วนมากจะมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมัน ซึ่งใน 100 กรัม งาคั่วจะมีไขมันประมาณ 55 กรัม และในงาจะมีไขมันประมาณ 52 กรัม โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการคั่วสูงขึ้นจะทำให้พลังงาน และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โปรตีน

งาที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วจะมีปริมาณโปรตีนลดลงเล็กน้อย โดยงาดิบ 100 กรัมจะมีโปรตีนประมาณ 20 กรัม และในงาจะมีโปรตีนประมาณ 26 กรัมเนื่องจากกรดอะมิโนบางชนิดสามารถละลายได้ในน้ำ และเมื่อนำไปคั่วจะทำให้น้ำบางส่วนถูกระเหยออกไป ดังนั้นกรดอะมิโนบางส่วนจึงถูกระเหยออกไปด้วย

2.2.3 แร่ธาตุ

งาที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วจะมีปริมาณแร่ธาตุเพิ่มสูงขึ้น เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ยกเว้นแมงกานีส และเซเลเนียมที่จะมีปริมาณลดลง

2.2.4 วิตามิน

ในเมล็ดงาทั้ง 2 แบบ ทั้งที่ผ่านการให้ความร้อน และไม่ผ่านการให้ความร้อนจะมีวิตามินใกล้เคียงกัน โดยจะพบไทอามิน และไรโบฟลาวิน และวิตามิน E อยู่ค่อนข้างน้อย แต่จะไม่พบวิตามิน A D และ K อยู่เลย

2.3 เต้าหู้ (tofu) (พรรณภัทร และสุมาลิน, 2556)

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่คนเอเชียรู้จัก และบริโภคมาเป็นระยะเวลานาน เป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง สามารถย่อยได้ง่าย และมีราคาไม่แพง โดยเต้าหู้ส่วนมากที่ทำจากถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตกตะกอนของโปรตีน โดยสารตกตะกอนที่นิยม ได้แก่ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ซึ่งเต้าหู้แต่ละประเภทจะใช้สารตกตะกอนที่แตกต่างกัน เต้าหู้ในแต่ละประเทศมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น ประเทศจีนเรียกว่า Toufu หรือ Tao-fu เกาหลีเรียก Tufu ส่วนในญี่ปุ่นเรียกว่า Tofu ซึ่งในญี่ปุ่นมีการบริโภคเต้าหู้เป็นจำนวนมากจนสามารถถือได้ว่าเป็นอาหารหลักอย่างหนึ่ง ซึ่งมีการแบ่งชนิดของเต้าหู้ออกเป็น 2 ชนิด คือ Momen Tofu ซึ่งเป็นเต้าหู้ที่มีการกำจัดน้ำเวย์ออกจากตะกอนของโปรตีน และ Kinugoshi-Tofu ซึ่งเป็นเต้าหู้ที่ไม่มีการกำจัดน้ำออกจากตะกอนโปรตีน จึงได้เต้าหู้ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มกว่า

2.3.1 ลักษณะของเต้าหู้

ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้จะมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นกับกระบวนการผลิต โดยทำการปรับปริมาณความชื้น เช่น เต้าหู้ที่มีผิวเรียบ และอ่อนนุ่มจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 87-90 ส่วนเต้าหู้ที่มีลักษณะแข็ง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์จะมีปริมาณน้ำร้อยละ 50-60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชนิดของสารตกตะกอนก็ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ให้มีความแตกต่างกัน โดยรูปร่าง และขนาดของเต้าหู้จะขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์หรือภาชนะที่ใส่ เต้าหู้ที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีกลิ่น มีรสจืด และมีสีขาว ต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบ แน่น เกาะติดกันไม่เป็นยาง และแข็ง ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้จึงเป็นสิ่งสำคัญมีผลต่อคุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้ (วัฒนา, 2534)

อัตราเร็วของการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าอุณหภูมิของน้ำนมถั่วเหลืองสูงขึ้นจะใช้ปริมาณสารตกตะกอนน้อยลง โดยเต้าหู้ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งหยาบ ปริมาณของเต้าหู้ที่ได้ระหว่างอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นอุณหภูมิที่นิยมใช้ส่วนมากจะอยู่ระหว่าง 65-95 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของเต้าหู้ ซึ่งถ้าใช้อุณหภูมิสูงมากจะทำให้ได้เต้าหู้ที่แข็งมาก

2.3.3 ชนิดของเต้าหู้ (จันทร และคณะ, 2546; อุบล, 2546)

ชนิดของเต้าหู้จากถั่วเหลืองสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของเนื้อสัมผัส ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ขั้นตอนการทำ โดยแบ่งได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

2.3.3.1 เต้าหู้แข็ง

มีลักษณะเป็นเต้าหู้ที่มีเนื้อแข็ง มีสีขาวนวล นิยมใช้ดีเกลือหรือเกลือแมกนีเซียมซัลเฟตช่วยในการตกตะกอน เมื่อตกตะกอนแล้วนำมาใส่ผ้าขาวบางที่ปูในพิมพ์ ห่อให้เป็นก้อนและกดเอาน้ำออกก็จะได้เต้าหู้แข็ง

2.3.3.2 เต้าหู้อ่อน

มีลักษณะเป็นเต้าหู้ที่มีสีขาวนวล มีวิธีการทำเช่นเดียวกับเต้าหู้แข็งแต่นิยมใช้เจ๊ียะกอหรือแคลเซียมซัลเฟตช่วยในการตกตะกอน และในขั้นตอนกดทับจะใช้น้ำหนักกดทับน้อยกว่าเต้าหู้แข็ง จึงได้ลักษณะที่เนียนและอ่อนนุ่มกว่าเต้าหู้แข็ง

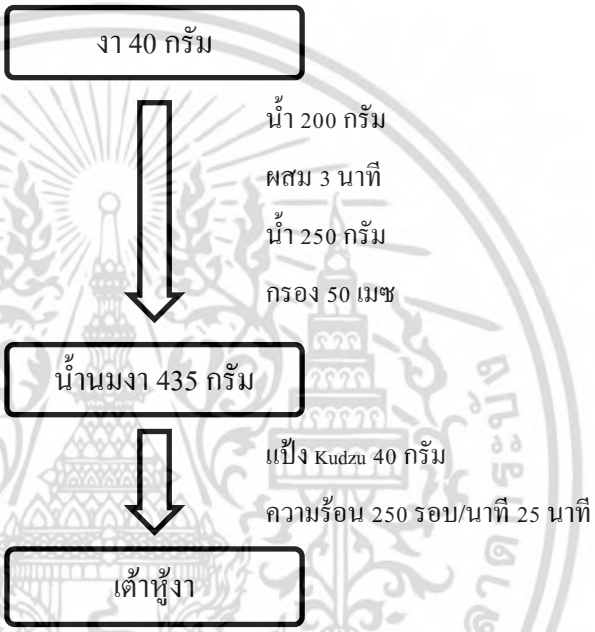
2.3.3.3 เต้าหู้หลอด

มีลักษณะเป็นเต้าหู้ที่มีเนื้อนุ่ม สีขาวนวลเช่นเดียวกับเต้าหู้อ่อน แต่เนื่องจากมีวิธีการทำต่างกัน คือ จะนำน้ำเต้าหู้มาบรรจุลงในหลอดพลาสติกแบบสุญญากาศไปพร้อมกับการตกตะกอนโปรตีนด้วยกลูโคโนเดลต้าแลกโตน (Glucono-delta-lactone) โดยไม่มีการคนและไม่มีการกดทับเพื่อเอาน้ำออก ทำให้ได้เต้าหู้ที่มีความชื้นสูงและมีลักษณะที่ลื่นกว่าเต้าหู้อ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เต้าหู้งา (Gomatofu) (Sato และ Ito, 2003)

เต้าหู้งา (Gomatofu) (ภาพที่ 2.5) เป็นอาหารประเภทมังสวิรัติ และเป็นอาหารญี่ปุ่นแบบดั้งเดิม ซึ่งจะทำการผสมกันระหว่าง Kudzu และงา โดยเต้าหู้งาจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม เนียน และยืดหยุ่น ซึ่งจะมีความแตกต่างกันตามส่วนผสมที่ใช้ในการทำ การผลิตเต้าหู้งาสามารถทำได้โดยนำเมล็ดงามาทำการปั่นผสมกับน้ำจากนั้นทำการกรองเพื่อให้ได้น้ำนมงา ทำการเติมแป้ง Kudzu และให้ความร้อน ทำการกวนจนกระทั่งเกิดเป็นเจล โดยมีวิธีการผลิตดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วิธีการผลิตเต้าหู้งา (Gomatofu)

ที่มา: Sato และ Ito (2003)

ภาพที่ 2.5 เต้าหู้งา (Gomatofu)

ที่มา: Eiko (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แป้ง Kudzu

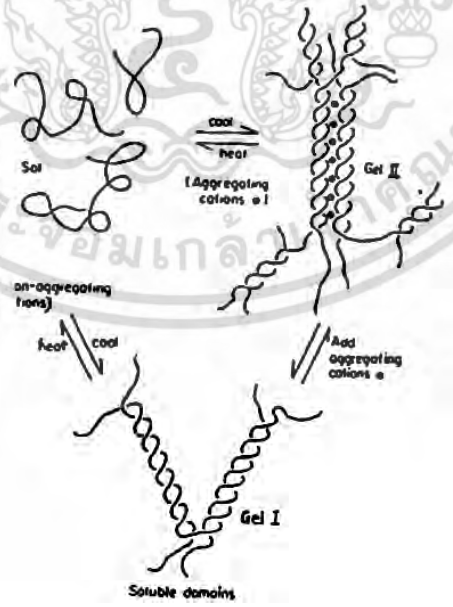
แป้ง Kudzu มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Pueraria montana *(Lour.) Merr* มีชื่อเรียกทั่วไป คือ Kudzu Vine เนื่องจากเป็นพืชไม้เลื้อยที่มีลักษณะส่วนยอดของต้นคล้ายต้นอ่อนที่ใช้ผลิตไวน์ โดยที่ประเทศญี่ปุ่นนำรากไปสกัดแป้งออกมาเพื่อใช้สำหรับทำเป็นเค้กให้มีลักษณะเหนียว และนุ่ม ซึ่งแป้งที่สกัดจากรากมีสรรพคุณเป็นยาช่วยรักษาโรคไข้หวัด อาการปวดคอ และปวดตา ช่วยลดการดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น

2.5 สารที่ทำให้เกิดเจล (Gelling agent) (นิธิยา, 2551)

สารที่ทำให้เกิดเจล (Gelling agent) หมายถึง พอลิแซ็กคาไรด์กัมบางชนิด เช่น เพกติน อะการ์ แป้ง แอลจิเนต และคาราจีแนน สามารถเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีลักษณะสำคัญ คือ เมื่อสารเหล่านี้รวมกับน้ำในปริมาณมากจะเกิดเป็นของกึ่งแข็งกึ่งยืดหยุ่น การเกิดเจล (Gelation) ในอาหารแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.5.1 Thermoreversible gel

Thermoreversible gel คือ เจลที่เปลี่ยนกลับเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน เช่น เจลจากวุ้น (Agar) คาราจีแนน (Carrageenan) และ เจลาติน (Gelatin) โดยการเกิดเจลแสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การเกิดเจล

ที่มา: Morris (1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 Thermoirrevisible gel

Thermoirrevisible gel คือ เจลที่ไม่เปลี่ยนกลับเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน เช่น เจลจากสตาร์ช (Starch) แอลจิเนต (Alginate) และ เจลจากโปรตีน เช่น การรวมกันของแอคตินและไมโอซิน เกิดเป็นเจลในซูริมิ และการเกิดเจลของไข่ขาวสุก เป็นต้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์มีดังนี้

Karim และคณะ (1999) ศึกษาผลของคาราจีแนนต่อผลผลิตและคุณสมบัติของเต้าหู้ โดยศึกษาผลของคาราจีแนนซึ่งเป็นโพลีแซกคาไรด์ ร่วมกับสารตกตะกอน 3 ชนิด คือ กลูโคโนเดลต้าแลคโตน (GDL) แคลเซียมซัลเฟต (CS) และแคลเซียมอะซิเตต (CA) ที่มีผลต่อผลผลิต และคุณสมบัติทางกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลือง โดยพบว่าปริมาณความชื้น และผลผลิตของเต้าหู้ที่ใช้กลูโคโนเดลต้าแลคโตน (GDL) ในการตกตะกอนมีค่ามากกว่าเต้าหู้ที่ใช้แคลเซียมซัลเฟต (CS) และแคลเซียมอะซิเตต (CA) ในการตกตะกอน และพบว่าการใช้คาราจีแนนเพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้กลูโคโนเดลต้าแลคโตน (GDL) ในการตกตะกอนแต่มีผลผลิตเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้แคลเซียมซัลเฟต (CS) และแคลเซียมอะซิเตต (CA) ในการตกตะกอน โดยมีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 33 และร้อยละ 46.7 ตามลำดับ ลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ที่ใช้แคลเซียมซัลเฟต (CS) ในการตกตะกอนจะมีความแข็งมากกว่าที่ใช้กลูโคโนเดลต้าแลคโตน (GDL) และแคลเซียมอะซิเตต (CA) ในการตกตะกอน และเมื่อใช้คาราจีแนนร่วมกับแคลเซียมซัลเฟต (CS) และแคลเซียมอะซิเตต (CA) จะทำให้ความแข็งลดลง และเกิดความยืดหยุ่นมากขึ้น ในขณะที่คาราจีแนนไม่มีผลเมื่อใช้กลูโคโนเดลต้าแลคโตนในการตกตะกอน และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส การใช้แคลเซียมซัลเฟต (CS) ในการตกตะกอนจะเกิดการหดตัวของโครงสร้างน้อยกว่าแคลเซียมอะซิเตต (CA) และกลูโคโนเดลต้าแลคโตน (GDL) ตามลำดับ แต่เมื่อใช้คาราจีแนนเพิ่มขึ้นจะเกิดการหดตัวของโครงสร้างมากขึ้นเมื่อใช้แคลเซียมซัลเฟต (CS) และแคลเซียมอะซิเตต (CA) ในการตกตะกอน โดยการใช้แคลเซียมซัลเฟต (CS) ในการตกตะกอนจะเกิดการหดตัวของโครงสร้างมากกว่า ในขณะที่การใช้คาราจีแนนร่วมกับกลูโคโนเดลต้าแลคโตน (GDL) มีผลทำให้เกิดการหดตัวของโครงสร้างลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Li และคณะ (2014) ศึกษาการเตรียมเต้าหู้อินทรีย์โดยใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ร่วมกับพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำให้เกิดความคงตัว โดยใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ร่วมกับพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำให้เกิดความคงตัว 3 ชนิด คือ คาราจีแนน กัวกัม และอะราบิคกัม พบว่าเมื่อใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ร่วมกับคาราจีแนนจะมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นจาก 969.5 กรัม เป็น 1210.5 กรัม และเมื่อใช้ร่วมกับกัวกัม 0.6 กรัม จะมีความแข็งลดลงเป็น 505.5 กรัม แต่เมื่อใช้ยิปซัมร่วมกับกัวกัม 0.6 กรัม จะสามารถเพิ่มผลผลิตของเต้าหู้ ความชอบโดยรวมของเต้าหู้อินทรีย์เมื่อใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ร่วมกับกัวกัมหรือยิปซัมจะมีลักษณะคล้ายกับเต้าหู้ปกติที่ใช้ยิปซัมแต่ทำให้มีกลิ่นรสของถั่วเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ร่วมกับกัวกัม 0.6 กรัม ในการทำเต้าหู้อินทรีย์

Murad และคณะ (2015) ศึกษาการหาสูตรที่เหมาะสมของเต้าหู้ไข่ด้วยคาราจีแนน อะราบิคกัม และแป้งข้าวโพด จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยศึกษาผลของ คาราจีแนน อะราบิคกัม และแป้งข้าวโพดที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้ไข่ และเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของเต้าหู้ไข่ โดยใช้วิธีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) และใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยศึกษาปัจจัยทั้ง 3 คือ คาราจีแนน (ร้อยละ 0.1-0.2) อะราบิคกัม (ร้อยละ 0.1-1.0) และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ 1.5-2.5) โดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีตัวแปรตาม คือ กลิ่นไข่ ความเป็นแป้ง ความสามารถในการเกาะกัน ความฝืด และรสสัมผัสหลังรับประทาน พบว่าเต้าหู้ไข่ที่สำหรับสูตรที่เหมาะสมต้องใช้คาราจีแนนร้อยละ 0.12 อะราบิคกัมร้อยละ 0.61 และแป้งข้าวโพดร้อยละ 2.00 ซึ่งได้ค่ากลิ่นไข่ ความเป็นแป้ง ความสามารถในการเกาะกัน ความฝืด และรสสัมผัสหลังรับประทานที่ 62, 88, 37, 34 และ 60 มิลลิเมตรตามลำดับ จากสเกลทั้งหมด 150 มิลลิเมตร

Shen และ Kuo (2017) ศึกษาผลของชนิดคาราจีแนนที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติของการไหล และคุณสมบัติการอุ้มน้ำของเต้าหู้ โดยศึกษาคาราจีแนนที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ k/i-hybrid carrageenan k/i-mixture carrageenan และ K^{+}-k carrageenan ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.5 และ 2.5 กรัม/กิโลกรัม ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส คุณสมบัติของการไหล โครงสร้างทางจุลภาค และความสามารถในการอุ้มน้ำของเต้าหู้ พบว่าชนิดของคาราจีแนนที่ใช้มีผลต่อคุณสมบัติของการไหลและคุณสมบัติการอุ้มน้ำของเต้าหู้ โดยความแข็ง และความยืดหยุ่นของเต้าหู้ที่ใช้ k/i-hybrid carrageenan มีสูงที่สุด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาราจีแนนมากขึ้นจะทำให้มีความนิ่มมากขึ้น และยืดหยุ่นน้อยลง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเต้าหู้จากความเข้มข้นของคาราจีแนนที่เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้งามีดังนี้

Sato และคณะ (2003) ศึกษาผลของงาชนิดต่างๆที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้งา โดยใช้งาขาว งาขาวคั่ว และงาดำคั่วในการศึกษา พบว่าเต้าหู้งาที่ทำจากงาขาวมีความแข็งน้อยที่สุด และมีรสสัมผัสติดอยู่ในปากมากที่สุด ในขณะที่เต้าหู้งาที่ทำจากงาขาวคั่ว และงาดำคั่วได้รับการยอมรับว่าดีที่สุดเนื่องจากมีการยืดหยุ่นสูง จึงสามารถสรุปได้ว่าชนิดงาที่แตกต่างกันมีผลต่อการเกิดโครงสร้าง และลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้งา เนื่องจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของงาแต่ละชนิด

Sato และคณะ (2007) ศึกษาสภาวะการคั่วของงาต่อผลของคุณสมบัติทางกายภาพของเต้าหู้งา โดยใช้งาขาว 2 พันธุ์ คือ Muki และ Arai และงาดำพันธุ์ Arai ที่อุณหภูมิ 160, 170, 180, 190 และ 200 องศาเซลเซียส และไม่คั่ว เป็นเวลา 15 นาที พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสในการคั่วจะทำให้เกิดรอยแตก และมีอนุภาคในน้ำนมงาขนาดเล็กที่สุด และมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จากการวัดด้วนเครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzer (LDPA) ดังนั้นการทำเต้าหู้งาเมื่อใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสจึงมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด และเต้าหู้งาที่ทำจากงา Muki และ Arai ได้รับการยอมรับมากที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

Yadav และคณะ (2014) ศึกษาแป้งข้าวโพดร่วมกับเต้าหู้งาที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัส และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้แป้งข้าวโพดมาแทนที่แป้ง Kudzu สำหรับการผลิตเต้าหู้งา ใช้วิธีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) และใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) เพื่อหาสูตรที่เหมาะสม โดยใช้น้ำมันงา (1.5-3.5 กรัม/น้ำนมงา 100 มิลลิลิตร) แป้งข้าวโพด (90-110 กรัม/แป้งงากำจัดไขมัน 100 กรัม) และน้ำ (300-350 มิลลิลิตร/แป้งงากำจัดไขมัน 100 กรัม) และมีตัวแปรตาม คือ ความแข็ง ความยืดหยุ่น ความหยุ่นตัว การเคี้ยว และการยอมรับโดยรวม พบว่ามีความแข็งอยู่ระหว่าง 0.85-3.62 นิวตัน ความยืดหยุ่นอยู่ระหว่าง 0.45-1.82 มิลลิเมตร ความหยุ่นตัวอยู่ระหว่าง 0.26-2.48 นิวตัน การเคี้ยวอยู่ระหว่าง 0.16-4.52 นิวตันมิลลิเมตร และการยอมรับโดยรวมอยู่ระหว่าง 5.3-8.5 โดยที่น้ำมัน และน้ำส่งผลกระทบในทางลบแต่ผลของแป้งข้าวโพดเป็นไปในทางที่ดี ซึ่งผลของน้ำมันร่วมกับแป้งข้าวโพดทำให้ความแข็ง และการยอมรับโดยรวมมีผลดีขึ้นแต่ความยืดหยุ่น ความหยุ่นตัว และการเคี้ยวมีค่าน้อยลง จึงได้สูตรที่เหมาะสม คือ ใช้น้ำมันงา 2.2 มิลลิลิตร/น้ำนมงา 100 มิลลิลิตร แป้งข้าวโพด 99.9 กรัม/แป้งงากำจัดไขมัน 100 กรัม และน้ำ 1001.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร/แป้งงากำจัดไขมัน 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.5 ไขมันร้อยละ 10.9 เถ้าร้อยละ 1.1 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 80.53

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้มีดังนี้

ศิริพร (2552) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาว และธัญพืช โดยทำการศึกษาอัตราส่วนของกากงาขาว ลูกเดือย และข้าวโพดที่เหมาะสม โดยใช้แผนการทดลองแบบ Mixture design และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ กากงาขาวร้อยละ 69 ลูกเดือยร้อยละ 31 และไม่ใส่ข้าวโพด เนื่องจากข้าวโพดทำให้ความสามารถในการเกาะกันต่ำลง และมีสภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 3 เป็นเวลา 40 นาที โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 71.44 โปรตีนร้อยละ 15.67 ไขมันร้อยละ 6.49 เส้นใยร้อยละ 0.10 เถ้าร้อยละ 2.07 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 4.23 และพบว่ามีอายุการเก็บรักษา 5 วัน จากการยอมรับด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.70, 5.30, 5.11, 5.58 และ5.39 ตามลำดับ โดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 448 กรัม ค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ 0.76 กรัม และค่าความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.45 และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.3×10^{1} โคโลนี/กรัม

Kim และคณะ (2006) ศึกษาผลของผงเปลือกหอยนางรมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเต้าหู้ โดยใช้ผงเปลือกหอยนางรมเติมลงไปในน้ำนมถั่วเหลืองปริมาณร้อยละ 0, 0.05, 0.1 และ 0.2 พบว่าผลผลิต และความชื้นของเต้าหู้ที่เตรียมด้วยผงเปลือกหอยความเข้มข้น 0.1% มีค่ามากกว่าการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว การเกิดซินเนอริซิส (Syneresis) มีค่าลดลงเมื่อใช้ผงเปลือกหอยร่วมกับแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ในการตกตะกอน การเติมผงเปลือกหอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 และ 0.2 จะทำให้มีความแข็ง และความหยุ่นตัวมากกว่าเมื่อเทียบกับเต้าหู้ที่ใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว ซึ่งการใช้ความเข้มข้นผงเปลือกหอยร้อยละ 0.05 และ 0.2 ในการผลิตเต้าหู้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p> 0.05$) แต่เมื่อเติมผงเปลือกหอยร้อยละ 0.05 พบว่ามีคะแนนสูง เนื่องจากเต้าหู้มีรสสัมผัสในปากที่ดี มีความแน่นปานกลาง และสามารถลดกลิ่นถั่วให้น้อยลง ซึ่งการใช้ความเข้มข้นผงเปลือกหอยร้อยละ 0.05 และ 0.1 ในการผลิตเต้าหู้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p> 0.05$) โดยมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น 2 วัน และทำให้การประเมินทางประสาทสัมผัสได้ผลดีมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี

3.1.1 งาขาว (บริษัท ตั้งยิ่งวัฒนา จำกัด)

3.1.2 งาขาวคั่ว (บริษัท ตั้งยิ่งวัฒนา จำกัด)

3.1.3 ไฮโดรคอลลอยด์ A (Food grade, บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.4 ไฮโดรคอลลอยด์ B (Food grade, ประเทศไทย)

3.1.5 แป้ง (ประเทศไทย)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

3.2.1.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert รุ่น WNB22, ประเทศเยอรมนี)

3.2.1.2 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Pioneer รุ่น PA 4102, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.2.1.3 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS204S, ประเทศเยอรมัน)

3.2.1.4 เครื่องปั่นแห้ง (Bosch รุ่น MCM64060, ประเทศเยอรมนี)

3.2.1.5 เครื่องปั่นเปียก (Extra big sales รุ่น Commercial grinder blender 767, ประเทศไทย)

3.2.1.6 เครื่องซีลมือ (Feng Ping Lai รุ่น PFS-300P, ประเทศจีน)

3.2.1.7 เครื่องบรรจุเต้าหู้หลอด (ประเทศไทย)

3.2.1.8 ถุงบรรจุเต้าหู้หลอด (โพลีโพรพิลีนขนาดบรรจุ 100 กรัม, ประเทศไทย)

3.2.1.9 กระชอนกรองกาก 80 เมซ

3.2.1.10 ชามผสมสแตนเลสขนาดใหญ่

3.2.1.11 ถ้วยอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.12 ถาดอะลูมิเนียม

3.2.1.13 ทัพพี

3.2.1.14 ตะแกรง (Rack)

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และจุลินทรีย์

3.2.2.1 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัส (Stable Micro Systems รุ่น TA-HD plus, ประเทศอังกฤษ)

3.2.2.2 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (Zeiss รุ่น Evo MA 10, ประเทศเยอรมนี)

3.2.2.3 เครื่องวัดสี (Minolta รุ่น CR-400, ประเทศญี่ปุ่น)

3.2.2.4 เครื่องวัด pH (Mettler Toledo รุ่น SevenCompact™ pH/Ion S220, ประเทศเยอรมัน)

3.2.2.5 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น MS204S, ประเทศเยอรมัน)

3.2.2.6 Hot plate

3.2.2.7 ตะแกรงกรอง 400 ไมโครเมตร

3.2.2.8 พาราฟิล์ม

3.2.2.9 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.2.2.10 ตู้ปลอดเชื้อ Laminar flow (Haier รุ่น HR30-IIA2, ประเทศจีน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด

เตรียมงาขาวในการผลิตเต้าหู้งา โดยในการเตรียมน้ำนมงาใช้อัตราส่วนงาต่อน้ำ คือ 1:3 และทำการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด คือ แป้งใช้ปริมาณของสารที่ร้อยละ 8.0 ถึง 15.0 ของน้ำหนักวัตถุดิบ ผสมกับไฮโดรคอลลอยด์ A ปริมาณร้อยละ 0 ถึง 1.0 ของน้ำหนักวัตถุดิบ และไอโอต้า-คาราจีแนน ปริมาณร้อยละ 0 ถึง 0.05 ของน้ำหนักวัตถุดิบ เพื่อพัฒนาเต้าหู้งาแบบหลอดให้เกิดความแตกต่างของเนื้อสัมผัส น้ำหนักที่หายไป และลักษณะทางประสาทสัมผัส ทำการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดตามกระบวนการผลิตเต้าหู้แบบหลอด (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์) โดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ดังตารางที่ 3.1 และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ใช้โปรแกรม Design expert v.11 ในการประมวลผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์

สิ่งทดลองที่	แป้ง (ร้อยละของน้ำหนักวัตถุดิบ)	ไฮโดรคอลลอยด์ A (ร้อยละของน้ำหนักวัตถุดิบ)	ไฮโดรคอลลอยด์ B (ร้อยละของน้ำหนักวัตถุดิบ)
1	15.00	0.00	0.050
2	11.50	0.50	0.000
3	8.00	1.00	0.000
4	11.50	0.50	0.025
5	11.50	0.50	0.025
6	15.00	0.00	0.000
7	8.00	0.00	0.050
8	15.00	0.50	0.025
9	15.00	1.00	0.000
10	8.00	0.50	0.025
11	11.50	0.00	0.025
12	11.50	0.50	0.050
13	11.50	0.50	0.025
14	15.00	1.00	0.050
15	8.00	0.00	0.000
16	11.50	0.50	0.025
17	11.50	1.00	0.025
18	8.00	1.00	0.050
19	11.50	0.50	0.025

สิ่งทดลองทั้ง 19 การทดลองในตารางที่ 3.1 นำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

3.3.1.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด

วิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอดด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-HD plus ใช้วิธีการดัดแปลงจาก ศิริพร (2552) เตรียมตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร ใช้หัววัด P/50 ทำการกด 2 ครั้ง ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) แล้วทำการวัดค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการเกาะติดผิว (Adhesiveness) ค่าความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวกที่ ข.1)

3.3.1.1.2 การศึกษาน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด

ศึกษาน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss) ของเต้าหู้งาแบบหลอดในน้ำร้อน โดยใช้วิธีการดัดแปลงจาก Chang และคณะ (2011) เตรียมตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 มิลลิเมตร และหนา 30 มิลลิเมตร นำมาชั่งน้ำหนักแล้วทำการต้มในน้ำเดือด 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที จึงทำการกรองผ่านตะแกรงขนาด 400 ไมโครเมตร และนำมาคำนวณน้ำหนักเต้าหู้ที่หายไปหลังการต้ม (Cooking loss) ด้วยสูตรดังนี้ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวกที่ ข.2)

$$\text{ร้อยละน้ำหนักที่หายไป} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนต้ม-น้ำหนักหลังต้ม}}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม}} \times 100$$

3.3.1.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม

ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดที่มีความแตกต่างกันทางด้านความแข็ง (Hardness) การเกาะติดผิว (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ร่วมกับการกำหนดน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss) ของเต้าหู้งาแบบหลอดให้มีค่าน้อยที่สุด ทำการจัดกลุ่มลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดตามลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความใกล้เคียงกันของลักษณะแต่ละด้าน โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) และใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) ในการจำแนกกลุ่มข้อมูล ด้วยโปรแกรม R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

version 3.4.3 ได้กลุ่มของเต้าหู้งาที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกันของแต่ละด้าน นำตัวอย่างของแต่ละกลุ่มไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อกำหนดค่าสมการทำนายที่เหมาะสม

การทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้การเตรียมตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดตามสูตรที่ได้ของแต่ละกลุ่ม แล้วนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด ทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับการชิมโดยตัดตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร นำไปต้มในน้ำซุปคนอร์เดือดเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นรอให้อุณหภูมิลดลงจนถึงประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงทำการเสิร์ฟตัวอย่างในน้ำซุปคนอร์ให้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน ใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale โดยทำการประเมินด้านลักษณะปรากฏ ความนุ่ม ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ รสชาติ และความชอบโดยรวม ทำให้ได้สูตรเต้าหู้งาแบบหลอดที่ผู้ทดสอบมีความชอบมากที่สุดเพื่อนำไปกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนายในขั้นต่อไป (รายละเอียดแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงใน ภาคผนวกที่ ง.1)

3.3.1.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ และการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย

ผลการทดลองทางกายภาพจากข้อ 3.3.1.1 ที่ได้จากการทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำมาหาความแปรปรวน และสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต้น (ปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไอโอต้า-คาราจีแนน) กับตัวแปรตาม (คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด และน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด) กำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนายที่ทำให้ตัวแปรตามทางด้านคุณภาพเนื้อสัมผัสมีค่าความแข็ง (Hardness) การเกาะติดผิว (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) เป็นไปตามผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้จากข้อ 3.3.1.2 และกำหนดสมการทำนายให้เต้าหู้งาแบบหลอดมีน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss) น้อยที่สุด จากการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรในสมการทำนายจะได้อัตราส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมสำหรับการทำเต้าหู้งาแบบหลอด

สำหรับผลของการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากข้อ 3.3.1.2 ใช้การวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของเต้าหู้งาแบบหลอดด้วย Duncan's New Multiple range test (DMRT) โดยโปรแกรมทางสถิติ SPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.4 การทดสอบค่าสมการทำนาย

จากผลการทดลองข้อ 3.3.1.3 นำค่าตัวแปรต้น (ปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไอโอต้า-คาราจีแนน) ที่เหมาะสมมาผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.1) และน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.2) ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการทำนาย และค่าที่ได้จากการทดลอง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Design expert v.11

3.3.1.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดระหว่างตัวอย่างที่ได้จากสมการทำนาย และตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 3.3.1.2

ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ได้จากการทำนายเทียบกับตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากข้อ 3.3.1.2 เพื่อทดสอบความชอบของผู้ทดสอบระหว่าง 2 สูตร เตรียมตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดในการทดสอบทางประสาทสัมผัส และทำการทดสอบดังข้อ 3.3.1.2 โดยทำการทดสอบด้านความนุ่ม ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวม ของเต้าหู้งาแบบหลอดจากสมการทำนาย และตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 3.3.1.2 แล้วเลือกสูตรของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากกว่า เพื่อนำไปศึกษาในข้อ 3.3.2 ต่อไป (รายละเอียดแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงใน ภาคผนวกที่ ง.2)

3.3.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด

เตรียมเต้าหู้งาแบบหลอดโดยใช้ชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เลือกจากข้อ 3.3.1.5 มาทำการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด ใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 70 ถึง 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 30 ถึง 60 นาที เพื่อศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ดังตารางที่ 3.2 และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) โดยใช้โปรแกรม Design expert v.11 ในการประมวลผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิต

สิ่งทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
1	80	45
2	80	30
3	70	45
4	80	45
5	70	60
6	80	45
7	70	30
8	90	30
9	90	60
10	80	45
11	80	45
12	90	45
13	80	60

สิ่งทดลองทั้ง 13 การทดลองในตารางที่ 3.2 นำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

3.3.2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

3.3.2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด

รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.1

3.3.2.1.2 การศึกษาน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด

รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.2

3.3.2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ และการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย

ผลการทดลองทางกายภาพข้อ 3.3.2.1 ที่ได้จากการทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำมาหาความแปรปรวน และสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต้น (อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต) กับตัวแปรตาม (คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด และน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด) โดยกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนายให้มีค่าตัวแปรต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยที่สุด และกำหนดตัวแปรตามทางด้านคุณภาพเนื้อสัมผัสมีค่าความแข็ง (Hardness) การเกาะติดผิว (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ให้มีค่าด้านเนื้อสัมผัสตามข้อ 3.3.1.4 รวมถึงน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอดให้มีค่าน้อยที่สุด โดยมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM)

3.3.2.3 การทดสอบค่าสมการทำนาย

จากผลการทดลองข้อ 3.3.2.1 นำค่าตัวแปรต้น (อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต) ที่เหมาะสมมาผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.1) และน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.2) ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการทำนาย และค่าที่ได้จากการทดลอง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Design expert v.11 เพื่อนำอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไปศึกษาในข้อ 3.3.3 ต่อไป

3.3.3 การศึกษาผลของชนิดงาที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด

เตรียมงาขาวในการผลิตเต้าหู้งา 2 ชนิด คือ งาขาว และงาขาวคั่ว โดยใช้ชนิดและอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เลือกจากข้อ 3.3.1 อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่เลือกจากข้อ 3.3.2 มาทำการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

3.3.3.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

3.3.3.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด

รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.1

3.3.3.1.2 การศึกษาน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด

รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.2

3.3.3.1.3 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอด

ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้วิธีการดัดแปลงจาก Lee และ Kuo (2011) ทำการตัดตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างแช่ก๊าซไนโตรเจนเหลว แล้วนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง หลังจากทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเสร็จนำตัวอย่างไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) รุ่น Evo MA 10, Zeiss (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวกที่ ข.3)

3.3.3.1.4 การศึกษาสีของเต้าหู้งาแบบหลอด

ศึกษาสีของเต้าหู้งาแบบหลอดที่มีความแตกต่างกันระหว่างงาขาวและงาขาวคั่ว ทำการเตรียมตัวอย่างโดยตัดตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร นำไปวัดด้วยเครื่องวัดสีเพื่อเปรียบเทียบค่า L* a* b* รุ่น Minolta CR-400, ประเทศญี่ปุ่น (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวกที่ ข.4)

3.3.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของชนิดงาที่มีผลต่อเต้าหู้งาแบบหลอด

ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่ว ทำการเตรียมตัวอย่างโดยตัดตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร นำไปต้มในน้ำซุปคนอร์เดือดเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นรอให้อุณหภูมิลดลงจนถึงประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงทำการเสิร์ฟตัวอย่างในน้ำซุปคนอร์ให้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน ใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความนุ่ม ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ รสชาติ และความชอบโดยรวม (รายละเอียดแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงใน ภาคผนวกที่ ง.3)

3.3.3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

สำหรับผลการวิเคราะห์ทางกายภาพจากข้อ 3.3.3.1 ที่ได้จากการทำการทดลอง 2 ซ้ำ และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้อ 3.3.3.2 ใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ T-Test โดยโปรแกรมทางสถิติ SPSS 21 เพื่อนำชนิดงาที่ได้รับความชอบมากที่สุดจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสไปศึกษาในข้อ 3.3.4 ต่อไป

3.3.4 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด

ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด (ส่งวิเคราะห์ที่ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด) โดยใช้ชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เลือกจากข้อ 3.3.1.5 อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่เลือกจากข้อ 3.3.2.3 และชนิดงาที่เลือกจากข้อ 3.3.3.2 มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการดังนี้

3.3.4.1 พลังงานทั้งหมด-Total energy (Compendium of methods for food analysis Thailand, 1st edition, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 พลังงานจากไขมัน-Energy from fat (Compendium of methods for food analysis Thailand, 1st edition, 2003)

3.3.4.3 ไขมันทั้งหมด-Fat (AOAC, 2016)

3.3.4.4 ไขมันอิ่มตัว-Saturated fat (AOAC, 2016)

3.3.4.5 โคเลสเตอรอล-Cholesterol (Compendium of methods for food analysis Thailand, 1st edition, 2003)

3.3.4.6 โปรตีน-Protein (AOAC, 2016)

3.3.4.7 คาร์โบไฮเดรต-Carbohydrate (Compendium of methods for food analysis Thailand, 1st edition, 2003)

3.3.4.8 ใยอาหาร-Total Dietary Fiber (AOAC, 2016)

3.3.4.9 น้ำตาล-Sugar (Compendium of methods for food analysis Thailand, 1st edition, 2003)

3.3.4.10 โซเดียม-Sodium (AOAC, 2016)

3.3.4.11 วิตามินเอ-Vitamin A (Compendium of methods for food analysis Thailand, 1st edition, 2003)

3.3.4.12 วิตามินบี 1- Vitamin B1 (AOAC, 2016)

3.3.4.13 วิตามินบี 2- Vitamin B2 (J. Agric. Food chemistry, 1984)

3.3.4.14 แคลเซียม-Calcium (AOAC, 2016)

3.3.4.15 เหล็ก-Iron (AOAC, 2016)

3.3.4.16 เถ้า-Ash (AOAC, 2016)

3.3.4.17 ความชื้น-Moisture (AOAC, 2016)

3.3.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้ชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เลือกจากข้อ 3.3.1 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่เลือกจากข้อ 3.3.2 และชนิดงาที่เลือกจากข้อ 3.3.3 มาทำเต้าหู้งาแบบหลอด โดยเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และทำการวิเคราะห์ทุก 2 วัน ทางด้านต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

3.3.5.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด

รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.1

3.3.5.1.2 การศึกษาน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด

รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 3.3.1.1.2

3.3.5.1.3 การศึกษาการเกิดซินเนอริซิส (Syneresis)

ศึกษาการเกิดซินเนอริซิส โดยใช้วิธีการดัดแปลงจาก Lee และ Kuo (2011) ทำการตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม 15 x 15 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น ทำการชั่งน้ำหนัก แล้ววางบนตะแกรงที่สูงจากฐานเล็กน้อยในกล่องพลาสติกซึ่งปิดกล่องด้วยพาราฟิล์ม นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการวัดน้ำหนักน้ำที่ออกจากก้อนเต้าหู้เป็นร้อยละได้ดังนี้ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวกที่ ข.5)

$$\text{ร้อยละน้ำหนักน้ำที่ออกจากก้อนเต้าหู้} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ออก}}{\text{น้ำหนักเต้าหู้}} \times 100$$

3.3.5.2 การวิเคราะห์ทางเคมีของเต้าหู้งาแบบหลอด

3.3.5.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH

ศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH โดยนำเต้าหู้งาแบบหลอดจำนวน 200 กรัม มาปั่นผสมให้เป็นของเหลวโดยไม่ผสมน้ำ และทำการวัดด้วยเครื่องวัด pH

3.3.5.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ โดยทำการตรวจนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และตรวจนับจำนวนยีสต์ และราทั้งหมด (Yeast and Mold plate count) ที่มีชีวิตในผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอดด้วยเทคนิคการ Pour plate ใช้วิธีการ FDA-BAM (2001) (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวก ค)

3.3.5.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

สำหรับผลการวิเคราะห์ทางกายภาพจากข้อ 3.3.5.1 การวิเคราะห์ทางเคมีจากข้อ 3.3.5.2 และการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์จากข้อ 3.3.5.3 ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของเต้าหู้งาแบบหลอดด้วย Duncan's New Multiple range test (DMRT) โดยโปรแกรมทางสถิติ SPSS 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลของการศึกษา และการกำหนดชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสม และมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด

จากการศึกษาการพัฒนาเต้าหู้งาแบบหลอดให้เกิดความแตกต่างของเนื้อสัมผัสที่มีน้ำหนักที่หายไปน้อยสุด และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้งาขาว และสารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด คือ แป้งร้อยละ 8 ถึง 15 ไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0 ถึง 1 และไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 ถึง 0.05 ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) กำหนดให้ X_1 คือ ปริมาณแป้ง X_2 คือ ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และ X_3 คือ ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ซึ่งมีผลตอบสนอง (Response) ที่ทำการตรวจสอบ คือ ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการเกาะติดผิว (Adhesiveness) ค่าความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่อชนิดสารไฮโดรคอลลอยด์

Source	df	p-value				
		ความแข็ง (กรัม)	การเกาะติดผิว (กรัม.วินาที)	ความสามารถในการเกาะกัน	ความยืดหยุ่น (ร้อยละ)	น้ำหนักที่หายไป (ร้อยละ)
Model	9	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	0.0042**
A-แป้ง	1	< 0.0001****	0.0142*	0.0002***	< 0.0001****	0.0219*
B-ไฮโดรคอลลอยด์ A	1	0.2098 ns	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	0.0033**
C-ไฮโดรคอลลอยด์ B	1	0.1699 ns	0.0103*	0.0005***	0.0101*	0.1095 ns
AB	1	0.1727 ns	0.9229 ns	0.0717 ns	0.2636 ns	0.5517 ns
AC	1	0.8321 ns	0.0004***	< 0.0001****	0.0570 ns	0.3786 ns
BC	1	0.6424 ns	0.0696 ns	0.4730 ns	0.0137**	0.1606 ns
A^2	1	0.0337*	0.3267 ns	0.0374*	0.0017**	0.2728 ns
B^2	1	0.5934 ns	< 0.0001****	< 0.0001****	0.0002***	0.0078**
C^2	1	0.6752 ns	0.6136 ns	0.0307*	0.5015 ns	0.8791 ns
Lack of fit	5	0.0009***	0.1415 ns	0.0818 ns	0.0870 ns	0.0006***

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.01$

*** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.001$

**** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.0001$

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ $p\geq0.05$

4.1.1 ผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

ผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) ผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่อชนิดสารไฮโดรคอลลอยด์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางกายภาพกับชนิดสารไฮโดรคอลลอยด์ (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) แผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติของปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไป (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกันเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปลดลง ส่วนปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง โดยปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ที่เพิ่มมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อค่าความแข็ง และเมื่อปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ที่เพิ่มมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อค่าความแข็ง และค่าน้ำหนักที่หายไป (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่อชนิดสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าปริมาณแป้งมีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไป ส่วนปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A มีผลต่อค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไป แต่ไม่มีผลต่อค่าความแข็ง และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B มีผลต่อค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นแต่ไม่มีผลต่อค่าความแข็ง และค่าน้ำหนักที่หายไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่แตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 95 ถึงร้อยละ 99.99 โดยค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่า Lack of fit ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่ค่าความแข็ง และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่า Lack of fit ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งอาจทำให้ค่าที่ได้จากสมการมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

จากผลสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางกายภาพกับชนิดสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าสมการทำนายของค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปเป็นสมการกำลังสอง (Quadratic model) โดยนำมาใช้เพื่อทำนายความสัมพันธ์ของปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ที่มีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไป ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (Coefficient, R^2) อยู่ที่ 0.87-0.97 แสดงถึงความเป็นไปได้สูงที่จะนำสมการที่ได้มาใช้เพื่อทำนายความสัมพันธ์ จึงนำสมการทำนายนี้ไปหาสภาวะที่เหมาะสม (optimization) ต่อไป (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ต่อค่าความแข็ง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4.1 ที่พบว่าปริมาณแป้งมีผลต่อค่าความแข็งมากโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.99 เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งจึงสามารถเกิดเจลที่แข็งแรงมากขึ้น โดยเม็ดแป้งจะพองตัวมากขึ้น และแตกออก ซึ่งจะได้เป็นสารละลายที่มีความข้นหนืดประกอบไปด้วยส่วนที่ละลายได้ของอะไมโลส และอะไมโลเพกทิน โดยอะไมโลสจะจับกันกับโมเลกุลข้างเคียงด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ เมื่อสารละลายเย็นลงจะมีลักษณะเป็นเจล ซึ่งมีความสอดคล้องกับ Yadav และคณะ (2014) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดในการทำเต้าหู้งามากขึ้น ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับ Li และคณะ (2014) ที่พบว่าเมื่อใช้คาราจีแนนในการผลิตเต้าหู้ร่วมกับสารตกตะกอนแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) มีผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่าความแข็ง (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ต่อค่าการเกาะติดผิว พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ส่งผลให้มีค่าการเกาะติดผิวมากขึ้น เนื่องจากเป็นสารที่มีความสามารถในการเกิดเจล และสามารถเพิ่มความข้นหนืดได้ ดังนั้นเมื่อทำการวัดเนื้อสัมผัสจึงเกิดค่าการเกาะติดผิวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4.1 ที่พบว่าปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A มีผลต่อค่าการเกาะติดผิวมากโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.99 ส่วนปริมาณแป้ง และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B มีผลต่อค่าการเกาะติดผิวเล็กน้อยโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ต่อค่าความสามารถในการเกาะกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ส่งผลให้ค่าความสามารถในการเกาะกันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์แล้วจะทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4.1 ที่พบว่าปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A มีผลต่อค่าความสามารถในการเกาะกันมากโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.99 ส่วนปริมาณแป้ง และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B มีผลต่อค่าความสามารถในการเกาะกันค่อนข้างมากโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.9 และจากการศึกษาของ Li และคณะ (2014) พบว่าเมื่อใช้คาราจีแนนในการผลิตเต้าหู้ร่วมกับสารตกตะกอนแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) มีผลให้ค่าความสามารถในการเกาะกันมีค่าเพิ่มขึ้น (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแสดงแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ต่อค่าความยืดหยุ่น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นลดลง เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งจึงสามารถเกิดเจลที่แข็งแรงมากขึ้น โดยอะไมโลสจะจับกันกับโมเลกุลข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติได้มากขึ้น จึงทำให้มีความยืดหยุ่นลดน้อยลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์ A เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นเมื่อเติมโพแทสเซียมไอออน ซึ่งในงามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ประมาณ 340 มิลลิกรัมต่องา 100 กรัม (Makinde และ Akinoso, 2014) ทำให้เมื่อไฮโดรคอลลอยด์ A จับกับโพแทสเซียมจึงเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นมาก และเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นเมื่อเติมแคลเซียมไอออน (นิธิยา, 2551) โดยในเต้าหู้งาแบบหลอดมีปริมาณแคลเซียมอยู่ในปริมาณน้อย (ตารางที่ 4.12) และมีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ B ในปริมาณน้อยจึงส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4.1 ที่พบว่าปริมาณแป้ง และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A มีผลต่อค่าความยืดหยุ่นมากโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.99 ส่วนปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B มีผลต่อค่าความยืดหยุ่นน้อย โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.9 (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ต่อค่าน้ำหนักที่หายไป พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่หายไปลดลง เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ทนความร้อนได้ โดยแป้งมีความคงตัวเมื่อโดนความร้อนได้ดีกว่าแป้งมันธรรมดา ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งจึงสามารถเกิดเจลที่แข็งแรงมากขึ้น และมีน้ำหนักที่หายไปลดลง แต่ไฮโดรคอลลอยด์ A เป็นเจลที่ไม่ทนความร้อนแต่เมื่ออุณหภูมิลดลงจะสามารถคืนกลับได้ แต่เนื่องจากมีแป้งเป็นโครงสร้างหลักในการเกิดเจล ดังนั้นเมื่อไฮโดรคอลลอยด์ A เกิดการละลายจึงสามารถคืนตัวกลับเป็นเจลได้โดยที่เต้าหู้งาแบบหลอดไม่เกิดการเสียสภาพ แต่ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ไม่ส่งผลต่อค่าน้ำหนักที่หายไป เนื่องจากมีการใช้ในปริมาณน้อยจากข้อจำกัดของเครื่องบรรจุเต้าหู้หลอด และมีประสิทธิภาพในการเกิดเจลน้อย เนื่องจากต้องการแคลเซียมในการเกิดเจลซึ่งในเต้าหู้งาแบบหลอดมีปริมาณแคลเซียมอยู่ในปริมาณน้อย (ตารางที่ 4.12) (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

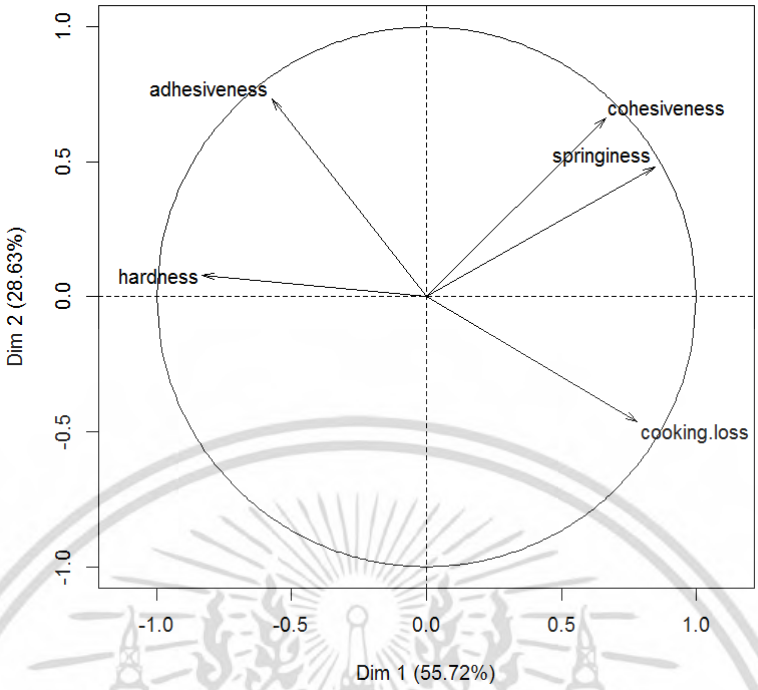
4.1.2 ผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม

จากการคัดเลือกสูตรที่มีความแตกต่างทางด้านความแข็ง (Hardness) การเกาะติดผิว (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ร่วมกับน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss) ของเต้าหู้งาแบบหลอดให้มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) และใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) โดยทำการจัดกลุ่มตามลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความใกล้เคียงกันของลักษณะแต่ละด้าน เพื่อให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดตามกลุ่มที่จัด

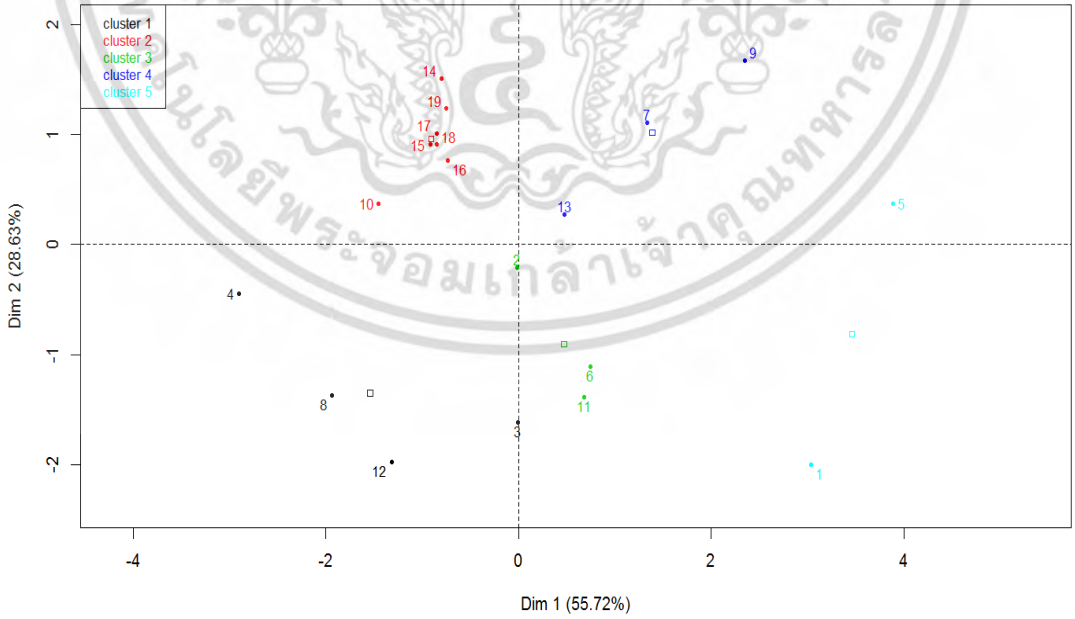
4.1.2.1 ผลการจัดกลุ่มลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความใกล้เคียงกันของลักษณะแต่ละด้าน

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 แผนภาพตำแหน่งของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) ดังแสดงในภาพที่ 4.2 และกราฟแสดงการแบ่งกลุ่มของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) แสดงในภาพที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA)

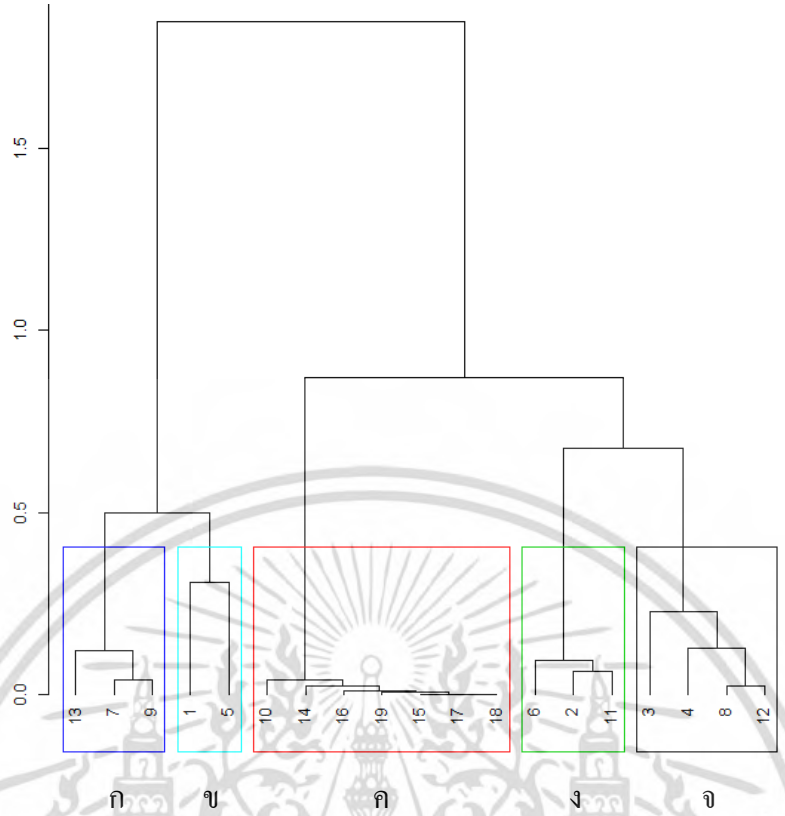


ภาพที่ 4.2 แผนภาพตำแหน่งของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.1 แสดงแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มตามความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสได้เป็น 3 กลุ่ม คือ 1. ความแข็ง 2. การเกาะติดผิว และ 3. ความสามารถในการเกาะกัน และความยืดหยุ่น เนื่องจากผลของความสามารถในการเกาะกัน และความยืดหยุ่นอยู่ในบริเวณที่ใกล้กันมากจึงทำให้ค่าที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยนำไปวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์กลุ่มของการทดลองด้วยเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) จากภาพที่ 4.2 แสดงแผนภาพตำแหน่งของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) พบว่าการวิเคราะห์กลุ่มของการทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม ซึ่งมีลักษณะเด่นทางด้านเนื้อสัมผัสตามความใกล้ของเส้นแสดงผลของลักษณะเนื้อสัมผัส (ภาพที่ 4.1) คือ สีม่วงมีค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูง สีฟ้ามีค่าความแข็งต่ำและมีค่าความยืดหยุ่นสูง สีแดงมีค่าความแข็ง และค่าการเกาะติดผิวสูง สีเขียวมีค่าการเกาะติดผิวต่ำและสีดำมีค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นต่ำ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มได้ดังแสดงในภาพที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการแบ่งกลุ่มของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis)

กลุ่ม ก คือ สีม่วง (13, 7 และ 9) เป็นตัวแทนของค่าความแข็งต่ำ ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูง

กลุ่ม ข คือ สีฟ้า (1 และ 5) เป็นตัวแทนของค่าความแข็งต่ำ และมีค่าความยืดหยุ่นสูง (ไม่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส)

กลุ่ม ค คือ สีแดง (10, 14, 16, 19, 15, 17 และ 18) เป็นตัวแทนของค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูง

กลุ่ม ง คือ สีเขียว (6, 2 และ 11) เป็นตัวแทนของค่าความแข็งสูง ค่าการเกาะติดผิวต่ำ ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูง

กลุ่ม จ คือ สีดำ (3, 4, 8 และ 12) เป็นตัวแทนของค่าความแข็ง และค่าการเกาะติดผิวสูง ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นต่ำ

จากภาพที่ 4.3 แสดงกราฟแสดงการแบ่งกลุ่มของการทดลองจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) พบว่าสามารถแบ่งได้เป็นจำนวน 5 กลุ่ม โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างที่มีลักษณะเด่นในแต่ละกลุ่มร่วมกับค่าน้ำหนักที่หายไป จึงเลือกการทดลองที่ 9 จากกลุ่ม ก ซึ่งมีค่าความแข็งต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด และมีค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุดในกลุ่ม โดยมีค่าความแข็ง 773.00 กรัม ค่าการเกาะติดผิว 543.08 กรัม.วินาที ค่าความสามารถในการเกาะกัน 0.49 ค่าความยืดหยุ่นร้อยละ 82.93 และค่าน้ำหนักที่หายไปร้อยละ 3.08 แต่เนื่องจากกลุ่ม ข มีค่าความแข็งต่ำมาก มีความคล้ายคลึงกับกลุ่ม ก มาก และมีค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปมากซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปปรุงอาหาร จึงไม่เลือกกลุ่ม ข มาทดสอบทางประสาทสัมผัส เลือกการทดลองที่ 14 จากกลุ่ม ค ซึ่งมีค่าความแข็งสูงที่สุด ค่าการเกาะติดผิวสูง ค่าความสามารถในการเกาะกันสูงที่สุด ค่าความยืดหยุ่นสูง และมีค่าน้ำหนักที่หายไปน้อยที่สุดในกลุ่ม โดยมีค่าความแข็ง 1820.95 กรัม ค่าการเกาะติดผิว 590.37 กรัม.วินาที ค่าความสามารถในการเกาะกัน 0.46 ค่าความยืดหยุ่นร้อยละ 59.64 และค่าน้ำหนักที่หายไปร้อยละ 0.91 เลือกการทดลองที่ 2 จากกลุ่ม ง ซึ่งมีค่าความแข็งสูง ค่าการเกาะติดผิวต่ำ ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุดในกลุ่ม โดยมีค่าความแข็ง 1906.46 กรัม ค่าการเกาะติดผิว 378.62 กรัม.วินาที ค่าความสามารถในการเกาะกัน 0.44 ค่าความยืดหยุ่นร้อยละ 57.28 และค่าน้ำหนักที่หายไปร้อยละ 2.31 และเลือกการทดลองที่ 4 จากกลุ่ม จ ซึ่งมีค่าความแข็ง และค่าการเกาะติดผิวสูงที่สุดในกลุ่ม ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นน้อยที่สุดในกลุ่ม โดยมีค่าความแข็ง 1918.04 กรัม ค่าการเกาะติดผิว 639.31 กรัม.วินาที ค่าความสามารถในการเกาะกัน 0.35 ค่าความยืดหยุ่นร้อยละ 31.47 และค่าน้ำหนักที่หายไปร้อยละ 1.39 ทำให้มีกลุ่มที่คัดเลือกนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 4 กลุ่ม คือ สูตรที่ 2, 4, 9 และ 14 แล้วนำการทดลองที่คัดเลือกไปผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดตามสูตรในตารางผลของชนิดและอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) และนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

4.1.2.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดจากการคัดเลือกจากผลการจัดกลุ่มข้อ 4.1.2.1

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดโดยการคัดเลือกจากการจัดกลุ่มจำนวน 4 สูตร ซึ่งใช้ปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่แตกต่างกันมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม (N = 40)

สูตรเต้าหู้งาแบบหลอด	ลักษณะปรากฏ	ความนุ่ม^{ns}	ความยืดหยุ่น	ความแน่นเนื้อ^{ns}	รสชาติ^{ns}	ความชอบโดยรวม
2	6.05±1.69^{ab}	5.48±1.66	4.93±1.64^{b}	5.63±1.79	4.10±2.04	4.70±1.92^{b}
4	6.23±1.70^{a}	5.50±1.66	5.08±1.61^{b}	5.25±1.90	4.53±1.81	4.98±1.86^{ab}
9	5.48±1.71^{b}	5.68±2.35	5.45±2.02^{ab}	5.35±2.15	4.43±2.19	4.95±2.15^{ab}
14	6.03±1.59^{ab}	6.13±1.56	5.73±1.43^{a}	5.68±1.86	4.63±2.00	5.35±1.85^{a}

หมายเหตุ: $^{a,b,c,\cdots}$ อักษรกำกับเหนือตัวเลขในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม พบว่าความชอบของเต้าหู้งาแบบหลอดด้านความนุ่ม ความแน่นเนื้อ และรสชาติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ด้านลักษณะปรากฏ ความยืดหยุ่น และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการทดลองที่ 4, 2 และ 14 มีความชอบด้านลักษณะปรากฏมากที่สุดตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณแป้ง และค่าความแข็งมาก (ตารางผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) จึงสามารถคงรูปร่างได้ดีเมื่อผ่านความร้อน การทดลองที่ 14 และ 9 มีความชอบด้านความยืดหยุ่นมากที่สุดตามลำดับ เนื่องจากมีค่าความยืดหยุ่นค่อนข้างสูง (ตารางผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) และการทดลองที่ 14, 4 และ 9 มีความชอบด้านความชอบโดยรวมมากที่สุดตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าการทดลองที่ 14 ที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 11.50 ไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.5 และไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0.05 มีความชอบมากที่สุด ดังนั้นจึงนำผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทั้งหมดไปกำหนดเงื่อนไขตัวแปรในการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดในข้อ 4.1.3 ต่อไป และผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติน้อย และมีข้อเสนอแนะให้มีการปรับปรุงรสชาติของเต้าหู้งาแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดที่ทำจากงาขาว ดังนั้นจึงทำการพัฒนารสชาติของเต้าหู้งาโดยศึกษาชนิดงาที่เหมาะสมในข้อ 4.3 ต่อไป

4.1.3 ผลการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม (ตารางที่ 4.2) นำผลสูตรการทดลองที่มีความชอบมากที่สุด ซึ่งมีปริมาณแป้งร้อยละ 11.50 ไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.5 และไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0.05 มากำหนดเงื่อนไขตัวแปรที่เหมาะสมของชนิดและอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

ค่าการตอบสนอง	เงื่อนไขที่เหมาะสม				
	เป้าหมาย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	น้ำหนัก	ค่าทำนาย
แป้ง	in range	8	15	3	**15**
ไฮโดรคอลลอยด์ A	in range	0	1	3	**0.29**
ไฮโดรคอลลอยด์ B	in range	0	0.05	3	**0.00**
ความแข็ง	in range	545.07	1944.24	3	1863.97
การเกาะติดผิว	in range	187.01	639.31	3	575.07
ความสามารถในการเกาะกัน	maximize	0.32	0.52	3	0.46
ความยืดหยุ่น	maximize	31.47	82.92	3	60.04
น้ำหนักที่หายไป	in range	0.91	1.00	3	1.00

จากตารางที่ 4.3 ผลการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยการทดลองนี้กำหนดค่าคุณลักษณะของตัวแปรต้น คือ ปริมาณแป้ง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ปริมาณไฮโดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลลอยด์ B อยู่ในช่วงที่กำหนด (ร้อยละ 8-15 ร้อยละ 0-1 และร้อยละ 0-0.05 ตามลำดับ) และกำหนดค่าคุณลักษณะของตัวแปรตาม คือค่าความแข็ง และค่าการเกาะติดผิวอยู่ในช่วงที่กำหนดซึ่งเป็นค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด (545.07-1944.24 กรัม และ 187.01-639.31 กรัม.วินาที ตามลำดับ) ตามผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งที่วิเคราะห์เนื้อสัมผัสจำนวน 19 การทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสดังตารางผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) เนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากตารางที่ 4.2 พบว่าความชอบด้านความนุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อนำเต้าหู้งาไปต้มจะทำให้ผิวสัมผัสด้านนอกของเต้าหู้งาลื่น โดยจากการทดลองหลังต้มผู้วิจัยพบว่ามีลักษณะการเกาะติดผิวใกล้เคียงกัน กำหนดค่าความสามารถในการเกาะกันและค่าความยืดหยุ่นเท่ากับค่าสูงสุด เนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากตารางที่ 4.2 พบว่าความชอบด้านความยืดหยุ่นมีค่าสูงเมื่อมีค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูง และกำหนดค่าน้ำหนักที่หายไปอยู่ในช่วงที่กำหนด (ร้อยละ 0.91-1) เนื่องจากต้องการให้มีน้ำหนักที่หายไปต่ำ ทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมของชนิดและอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด คือ ปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 โดยให้ค่าความแข็งเท่ากับ 1863.97 กรัม ค่าการเกาะติดผิวเท่ากับ 575.07 กรัม.วินาที ค่าความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.46 ค่าความยืดหยุ่นเท่ากับร้อยละ 60.04 และค่าน้ำหนักที่หายไปเท่ากับร้อยละ 1.00 จากนั้นทำการทดลองอีกครั้งเพื่อทดสอบค่าทำนายในการทดลองต่อไป

4.1.4 ผลการทดสอบค่าสมการทำนายของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

จากผลการทำนายสภาวะที่เหมาะสม (ตารางที่ 4.3) โดยใช้ค่าจากการทำนายชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด คือ ปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 มาทำการทดลองทำเต้าหู้เพื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างค่าที่ได้จากทำนายและค่าจริงสำหรับการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้โปรแกรม Design expert v.11 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลค่าทำนาย และค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์

ค่าทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด	ค่าทำนาย	ค่าจริง	ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95	
			ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ความแข็ง	1863.97	1915.46	1414.10	2313.84
การเกาะติดผิว	575.07	571.96	474.09	676.06
ความสามารถในการเกาะกัน	0.46	0.47	0.42	0.50
ความยืดหยุ่น	60.04	60.99	50.58	69.51
น้ำหนักที่หายไป	1.00	1.13	-1.32	3.32

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลค่าทำนาย และค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าค่าทางกายภาพทุกค่าของเต้าหู้งาแบบหลอดอยู่ในช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นผลของค่าทำนาย และค่าจริงจึงไม่มีผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงนำสูตรที่ได้ คือ ปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 ไปทำการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสข้อ 4.1.5 ต่อไป

4.1.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างตัวอย่างที่ได้จากสมการทำนาย และตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 4.1.2.2

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม (ตารางที่ 4.2) สูตรจากการทดลองที่ 14 มีความชอบสูงสุด ซึ่งมีปริมาณแป้งร้อยละ 11.50 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.50 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0.050 และสูตรที่ได้จากการทำนายชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ (ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ระหว่างตัวอย่างที่ได้จากสมการทำนาย และตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 4.1.2.2 (N = 40)

สูตรเต้าหู้งาแบบหลอด	ความนุ่ม^{ns}	ความยืดหยุ่น	ความแน่นเนื้อ	ความชอบโดยรวม
การทดลอง 14	6.38±1.76	6.00±1.69^{b}	5.98±1.62^{b}	5.78±1.56^{b}
การทำนาย	6.53±1.78	6.40±1.82^{a}	6.55±1.78^{a}	6.20±1.96^{a}

หมายเหตุ: $^{a,b,c,....}$ อักษรกำกับเหนือตัวเลขในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ระหว่างตัวอย่างที่ได้จากสมการทำนาย และตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 4.1.2.2 พบว่าสูตรจากการทำนายที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 มีความชอบทางประสาทสัมผัสมากกว่าสูตรการทดลองที่ 14 ที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 11.50 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.50 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0.050 ในด้านความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวม เนื่องจากมีค่าความสามารถในการเกาะกันและความยืดหยุ่นมากกว่า (ตารางผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์ และตารางที่ 4.4) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้านความนุ่ม เนื่องจากมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน (ตารางผลของชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์ และตารางที่ 4.4) ดังนั้นจึงนำสูตรจากการทำนาย คือ ปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 ไปใช้ในข้อที่ 4.2 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการศึกษา และการกำหนดอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตที่เหมาะสม และมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด

จากการศึกษาชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด ซึ่งได้สูตรที่เหมาะสม คือ ใช้ปริมาณแป้งร้อยละ 15 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) กำหนดให้ X_1 คือ อุณหภูมิ และ X_2 คือ เวลา ซึ่งมีผลตอบสนอง (Response) ที่ทำการตรวจสอบ คือ ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการเกาะติดผิว (Adhesiveness) ค่าความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่ออุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

Source	df	p-value				
		ความแข็ง (กรัม)	การเกาะติดผิว (กรัม.วินาที)	ความสามารถในการเกาะกัน	ความยืดหยุ่น (ร้อยละ)	น้ำหนักที่หายไป (ร้อยละ)
Model	9	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	0.0005***
A-อุณหภูมิ	1	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	0.0011**
B-เวลา	1	0.0150*	0.0091**	0.0065**	0.1017 ^{ns}	0.0197*
AB	1	0.1816 ^{ns}	0.0009***	0.0011**	0.0318*	0.2803 ^{ns}
A^2	1	0.0001***	< 0.0001****	< 0.0001****	< 0.0001****	0.0001***
B^2	1	0.0789 ^{ns}	0.0315*	0.0143*	0.2158 ^{ns}	0.6580 ^{ns}
Lack of fit	5	0.3725 ^{ns}	0.1017 ^{ns}	0.0862 ^{ns}	0.0812 ^{ns}	0.2162 ^{ns}

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.01$

*** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.001$

**** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.0001$

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ $p\geq0.05$

4.2.1 ผลของอุณหภูมิ และเวลาที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

ผลของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) ผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่ออุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดดังแสดงในตารางที่ 4.6 ผลสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางกายภาพกับอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์) แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไป (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากผลของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าการเกาะติดผิวมีค่าลดลง ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่าลดลง และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแต่ส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลงเล็กน้อย (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลความแปรปรวนของค่าคุณภาพทางกายภาพต่ออุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดมีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไป ส่วนเวลาที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดมีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าน้ำหนักที่หายไปแต่ไม่มีผลต่อค่าความยืดหยุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่า Lack of fit ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งแสดงว่าสามารถนำสมการมาใช้เพื่อทำนายความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดที่มีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปได้แม่นยำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางกายภาพกับอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าสมการทำนายของค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปเป็นสมการกำลังสอง (Quadratic model) โดยนำมาใช้เพื่อทำนายความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอดที่มีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไป ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (Coefficient, R^2) อยู่ที่ 0.94-0.99 แสดงว่าสมการทำนายสามารถใช้อธิบายผลได้มาก จึงนำสมการทำนายนี้ไปหาสภาวะที่เหมาะสม (optimization) ต่อไป (ไม่แสดงตารางในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าความแข็ง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของแป้งจะค่อยๆพองตัวออกอย่างช้าๆที่อุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส และจะพองตัวเต็มที่เมื่ออุณหภูมิ 80-95 องศาเซลเซียส และคาราจีแนนจะละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายที่มีโครงสร้างเป็น Random coil เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิดเป็นตาข่ายโพลิเมอร์ 3 มิติ (นิธิยา, 2551) ทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้นจึงเกิดเจลที่แข็งแรงได้ดียิ่งขึ้น และเมื่อเพิ่มเวลาจะไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งเนื่องจากแป้งสามารถเริ่มเกิดเป็นเจลได้เมื่อเวลาผ่านไป 25 นาที (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าการเกาะติดผิว พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิวลดลง เนื่องจากอนุภาคของแป้งจะค่อยๆพองตัวออกอย่างช้าๆที่อุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส และจะพองตัวเต็มที่เมื่ออุณหภูมิ 80-95 องศาเซลเซียส ทำให้สารละลายข้นหนืดเกิดเป็นเจลได้มากขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิลง จึงทำให้มีความหนืดเกาะติดผิวลดลง และเมื่อเพิ่มเวลาจะส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิวลดลงเล็กน้อย อาจเกิดจากอะไมโลสสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลข้างเคียงได้มากขึ้น และคาราจีแนนอาจเกิดการละลาย และเกิดเป็นเจลได้สมบูรณ์มากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป จึงทำให้มีการเกาะติดผิวน้อยลง (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าความสามารถในการเกาะกัน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ค่าความสามารถในการเกาะกันลดลงจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น และเวลาจะส่งผลให้ค่าความสามารถในการเกาะกันลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการลดอุณหภูมิหลังกระบวนการให้ความร้อน เนื่องจากหากให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะต้องใช้เวลาในการลดอุณหภูมิมากขึ้น ซึ่งการเกิดรีโทรกราเดชั่นของอะไมโลสอาจเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการลดอุณหภูมิเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง และทำการเก็บรักษาไว้ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลามากขึ้นอาจมีการเกิด Junction zone ที่แตกต่างกันขึ้น (นิธิยา, 2551) (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ ของอุณหภูมิ และเวลาต่อค่าความยืดหยุ่น พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นลดลงจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น และเวลาจะส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการลดอุณหภูมิหลังกระบวนการให้ความร้อน เนื่องจากหากให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะต้องใช้เวลาในการลดอุณหภูมิมากขึ้น ซึ่งการเกิดรีโทรกราเดชั่นของอะไมโลสอาจเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการลดอุณหภูมิเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง และทำการเก็บรักษาไว้ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลามากขึ้นอาจมีการเกิด Junction zone ที่แตกต่างกันขึ้น (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

จากแผนภาพคอนทัวร์พล็อต และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าน้ำหนักที่หายไป พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมจากนั้นจะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น และเวลาจะส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่หายไปลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการเกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรงขึ้น และ Junction zone ที่แตกต่างกัน (ไม่แสดงภาพในเล่มวิทยานิพนธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดระหว่างตัวอย่างที่ได้จากสมการทำนาย และตัวอย่างที่เลือกจากข้อ 4.1.2.2 สูตรที่ได้จากการทำนายได้รับความชอบมากที่สุด (ตารางที่ 4.5) จึงนำสูตรจากการทำนาย ที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 15 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 มากำหนดเงื่อนไขตัวแปรที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยต้องการให้มีค่าตัวแปรต้น คือ อุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด โดยที่ตัวแปรตามทางด้านคุณภาพเนื้อสัมผัสมีค่าความแข็ง (Hardness) การเกาะติดผิว (Adhesiveness) ความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) รวมถึงน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss) ให้มีค่าน้อยที่สุดตามข้อ 4.1.4 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรของสมการทำนาย และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

ค่าการตอบสนอง	เงื่อนไขที่เหมาะสม				
	เป้าหมาย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	น้ำหนัก	ค่าทำนาย
อุณหภูมิ	minimize	70	90	3	**89.73**
เวลา	minimize	30	60	3	**51.80**
ความแข็ง	target = 1915.46	1178.16	1925.50	3	1915.46
การเกาะติดผิว	target = 571.96	459.92	1137.56	3	518.56
ความสามารถในการเกาะกัน	target = 0.47	0.39	0.58	3	0.42
ความยืดหยุ่น	target = 60.99	44.64	87.47	3	57.23
น้ำหนักที่หายไป	minimize	0.87	1.00	3	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยการทดลองนี้กำหนดค่าคุณลักษณะของตัวแปรต้น คือ อุณหภูมิ และเวลาเท่ากับค่าต่ำสุด และกำหนดค่าคุณลักษณะของตัวแปรตาม คือค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปให้มีค่าน้อยที่สุด โดยกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงจากตารางที่ 4.4 (1915.46 กรัม 571.96 กรัม.วินาที 0.47 ร้อยละ 60.99 และไม่เกินร้อยละ 1 ตามลำดับ) เนื่องจากต้องการให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากการทำนายซึ่งได้รับความชอบจากผู้ทดสอบมากที่สุดจากตารางที่ 4.5 และมีค่าน้ำหนักที่หายไปน้อยที่สุด ทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 52 นาที โดยให้ค่าความแข็งเท่ากับ 1915.46 กรัม ค่าการเกาะติดผิวเท่ากับ 518.56 กรัม.วินาที ค่าความสามารถในการเกาะกันเท่ากับ 0.42 ค่าความยืดหยุ่นเท่ากับร้อยละ 57.23 และค่าน้ำหนักที่หายไปเท่ากับร้อยละ 0.87 จากนั้นทำการทดลองอีกครั้งเพื่อทดสอบค่าทำนายในการทดลองต่อไป

4.2.3 ผลการทดสอบค่าสมการทำนายของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

จากผลการทำนายสภาวะที่เหมาะสม (ตารางที่ 4.7) โดยใช้ค่าจากการทำนายอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 52 นาที มาทำการทดลองทำเต้าหู้เพื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างค่าที่ได้จากทำนาย และค่าจริงสำหรับการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้โปรแกรม Design expert v.11 ดังแสดงในตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลค่าทำนาย และค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด

ค่าทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด	ค่าทำนาย	ค่าจริง	ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95	
			ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ความแข็ง	1915.46	1905.78	1819.92	2011.01
การเกาะติดผิว	518.56	544.96	473.84	563.28
ความสามารถในการเกาะกัน	0.42	0.43	0.41	0.44
ความยืดหยุ่น	57.23	52.35	50.78	63.69
น้ำหนักที่หายไป	0.87	1.09	-2.46	4.20

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลค่าทำนาย และค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าค่าทางกายทุกค่าของเต้าหู้งาแบบหลอดอยู่ในช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นผลของค่าทำนาย และค่าจริงจึงไม่มีผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงนำสูตรที่ได้ คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 52 นาที ไปใช้ในข้อที่ 4.3 ต่อไป

4.3 ผลการศึกษาชนิดงาที่มีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอดทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของงาขาว (ตารางที่ 4.2) ซึ่งมีคะแนนความชอบด้านรสชาติน้อย และมีข้อเสนอแนะให้พัฒนาด้านรสชาติของเต้าหู้งาที่ทำจากงาขาวจำนวนมาก จึงทำการพัฒนาเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้งาที่แตกต่างกันจำนวน 2 ชนิด คือ งาขาว และงาขาวคั่ว โดยใช้ชนิดและอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เลือกจากข้อ 4.1.5 อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่เลือกจากข้อ 4.2.3 มาทำการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด แล้วนำมาศึกษาทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส น้ำหนักที่หายไป สี โครงสร้างทางจุลภาค และทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

ผลของชนิดงาที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอดดังแสดงในตารางที่ 4.9 ผลของชนิดงาที่มีต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดงเขียว (a*) และค่าสีเหลืองน้ำเงิน (b*) ของเต้าหู้งาแบบหลอดดังแสดงในตารางที่ 4.10 และโครงสร้างทางจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอดที่กำลังขยาย 1000x ดังแสดงในภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.9 ผลของชนิดงาที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของเต้าหู้งาแบบหลอด

ชนิดงา	ความแข็ง (กรัม)^{ns}	การเกาะติดผิว (กรัม.วินาที)^{ns}	ความสามารถในการเกาะกัน	ความยืดหยุ่น (ร้อยละ)	น้ำหนักที่หายไป (ร้อยละ)
งาขาว	1887.48±95.92	524.67±46.13	0.44±0.01^{b}	54.45±2.48^{b}	1.16±0.17^{b}
งาขาวคั่ว	1946.04±131.86	555.02±22.49	0.47±0.0^{a}	58.54±4.06^{a}	1.10±0.34^{a}

หมายเหตุ: $^{a,b,c,\cdots}$ อักษรกำกับเหนือตัวเลขในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลคุณภาพเนื้อสัมผัสและน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่ว พบว่าค่าความแข็ง และค่าการเกาะติดผิวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่มีค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วมีค่ามากกว่า และน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนไป โดยงาขาวคั่วมีปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่างาขาว ซึ่งเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วมีลักษณะเนื้อสัมผัสและความคงตัวที่ต้องการ เนื่องจากต้องการเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่นสูง ขาดออกจากกันได้ยาก และเมื่อนำมาต้มจะต้องสามารถคงรูปได้ ซึ่งมีผลไปในทางเดียวกันกับโครงสร้างทางจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอด (ภาพที่ 4.4) โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดมีความสอดคล้องกับ Sato (2003) ที่พบว่าการใช้งาขาวคั่วในการผลิตเต้าหู้งาจะมีค่าความแข็ง ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้งาขาวในการผลิตเต้าหู้งา แต่สำหรับค่าการเกาะติดผิวการใช้งาขาวในการผลิตเต้าหู้งาจะมีค่ามากกว่า

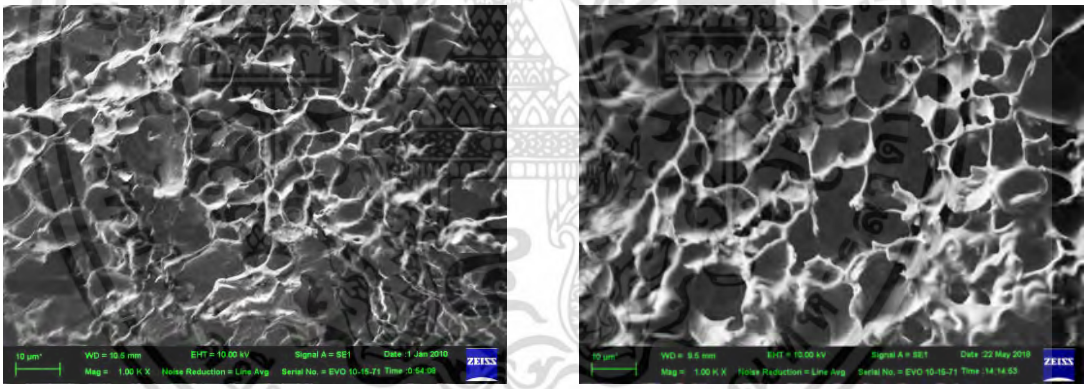
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดงาที่มีต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดงเขียว (a*) และค่าสีเหลืองน้ำเงิน (b*) ของเต้าหู้งาแบบหลอด

ชนิดงา	ความสว่าง (L*)^{ns}	สีแดงเขียว (a*)^{ns}	สีเหลืองน้ำเงิน (b*)^{ns}
งาขาว	83.01±0.74	-0.94±0.05	8.30±0.20
งาขาวคั่ว	79.49±0.77	-0.37±0.04	10.83±0.22

หมายเหตุ: ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 แสดงผลค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดงเขียว (a*) ค่าสีเหลืองน้ำเงิน (b*) ของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่ว พบว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากใช้งาขาวคั่วที่ไม่ได้ผ่านการคั่วด้วยอุณหภูมิสูงมาก จึงทำให้มีค่าความสว่าง และค่าสีใกล้เคียงกัน ทำให้เมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงไม่มีความชอบแตกต่างกันจากค่าสี (ตารางที่ 4.11)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.4 โครงสร้างทางจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว (ก) และงาขาวคั่ว (ข) ที่กำลังขยาย 1000x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.4 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่ว ที่กำลังขยาย 1000x พบว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วมีโครงสร้างของเจลที่ประสานกันแข็งแรงกว่า และมีพื้นผิวของรูพรุนตื้นกว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว แต่เต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวมีโครงสร้างของเจลที่ประสานกันขนาดเล็กกว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่ว ดังนั้นเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาต่างชนิดจึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน แต่มีค่าความแข็งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยงาขาวคั่วมีค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมากกว่า และมีน้ำหนักที่หายไปน้อยกว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว (ตารางที่ 4.9) และมีความสอดคล้องกับ Sato (2003) ที่พบว่าการใช้งาขาวคั่วในการผลิตเต้าหู้งาจะมีรูตาข่ายขนาดเล็กกว่า ทำให้เกิดเจลที่แข็งแรงกว่า อาจเนื่องมาจากลิพิดในเมล็ดงาทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการเกิดเจล ซึ่งน้ำนมงาขาวมีลิพิดมากกว่าเล็กน้อย

4.3.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของชนิดงาที่มีผลต่อเต้าหู้งาแบบหลอด

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของชนิดงาที่มีผลต่อเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้งาขาว และงาขาวคั่วในการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน และใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ดังแสดงในตารางที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่ว (N = 40)

ชนิดงา	ลักษณะปรากฏ[ns]	สี[ns]	กลิ่นรส[ns]	ความนุ่ม	ความยืดหยุ่น[ns]	ความแน่นเนื้อ	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
งาขาว	6.08±1.42	6.33±1.72	5.35±2.06	6.00±1.66[b]	5.93±1.42	6.13±1.30[b]	4.73±2.01[b]	5.18±1.69[b]
งาขาวคั่ว	6.30±1.32	6.25±1.71	5.68±1.67	6.55±1.38[a]	6.20±1.36	6.55±1.20[a]	5.63±1.98[a]	5.90±1.74[a]

หมายเหตุ: [a,b,c,....] อักษรกำกับเหนือตัวเลขในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว และงาขาวคั่ว พบว่าลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และความยืดหยุ่นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่มีความแตกต่างทางด้านความนุ่ม ความแน่นเนื้อ รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยงาขาวคั่วได้รับการยอมรับมากกว่าสำหรับทุกด้าน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการคั่วมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะด้านรสชาติซึ่งผู้บริโภคมีความคุ้นชินมากกว่าเนื่องจากมีการนำงาคั่วมาประกอบอาหารซึ่งพบได้มากในประเทศ อินเดีย จีน ญี่ปุ่น และไทย (ศานิต, 2558) ด้านความนุ่มและความแน่นเนื้อซึ่งมีผลมาจากโครงสร้างของเจลที่ประสานกันแข็งแรงกว่า และมีพื้นผิวของรูพรุนตื้นกว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว (ภาพที่ 4.4) ส่งผลทำให้ได้รับความชอบโดยรวมมากกว่า โดย Sato (2003) พบว่าการใช้งาขาวคั่วในการผลิตเต้าหู้งาจะทำให้มีความแข็ง ความยืดหยุ่น การยอมรับโดยรวมมากกว่า โดยเมื่อทำการวิเคราะห์แล้ว พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตเต้าหู้งาที่ใช้งาขาวคั่วในการผลิตมากกว่า เนื่องจากมีความยืดหยุ่นดีที่สุด ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ที่มีคะแนนความชอบของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วมากกว่าเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาว ดังนั้นจึงนำเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วไปใช้ในข้อที่ 4.4 และ 4.5 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด

จากผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้ชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากข้อ 4.1.5 (ปริมาณแป้งร้อยละ 15 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29) อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่ได้จากข้อ 4.2.3 (อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเวลา 52 นาที) และชนิดงาที่ได้จากข้อ 4.3.2 (งาขาวคั่ว) มาทำการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด และนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด

คุณค่าทางโภชนาการ	เต้าหู้งาแบบหลอด (100 กรัม)	เต้าหู้ถั่วเหลือง (100 กรัม)*
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี่)	186.54	40.91
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี่)	113.94	13.64
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	12.66 (20 %RDI)	1.36
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	1.97 (10 %RDI)	0
โคเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	0	0
โปรตีน (กรัม)	4.80	4.55
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	13.35	1.82
ใยอาหาร (กรัม)	5.26	0.91
น้ำตาล (กรัม)	0	0
โซเดียม (มิลลิกรัม)	9.74	0
วิตามินเอ (%RDI)	0	0
วิตามินบี 1 (%RDI)	10.00	18.18
วิตามินบี 2 (%RDI)	0	1.82
แคลเซียม (%RDI)	2.00	3.64
เหล็ก (%RDI)	6.00	13.64
เถ้า (กรัม)	0.69	N.D.
ความชื้น (กรัม)	68.50	N.D.

หมายเหตุ: *คุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้ถั่วเหลืองจากเต้าหู้หลอดขาวตรานางพยาบาล (บริษัท เจ.ที.ที. จำกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลคุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยเปรียบเทียบกับเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลือง พบว่าเต้าหู้งาแบบหลอดให้พลังงานทั้งหมดมากกว่าเต้าหู้จากถั่วเหลืองประมาณ 4.5 เท่า ซึ่งอาจจะเหมาะสำหรับเป็นอาหารของผู้สูงอายุซึ่งต้องการพลังงานเหมือนคนปกติแต่สามารถรับประทานอาหารได้น้อยกว่าปกติในแต่ละมื้อ ดังนั้นเต้าหู้งาแบบหลอดจึงเหมาะสม เนื่องจากให้พลังงานสูงเมื่อรับประทานในปริมาณน้อย เพื่อให้ได้รับพลังงานที่เพียงพอต่อวัน โดยพลังงานส่วนมากของเต้าหู้งาเป็นพลังงานที่มาจากไขมัน ซึ่งเต้าหู้งาแบบหลอดมีไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 10.69 ในขณะที่เต้าหู้ถั่วเหลืองมีไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 1.36 โดยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวตัวที่มีมากในงา คือ กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ซึ่งไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถช่วยไม่ให้คอเลสเตอรอลเกาะเส้นเลือด ควบคุมความดันโลหิต เพิ่มภูมิคุ้มกัน ปรับไขมันในร่างกาย และช่วยบำรุงผิวให้อ่อนนุ่ม (วาสนา, 2550) เต้าหู้ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันมาก โดยเต้าหู้งาแบบหลอดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองร้อยละ 11.53 เนื่องจากมีการใช้แป้งในการผลิต จึงทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงและมีใยอาหารมากกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองถึงร้อยละ 4.35 โดยปริมาณใยอาหารที่สูงนี้ไม่ได้มาจากกากงา เนื่องจากมีการกรองเอากากงาออกแต่มาจากการใช้แป้งในการผลิต ซึ่งใยอาหารมีความสามารถช่วยให้ขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายได้สะดวก ทำให้ร่างกายมีสุขภาพดี ในเต้าหู้งาแบบหลอดมีปริมาณโซเดียม 9.74 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักเต้าหู้งาแบบหลอด 100 กรัม แต่ในเต้าหู้ถั่วเหลืองไม่มีปริมาณโซเดียมอยู่เลย ซึ่งโซเดียมเป็นแร่ธาตุที่พบเป็นปริมาณมาก มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ ช่วยรักษาภาวะสมดุลของเซลล์ดี (นิธิยา,2551) และมีการแนะนำให้บริโภคต่อวันไม่เกิน 2400 มิลลิกรัม (Thai RDI) ดังนั้นปริมาณโซเดียมในเต้าหู้งาแบบหลอดจึงไม่ถือว่าเป็นอันตรายต่อร่างกาย โดยสามารถคิดเป็นร้อยละ 0 ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี 2 แคลเซียม และเหล็ก พบว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองมีปริมาณมากกว่าเต้าหู้งาแบบหลอด ดังนั้นจึงควรรับประทานเต้าหู้งาแบบหลอดควบคู่ไปกับอาหารอื่นๆ เพื่อให้ได้รับสารอาหารในปริมาณที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอด โดยใช้ชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากข้อ 4.1.5 (ปริมาณแป้งร้อยละ 15 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29) อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่ได้จากข้อ 4.2.3 (อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเวลา 52 นาที) และชนิดงาที่ได้จากข้อ 4.3.2 (งาขาวคั่ว) มาทำการผลิตเต้าหู้งาแบบหลอด โดยเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และทำการวิเคราะห์ทุก 2 วัน ทางด้านเนื้อสัมผัส น้ำหนักที่หายไป การเกิดซินเนอริซิส pH และจุลินทรีย์

4.5.1 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีต่ออายุการเก็บรักษาของเต้าหู้งาแบบหลอด

ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีต่ออายุการเก็บรักษาของเต้าหู้งาแบบหลอด ดังแสดงในตารางที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีต่ออายุการเก็บรักษาของเต้าหู้งาแบบหลอด

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ความแข็ง (กรัม)^{ns}	การเกาะติดผิว (กรัม.วินาที)	ความสามารถในการเกาะกัน	ความยืดหยุ่น (ร้อยละ)	น้ำหนักที่หายไป (ร้อยละ)	น้ำหนักน้ำที่ออกจากก้อนเต้าหู้ (ร้อยละ)	pH
0	2007.47±116.18	566.75±55.57^{efgh}	0.45±0.01^{a}	62.42±5.24^{a}	0.88±0.32^{a}	1.32±0.46^{a}	6.41±0.03^{a}
2	1935.48±72.21	558.94±51.91^{gh}	0.44±0.02^{a}	61.41±4.83^{a}	0.98±0.44^{a}	1.77±0.48^{ab}	6.41±0.03^{a}
4	1927.12±41.09	594.65±66.06^{cdefgh}	0.37±0.02^{b}	52.47±9.03^{b}	1.62±0.33^{b}	2.06±0.54^{bc}	6.41±0.03^{a}
6	1970.08±71.24	612.23±68.75^{bcdefgh}	0.36±0.02^{b}	49.06±5.52^{bc}	1.87±0.57^{bc}	2.29±0.60^{bcd}	6.41±0.03^{a}
8	1969.82±168.57	662.82±80.68^{abcdef}	0.35±0.02^{b}	45.22±3.29^{c}	1.99±0.45^{bc}	2.64±0.72^{cde}	6.41±0.03^{a}
10	2007.38±68.17	719.34±31.43^{a}	0.32±0.01^{c}	39.67±3.11^{d}	2.33±0.67^{cd}	2.66±0.48^{cde}	6.40±0.02^{ab}
12	2017.72±160.13	655.51±145.56^{abcdefg}	0.29±0.03^{d}	38.24±2.93^{d}	2.88±0.61^{de}	2.74±0.54^{cde}	6.40±0.02^{ab}
14	2057.00±137.91	666.31±86.22^{abcde}	0.29±0.01^{d}	37.02±3.43^{d}	3.19±0.58^{e}	2.96±0.69^{de}	6.38±0.02^{abc}
16	2017.06±149.87	710.10±61.07^{ab}	0.29±0.01^{d}	37.67±3.95^{d}	3.25±0.39^{e}	2.92±0.69^{de}	6.38±0.03^{abc}
18	1985.11±98.98	660.69±69.97^{abcdef}	0.29±0.03^{d}	38.08±4.56^{d}	3.26±0.72^{e}	3.16±0.62^{e}	6.37±0.03^{bc}
20	2021.99±65.22	685.42±65.45^{abcd}	0.28±0.03^{d}	37.29±5.29^{d}	3.06±0.45^{e}	2.98±0.44^{de}	6.36±0.04^{c}
22	1977.00±104.72	695.18±53.35^{abc}	0.29±0.02^{d}	36.71±5.09^{d}	3.21±0.41^{e}	3.30±0.58^{e}	6.36±0.04^{c}
24	1969.18±103.08	563.72±93.46^{fgh}	0.25±0.03^{e}	34.59±4.46^{de}	3.42±0.58^{e}	3.21±0.45^{e}	6.35±0.03^{c}
26	1948.64±106.06	593.19±34.70^{defgh}	0.25±0.01^{e}	30.99±2.12^{e}	3.35±0.57^{e}	3.04±0.47^{de}	6.35±0.03^{c}
28	1965.04±69.38	592.49±102.57^{defgh}	0.24±0.01^{e}	30.02±3.03^{e}	3.45±0.49^{e}	3.15±0.65^{e}	6.35±0.03^{c}
30	1983.81±114.49	543.78±63.28^{h}	0.24±0.01^{e}	30.06±3.34^{e}	3.56±0.50^{e}	3.19±0.64^{e}	6.34±0.03^{c}

หมายเหตุ: $^{a,b,c,....}$ อักษรกำกับเหนือตัวเลขในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีต่ออายุการเก็บรักษาของเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าค่าความแข็งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าการเกาะติดผิวมีค่าเพิ่มมากขึ้นและค่อยๆลดลง โดยวันที่ 10 มีค่าการเกาะติดผิวสูงที่สุด ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยมีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างไปจากเดิมมากในวันที่ 10 ซึ่งมีความสอดคล้องกับ ศิริพร (2552) ที่พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาว และธัญพืชที่ตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมซัลเฟต จะมีค่าความสามารถในการเกาะกัน และมีค่าความยืดหยุ่นลดลง ส่วนค่าน้ำหนักที่หายไปและค่าน้ำหนักน้ำที่ออกจากก้อนเต้าหู้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่าน้ำหนักที่หายไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจนถึงวันที่ 14 และค่าน้ำหนักน้ำที่ออกจากก้อนเต้าหู้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจนถึงวันที่ 18 โดยการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากการเกิดรีโทรกราเดชั่นของแป้ง ซึ่งทำให้โครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป (นิธิยา, 2551) โดยเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ แป้งจากรากหรือหัวมีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากรากหรือหัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้ง ยากที่อะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ (ดุษฎี, 2561) จึงทำให้มีการเกิดซินเนอริซิสของแป้งน้อยเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ ทำให้มีน้ำถูกขับออกมาจากแป้งในปริมาณน้อย และค่า pH มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเริ่มมีค่าลดลงเล็กน้อยในวันที่ 10 และมีค่าลดลงเล็กน้อยอีกครั้งในวันที่ 14 ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เริ่มพบได้ในวันที่ 16 (ตารางที่ 18)

4.5.2 ผลการการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ที่เก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน โดยทำการตรวจนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และตรวจนับจำนวนยีสต์ และราทั้งหมด (Yeast and Mold plate count) ที่มีชีวิตในผลิตภัณฑ์เต้าหู้งาแบบหลอดด้วยเทคนิคการ Pour plate (FDA-BAM, 2001) ดังแสดงในตารางที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)^{ns}
0	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
2	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
4	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
6	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
8	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
10	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
12	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
14	$<1\times10^{1\,e}$	$<1\times10^{1}$
16	$5\times10^{1\,de}$	$<1\times10^{1}$
18	$1\times10^{2\,de}$	$<1\times10^{1}$
20	$5\times10^{1\,de}$	$<1\times10^{1}$
22	$<1\times10^{1\,de}$	$<1\times10^{1}$
24	$<1\times10^{1\,d}$	$<1\times10^{1}$
26	$1\times10^{2\,c}$	$<1\times10^{1}$
28	$1\times10^{2\,b}$	$<1\times10^{1}$
30	$1.5\times10^{2\,a}$	$<1\times10^{1}$

หมายเหตุ: $^{a,b,c,\ldots}$ อักษรกำกับเหนือตัวเลขในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.14 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา พบว่าเริ่มตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันที่ 16 และเมื่อถึงวันที่ 30 พบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์ที่พบ 1.5×10^{2} โคโลนี/กรัม ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานชุมชนเต้าหู้แผ่น (มผช. 461/2546) ดังแสดงในภาคผนวก จ ที่กำหนดว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 5×10^{4} โคโลนี/กรัม โดยตรวจไม่พบปริมาณยีสต์ และราตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งเต้าหู้งาแบบหลอดสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 30 วัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ เต้าหู้งาแบบหลอดที่พัฒนาจึงมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อสัมผัส และจากรายงานของ ศิริพร (2552) ที่พบว่าเต้าหู้อ่อนจากกากงาขาว และธัญพืชสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 12 วันทางด้านจุลินทรีย์แต่มีอายุการเก็บรักษาเพียง 5 วัน เนื่องจากความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลของการศึกษาชนิด และอัตราส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสทุกด้านเพิ่มขึ้น ยกเว้นค่าความยืดหยุ่น และค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง เมื่อปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมจากนั้นจะมีค่าลดลง แต่ค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลงจนถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมจากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ส่งผลให้ค่าการเกาะติดผิว และค่าความสามารถในการเกาะกันมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีชนิด และอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ปริมาณแป้งร้อยละ 15 ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ A ร้อยละ 0.29 และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ B ร้อยละ 0 และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าสูตรจากการทำนายมีความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ และความชอบโดยรวมมากกว่า เนื่องจากผู้ทดสอบมีความชอบให้มีเนื้อสัมผัสด้านความยืดหยุ่น และความสามารถในการเกาะกันมาก

จากผลการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่าอุณหภูมิ และเวลามีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และน้ำหนักที่หายไป โดยมีอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 52 นาที

จากผลการศึกษาชนิดงาที่มีผลต่อคุณภาพเต้าหู้งาแบบหลอด พบว่างาขาวคั่วมีผลทำให้ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นสูงขึ้น แต่ค่าน้ำหนักที่หายไปลดลง และไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดผิว และค่าสี ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างทางจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอดที่ทำจากงาขาวคั่วที่มีโครงสร้างของเจลที่ประสานกันแข็งแรงกว่า และมีพื้นผิวของรูพรุนตื้นกว่า และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่างาขาวคั่วมีคะแนนความชอบทางด้านความนุ่ม ความแน่นเนื้อ รสชาติ และความชอบโดยรวมมากกว่า

จากผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าเต้าหู้งาแบบหลอดมีพลังงานทั้งหมดสูงกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองแบบหลอดที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่มาจากไขมันเป็นส่วนมาก โดยมีปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวสูง มีปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณใยอาหารมากกว่า แต่พบว่ามีปริมาณวิตามินต่างๆน้อยกว่าเต้าหู้ถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเต้าหู้งาแบบหลอดในขณะเก็บรักษา พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสมากในวันที่ 10 ซึ่งมีค่าการเกาะติดผิว ค่าความสามารถในการเกาะกัน และค่าความยืดหยุ่นลดลง แต่ค่าน้ำหนักที่หายไป และค่าน้ำหนักน้ำที่ออกจากก้อนเต้าหู้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่า pH มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มตรวจพบในวันที่ 16 และเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.5×10^{2} โคโลนี/กรัม และไม่พบปริมาณยีสต์ และราตลอดอายุการเก็บรักษา จึงไม่เกิดการเสื่อมเสียด้วยจุลินทรีย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ เต้าหู้งาแบบหลอดที่พัฒนาจึงมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้สามารถเก็บรักษาเต้าหู้งาแบบหลอดด้านจุลินทรีย์ได้มากกว่า 30 วัน ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาด้านเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดให้มีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดเมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปผลิต และใช้ในอุตสาหกรรมได้จริง และอาจมีการทดลองเพิ่มธัญพืชอื่นๆที่น่าสนใจ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และสร้างความสนใจให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กาญจนา บันสิทธิ์ และ ธีระพล บันสิทธิ์. 2557. **คุณค่าของกากงาดำดิบ Value of unroasted black sesame seed cake.** http://www.ubu.ac.th/web/files_up/08f2014092914015516.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2559.

จันทร วรากุลเทพ, อัจฉรา กลีบงาม, วัชระ การไกล, ฉัตรแก้ว เกล้ารัตนา, ประทุมรัตน์ บัวแย้ม และวันทายิ้มสุข. 2546. **เต้าหู้อาหารเพื่อสุขภาพ.** กรุงเทพมหานคร: เพชรกะรัตสติวดิโอ.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2551. **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์.

บริษัท เจ.ที.ที. จำกัด. 2561. **เต้าหู้หลอดขาว**. http://www.ohayo.in.th/product_details.php?id=16. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2561.

พรรณภัทร คาลอย และสุมาลิน มังคละ. 2556. **เต้าหู้แข็งเสริมข้าวโพดสีม่วง Production of bean curd (Tofu) added field corn.** วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

วัฒนา ประทุมสิรธุ์. 2534. **การค้นคว้าทดลองอาหาร The ExrerimentalStudy of Foods.** ปัตตานี: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วาสนา วงษ์ใหญ่. 2550. **งา พฤษศาสตร์ การปลูก ปรับปรุงพันธ์ และ การใช้ประโยชน์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาพืชไร่นา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริพร ดลภักนิยมกุล. 2552. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนจากกากงาขาวและธัญพืช.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศานิต สวัสดิกาญจน์. 2558. **พืชน้ำมัน : งา.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุบล ดีสวัสดิ์. 2546. **เต้าหู้เมนูอร่อยเพื่อสุขภาพ.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แม่บ้าน.

อภิชาต เกิดผล และ วิไลภรณ์ ชนกนำชัย. 2558. **การปลูกงา.** http://eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/rice/nga2.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2559.

อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์. 2556. **งา: การผลิต การปรับปรุงพันธุ์ และการแปรรูป.** พิมพ์ครั้งที่ 1. อุบลราชธานี: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Chang, Y.H., Shiau, S.Y., Chen, F.B. and Lin, F.R. 2011. Effect of microbial transglutaminase on the rheological and textural characteristics of black soybean packed tofu coagulating with Agar. **Food Science and Technology**. 44, 1107-1112.

Everest, J.W., Miller, J.H., Ball, D.M., and Patterson, M. 1999. Kudzu in Alabama: History, Uses, and Control. **Alabama Cooperative Extension System**.

Karim, A.A., Sulebele, G.A., Azhar, M.E. and Ping, C.Y. 1999. Effect of carrageenan on yield and properties of tofu. **Food Chemistry**. 66, 159-165.

Kim, S.Y., Choi, M.Y., Noh, O.D., Cho, Y.S. and Suh, J.H. 2007. The effect of oyster shell powder on the extension of the shelf life of tofu. **Food Chemistry**. 103, 155-160.

Memorial Sloan Kettering Cancer Center. **Kudzu.** [Online]. Available : https://www.mskcc.org/cancer-care/integrative-medicine/herbs/kudzu. 2013.

Lee, C.Y. and Kuo M.I. 2011. Effect of γ-polyglutamate on the rheological properties and microstructure of tofu. **Food Hydrocolloids**. 25, 1034-1040.

Li, M., Chen, F., Yang, B., Lai, S., Yang, H., Liu, K., Bu, G., Fu, C., and Deng, Y. 2015. Preparation of organic tofu using organic compatible magnesium chloride incorporated with polysaccharide coagulants. **Food Chemistry**. 167, 168–174.

Makinde, M.F. and Akinoso, R. 2014. Comparison between the nutritional quality of flour obtained from raw, roasted and fermented sesame (*Sesamum indicum* L.) seed grown in Nigeria. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**. 13(3), 309-319.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Murad, M., Abdullah, A. and Mustapha, W.A.W. 2015. Optimization of egg tofu formulations containing carrageenan, gum arabic and corn starch by descriptive sensory analysis. **American Journal of Applied Sciences**. 12 (1), 47-57.

Sato, E. 2003. Effects of different kind of sesame materials on the physical properties of *gomatofu* (sesame tofu). **Food Hydrocolloids**. 17 (6), 901-906.

Sato, E., Watanabe, M., Noda, S. and Nishinari, K. 2007. Roasting conditions of sesame seeds and their effect on the mechanical properties of gomatofu (sesame tofu). **Journal of Home Economics of Japan**. 58(8), 471-483.

Shen, Y.R. and Kuo, M.I. 2017. Effects of different carrageenan types on the rheological and waterholding properties of tofu. **Food Science and Technology**. 78, 122-128.

Yadav, D.N., Dhasmana, J., Sharma, M. and Kumar, Y. 2014. Corn starch incorporated gomatofu: textural and sensory quality. **International Journal of Food Processing Technology**. 1, 13-19.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด

การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด (ดัดแปลงจาก ศิริพร, 2552) โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-HD plus ด้วยหัววัด Cylinder probes 50 mm (P/50) และใช้การทดสอบแบบ Texture profile analysis (TPA) ซึ่งเป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหาร เตรียมตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร ทำการจัดวางตัวอย่างไว้ตรงกลางฐาน และใช้หัววัด P/50 ในการกดตัวอย่างดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ก1 และทำการตั้งค่าการวัดดังแสดงในตารางที่ ก1

ภาพภาคผนวกที่ ก1 การจัดวางตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดบนเครื่องวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 การตั้งค่าการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด

Caption	**Value**
Test Mode	TPA
Pre-Test Speed	1.00 mm/sec
Test Speed	2.00 mm/sec
Post-Test Speed	2.00 mm/sec
Target Mode	Strain
Strain	70.00
Time	3.00 sec
Trigger Type	Auto (Force)
Trigger Force	5.0 g
Stop Plot At	Final
Tare Mode	Auto
PPS	200

ทำการวัดค่าดังต่อไปนี้ ซึ่งจะได้กราฟการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ก2

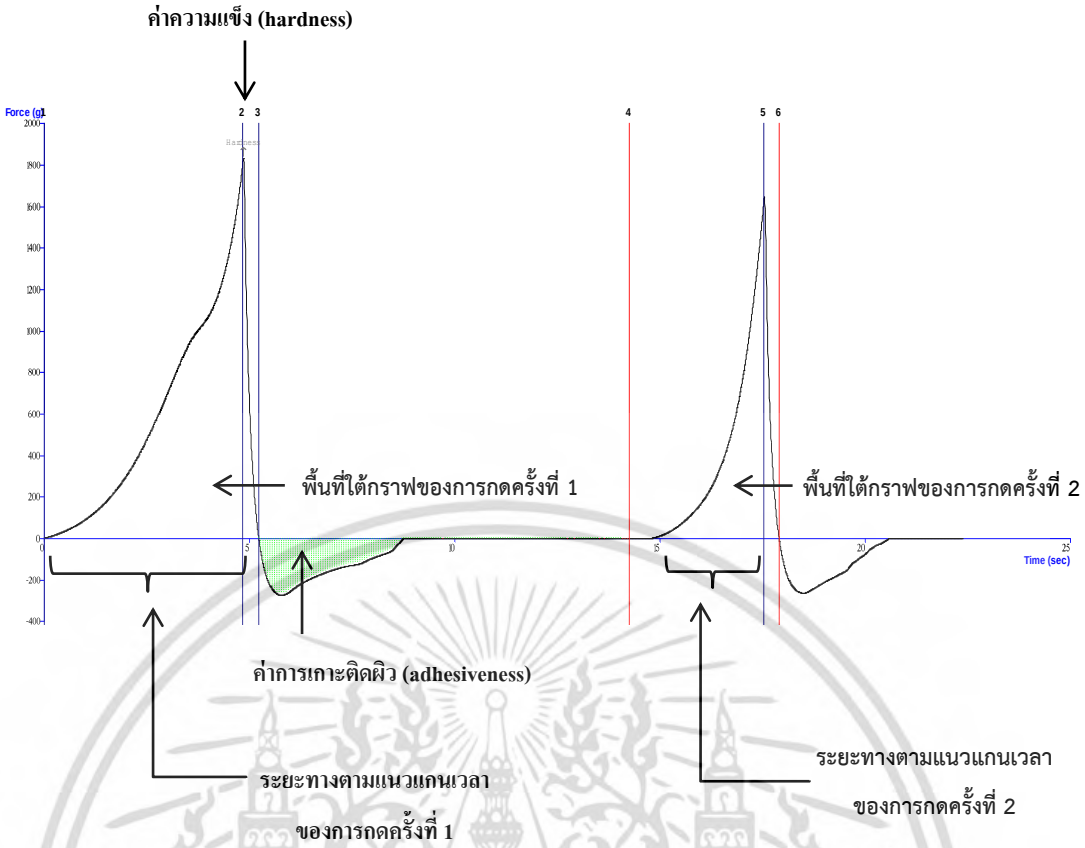
1. ค่าความแข็ง (Hardness) หมายถึง ค่าแรงกดสูงสุด (maximum force) ซึ่งเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก

2. ค่าการเกาะติดผิว (Adhesiveness) หมายถึง พื้นที่ใต้กราฟของช่วงการกดครั้งที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนที่มีค่าเป็นลบ

3. ค่าความสามารถในการเกาะกัน (Cohesiveness) หมายถึง อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 2 ส่วนที่เป็นค่าบวกต่อพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 1 ส่วนที่เป็นค่าบวก

4. ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) หมายถึง อัตราส่วนของระยะทางตามแนวแกนเวลาของกราฟการกดครั้งที่ 2 ต่อครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ ก2 กราฟแสดงการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การศึกษาน้ำหนักที่หายไปของเต้าหู้งาแบบหลอด

ศึกษาน้ำหนักที่หายไป (Cooking loss) ของเต้าหู้งาแบบหลอดในน้ำร้อน (ดัดแปลงจาก Chang และคณะ, 2011)

วิธีการวิเคราะห์

1. ตัดเต้าหู้งาแบบหลอดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 มิลลิเมตร และหนา 30 มิลลิเมตร

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอด

3. ต้มตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดในน้ำเดือด 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที

4. กรองผ่านตะแกรงขนาด 400 ไมโครเมตร และทิ้งไว้ให้แห้ง 30 นาที ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ก3

5. คำนวณน้ำหนักเต้าหู้ที่สูญหายไปหลังการต้มด้วยสูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละน้ำหนักที่หายไป} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนต้ม-น้ำหนักหลังต้ม}}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม}} \times 100$$

ภาพภาคผนวกที่ ก3 การกรองก้อนเต้าหู้ด้วยตะแกรงกรองขนาด 400 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอด

ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้งาแบบหลอด (ดัดแปลงจาก Lee และ Kuo, 2011)

วิธีการวิเคราะห์

1. ตัดเต้าหู้งาแบบหลอดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร

2. นำตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดแช่ก๊าซไนโตรเจนเหลว

3. แช่แข็งตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอด

4. นำตัวอย่างไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry)

5. นำตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000x (Zeiss รุ่น Evo MA 10, ประเทศเยอรมนี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 การศึกษาสีของเต้าหู้งาแบบหลอด

การตรวจสอบค่าสีของตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดด้วยเครื่องวัดสี โดยวัดค่าสีในระบบ CIE

L* คือ ค่าความสว่างของสี (lightness) โดยมีค่าจาก 0 คือสีดำ ไปจนถึง 100 คือสีขาว

a* คือ ค่าสีแดงเขียว (redness) โดย –a* มีสีเขียว ไปจนถึง +a* มีสีแดง

b* คือ ค่าสีเหลืองน้ำเงิน (yellowness) โดย –b* มีสีน้ำเงิน ไปจนถึง +b* มีสีเหลือง

โดยก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องทาการปรับค่ามาตรฐานสีของเครื่อง (calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนผิวหน้าของแผ่นสีขาวมาตรฐาน กดปุ่ม calibrate เครื่องวัดสีจะทาการวัดและบันทึกค่าสีขาวของแผ่นสีขาวมาตรฐานไว้

วิธีการวิเคราะห์

1. ทำการ calibrate โดยวางหัววัดทาบบนแผ่นมาตรฐานสีขาว
2. ตัดตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และหนา 10 มิลลิเมตร
3. วัดค่าสีจำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ก4

ภาพภาคผนวกที่ ก4 การวัดสีตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 การศึกษาการเกิดซินเนอริซิส

ศึกษาการเกิดซินเนอริซิส (ดัดแปลงจาก Lee และ Kuo, 2011)

วิธีการวิเคราะห์

1. ทำการตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม 15 x 15 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น

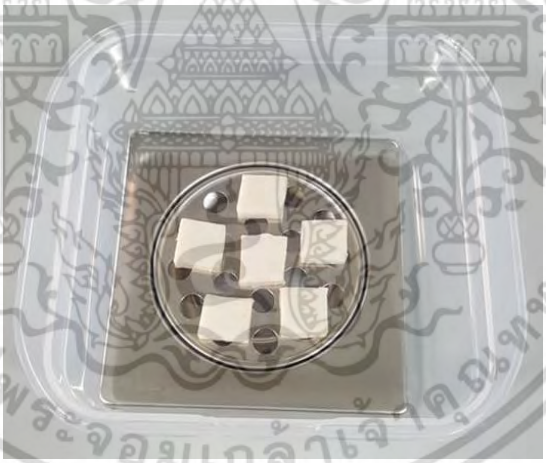
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอด จำนวน 6 ชิ้น

3. วางตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอดบนตะแกรงที่สูงจากฐานเล็กน้อยในกล่องพลาสติก ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ก5

4. ปิดกล่องพลาสติกด้วยพาราฟิล์ม

5. แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเต้าหู้งาแบบหลอด จำนวน 6 ชิ้น หลังผ่านไป 24 ชั่วโมง



ภาพภาคผนวกที่ ก5 เต้าหู้งาแบบหลอดบนตะแกรงในกล่องพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA-BAM, 2001)

อุปกรณ์

1. ไมโครปิเปตขนาด 1000 ไมโครลิตร
2. ตู้บ่มเพาะเชื้อ 37 องศาเซลเซียส
3. ตู้ปลอดเชื้อ Laminar flow
4. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด
5. ขวดน้ำยาสำหรับเจือจาง 225 มิลลิลิตร
6. ถุงพลาสติกปลอดเชื้อ (สำหรับตีปั่นตัวอย่างอาหาร)
7. จานเพาะเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารละลายสำหรับเจือจาง

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar
2. Butterfield's phosphate buffered

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างจำนวน 25 กรัม ใส่ลงไปในถุงปลอดเชื้อ
2. เทน้ำยาเจือจาง (Butterfield's phosphate buffered) 225 มิลลิลิตร ตีปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องตีปั่นอาหาร
3. ทำการเจือจางตัวอย่างเป็น 3 ระดับความเจือจางด้วยน้ำยาเจือจาง (Butterfield's phosphate buffered) ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
4. ปิเปตตัวอย่างจากแต่ละระดับความเจือจางจำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ
5. ทำการเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar ลงในจานอาหารเพาะเชื้อจานละ 15 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันโดยการหมุนจานเป็นวงกลมอย่างช้าๆ
6. รออาหารแข็งตัว และคว่ำจานอาหารเพาะเชื้อ
7. นำเข้าตู้บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
8. ตรวจนับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารในแต่ละความเจือจาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อยีสต์ และรา (FDA-BAM, 2001)

อุปกรณ์

1. ไมโครปิเปตขนาด 1000 ไมโครลิตร
2. ตู้บ่มเพาะเชื้อ 37 องศาเซลเซียส
3. ตู้ปลอดเชื้อ Laminar flow
4. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด
5. ขวดน้ำยาสำหรับเจือจาง 225 มิลลิลิตร
6. ถุงพลาสติกปลอดเชื้อ (สำหรับตีปั่นตัวอย่างอาหาร)
7. จานเพาะเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารละลายสำหรับเจือจาง

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar
2. Butterfield's phosphate buffered
3. 10 % tartalic acid

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างจำนวน 25 กรัม ใส่ลงไปในถุงปลอดเชื้อ
2. เทน้ำยาเจือจาง (Butterfield's phosphate buffered) 225 มิลลิลิตร ตีปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องตีปั่นอาหาร
3. ทำการเจือจางตัวอย่างเป็น 3 ระดับความเจือจางด้วยน้ำยาเจือจาง (Butterfield's phosphate buffered) ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
4. ปิเปตตัวอย่างจากแต่ละระดับความเจือจางจำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ
5. เติม 10 % tartalic acid ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar และเทอาหารเลี้ยงเชื้อลงในจานอาหารเพาะเชื้อจานละ 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยการหมุนจานเป็นวงกลมอย่างช้าๆ
6. รออาหารแข็งตัว และคว่ำจานอาหารเพาะเชื้อ
7. นำเข้าตู้บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
8. ตรวจนับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารในแต่ละความเจือจาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ค.1 แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสม

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเต้าหู้งาแบบหลอด

ผลิตภัณฑ์ : เต้าหู้งาแบบหลอด ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

การทดสอบความชอบในผลิตภัณฑ์

คำแนะนำ : กรุณาประเมินตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ พร้อมทั้งให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะและกรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่าง โดยกำหนดระดับคะแนนความชอบดังนี้

สเกลความชอบ : 9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ					
ลักษณะปรากฏ					
เนื้อสัมผัส	ความนุ่ม				
	ความยืดหยุ่น				
	ความแน่นเนื้อ				
รสชาติ					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้งาแบบหลอดเพื่อทดสอบสูตรที่เหมาะสม

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเต้าหู้งาแบบหลอด

ผลิตภัณฑ์ : เต้าหู้งาแบบหลอด ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

การทดสอบความชอบในผลิตภัณฑ์

คำแนะนำ : กรุณาประเมินตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ พร้อมทั้งให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะและกรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่าง โดยกำหนดระดับคะแนนความชอบดังนี้

สเกลความชอบ : 9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ			
เนื้อสัมผัส	ความนุ่ม		
	ความยืดหยุ่น		
	ความแน่นเนื้อ		
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสของชนิดงาที่มีผลต่อเต้าหู้งาแบบหลอด

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเต้าหู้งาแบบหลอด

ผลิตภัณฑ์ : เต้าหู้งาแบบหลอด ผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

การทดสอบความชอบในผลิตภัณฑ์

คำแนะนำ : กรุณาประเมินตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ พร้อมทั้งให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะและกรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่าง โดยกำหนดระดับคะแนนความชอบดังนี้

สเกลความชอบ : 9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ			
ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่นรส			
เนื้อสัมผัส	ความนุ่ม		
	ความยืดหยุ่น		
	ความแน่นเนื้อ		
รสชาติ			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เต้าหู้แผ่น (มผช.461/2546)

ง.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะเต้าหู้แผ่นที่ไม่แต่งสี และบรรจุในภาชนะบรรจุ

ง.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

เต้าหู้แผ่น หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำถั่วเหลืองมาล้างให้สะอาด แช่น้ำ แล้วบดผสมกับน้ำร้อน กรองเอากากออก เติมสารช่วยตกตะกอนในกลุ่มซัลเฟตหรือกลุ่มคลอไรด์ นำตะกอนมาใส่ในแบบ ซึ่งรองด้วยผ้า ทับน้ำออกเพื่อให้แห้ง และจับตัวเป็นแผ่นหรือเป็นก้อน แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส

ง.3 คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

เป็นแผ่นหรือเป็นก้อน ไม่แตกหรือเปื่อยยุ่ย

3.2 สี

มีสีขาวนวลถึงสีเหลืองนวลตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีสีคล้ำ

3.3 กลิ่นรส

มีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นบูด รสเฝื่อน รสขม รสเปรี้ยว

3.4 ลักษณะเนื้อ

เนียน แน่น ไม่แตกเละหรือมีฟองอากาศ และเมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ ง.8.1 แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคน ไม่น้อยกว่า 3 คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ 1 คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สิ่งแปลกปลอม

ไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

3.6 โปรตีน

ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

3.7 อะฟลาทอกซิน

ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

3.8 วัตถุเจือปนอาหาร

ห้ามใช้สีและวัตถุกันเสียทุกชนิด

3.9 ความเป็นกรด-ด่าง

ต้องอยู่ในระหว่าง 5.5 ถึง 6.0

3.10 เชื้อจุลินทรีย์

3.10.1 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 5×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.10.2 ซาลโมเนลลา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25กรัม

3.10.3 สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

3.10.4 คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

ง.4 สุขลักษณะ

4.1 สถานที่ตั้ง และอาคารที่ทำ

4.1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคาร และที่ใกล้เคียง อยู่ในที่ที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย

4.1.1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคาร และบริเวณโดยรอบ สะอาด ไม่มีน้ำขังแฉะและสกปรก

4.1.1.2 อยู่ห่างจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุ่น เขม่า ควัน มากผิดปกติ

4.1.1.3 ไม่อยู่ใกล้เคียงกับสถานที่น่ารังเกียจ เช่น บริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์ แหล่งเก็บหรือกำจัดขยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 อาคารที่ทำมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและก่อสร้างในลักษณะที่ง่ายแก่การบำรุงรักษา การทำความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน

4.1.2.1 พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารที่ทำ ก่อสร้างด้วยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาด และซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีตลอดเวลา

4.1.2.2 แยกบริเวณที่ทำออกเป็นสัดส่วน ไม่อยู่ใกล้ห้องสุขา ไม่มีสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำอยู่ในบริเวณที่ทำ

4.1.2.3 พื้นที่ปฏิบัติงานไม่แออัด มีแสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม

4.2 เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำ

4.2.1 ภาชนะหรืออุปกรณ์ในการทำที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไม่เป็นสนิม ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

4.2.2 เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ สะอาด เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ติดตั้งได้ง่าย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดได้ง่าย และทั่วถึง

4.3 การควบคุมกระบวนการทำ

4.3.1 วัตถุดิบ และส่วนผสมในการทำ สะอาด มีคุณภาพดี มีการล้างหรือทำความสะอาดก่อนนำไปใช้

4.3.2 การทำ การเก็บรักษา การขนย้าย และการขนส่ง ให้มีการป้องกันการปนเปื้อนและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

4.4 การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

4.4.1 น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ และมือของผู้ทำ เป็นน้ำสะอาด และมีปริมาณเพียงพอ

4.4.2 มีวิธีการป้องกัน และกำจัดสัตว์นำเชื้อ แมลงและฝุ่นผง ไม่ให้เข้าในบริเวณที่ทำตามความเหมาะสม

4.4.3 มีการกำจัดขยะ สิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกลับลงสู่ผลิตภัณฑ์

4.4.4 สารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และใช้กำจัดสัตว์นำเชื้อและแมลง ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ทำ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 บุคลากร และสุขลักษณะของผู้ทำ

ผู้ทำทุกคนต้องรักษาความสะอาดส่วนบุคคลให้ดี เช่น สวมเสื้อผ้าที่สะอาด มีผ้าคลุมผมเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผมหล่นลงในผลิตภัณฑ์ ไม่ไว้เล็บยาว ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน หลังการใช้ห้องสุขา และเมื่อมือสกปรก

ง.5 การบรรจุ

5.1 ให้บรรจุเต้าหู้แผ่นในภาชนะบรรจุที่สะอาด ผนึกได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

5.2 น้ำหนักสุทธิของเต้าหู้แผ่นในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

ง.6 เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ภาชนะบรรจุเต้าหู้แผ่นทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ ให้เห็นได้ง่ายชัดเจน

6.1.1 ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น เต้าหู้แผ่น เต้าหู้แข็ง เต้าหู้อ่อน เต้าหู้กระดาน

6.1.2 น้ำหนักสุทธิ

6.1.3 วัน เดือน ปีที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความว่า “ควรบริโภคก่อน (วัน เดือน ปี)”

6.1.4 ข้อแนะนำในการเก็บรักษา เช่น ควรเก็บไว้ในตู้เย็น

6.1.5 ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

ง.7 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง เต้าหู้แผ่นที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ทำในระยะเวลาเดียวกัน

7.2 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ สำหรับการทดสอบสิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมาย และฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.5 ข้อ 5. และข้อ 6. จึงจะถือว่าเต้าหู้แผ่นรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.2 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อ ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 7.2.1 แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.4 จึงจะถือว่าเต้าหู้แผ่นรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบโปรตีน อะฟลาทอกซิน วัตถุเจือปนอาหาร และความเป็นกรด-ด่าง ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุนำมาทำเป็นตัวอย่างรวม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.6 ถึงข้อ 3.9 จึงจะถือว่าเต้าหู้แผ่นรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.4 การชักตัวอย่าง และการยอมรับ สำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 500 กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 จึงจะถือว่าเต้าหู้แผ่นรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเต้าหู้แผ่นต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1 ข้อ 7.2.2 ข้อ 7.2.3 และข้อ 7.2.4 ทุกข้อ จึงจะถือว่าเต้าหู้แผ่นรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

ง.8 การทดสอบ

8.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อ

8.1.1 ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบเต้าหู้แผ่นอย่างน้อย 5 คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจ และให้คะแนนโดยอิสระ

8.1.2 วางตัวอย่างเต้าหู้แผ่นในจานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบโดยการตรวจพินิจ และชิม

8.1.3 หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ ง1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง1 หลักเกณฑ์การให้คะแนนเต้าหู้แผ่น

ลักษณะที่ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	ระดับการตัดสิน (คะแนน)			
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
ลักษณะทั่วไป	ต้องเป็นแผ่นหรือเป็นก้อน ไม่แตกหรือเปื่อยยุ่ย	4	3	2	1
สี	ต้องมีสีขาวนวลถึงสีเหลืองนวลตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีสีคล้ำ	4	3	2	1
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นบูด รสเฝื่อน รสขม รสเปรี้ยว	4	3	2	1
ลักษณะเนื้อ	ต้องเนียน แน่น ไม่แตกหรือเละ หรือมีฟองอากาศ	4	3	2	1

8.2 การทดสอบสิ่งแปลกปลอม ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

ให้ตรวจพินิจ

8.3 การทดสอบโปรตีน อะฟลาทอกซิน วัตถุเจือปนอาหาร และความเป็นกรด-ด่าง

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

8.4 การทดสอบจุลินทรีย์

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

8.5 การทดสอบน้ำหนักสุทธิ

ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุวพิชญ์ วงศ์ศรีศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	6 กรกฎาคม 2538 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	1764 ถนนอ่อนนุช แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10250
ประวัติการศึกษา	- พ.ศ. 2559 จบการศึกษาการศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - พ.ศ. 2560 ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี 2561
การนำเสนอผลงาน	- ตีพิมพ์ผลงาน เรื่อง **Effect of Setting Agent on Quality of Tubed-Package Sesame Tofu** ในวารสาร International Journal of Agricultural Technology 2017 Vol.13 (7.1):1517-1526. - นำเสนอผลงานด้วยการบรรยาย เรื่อง **Effect of Setting Agent on Quality of Tubed-Package Sesame Tofu** ในงานประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษา ระดับนานาชาติ Sixth International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development 2017 (6^{TH} ICIST 2017) ครั้งที่ 6 ณ Hotel Supreme and Convention Plaza บาเกียว ประเทศฟิลิปปินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้