การผลิตขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้าด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง

PRODUCTION OF BANANA-BASED SNACKS VIA COMBINED PROCESS OF DRYING AND FABRICATION OF HIGH-POROSITY STRUCTURE

คชศักดิ์ ไตรปิยะวงษ์

จุฑารัตน์ โยวะกา

พิรญาณ์ เรืองรองรัตนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การผลิตขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้าด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง

PRODUCTION OF BANANA-BASED SNACKS VIA COMBINED PROCESS OF DRYING AND FABRICATION OF HIGH-POROSITY STRUCTURE

คชศักดิ์ ไตรปิยะวงษ์

จุฑารัตน์ โยวะกา

พิรญาณ์ เรืองรองรัตนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF BANANA-BASED SNACKS VIA COMBINED PROCESS OF DRYING AND FABRICATION OF HIGH-POROSITY STRUCTURE

Kotchasak Traipiyawong
Jutarat Yovaga
Piraya Ruengrongratana

THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผลิตขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้าด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง

Production of Banana-Based Snacks via Combined Process of Drying and Fabrication of High-Porosity Structure

ผู้จัดทำ

1. นายคชศักดิ์ ไตรปิยะวงษ์ รหัสประจำตัว 58010138
2. นางสาวจุฑารัตน์ โยวะกา รหัสประจำตัว 58010206
3. นางสาวพิรญาณ์ เรืองรองรัตนา รหัสประจำตัว 58010899

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน การผลิตขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้าด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง

จัดทำโดย นายคชศักดิ์ ไตรปิยะวงษ์
นางสาวจุฑารัตน์ โยวะกา
นางสาวพิรญาณ์ เรืองรองรัตนา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ขนมขบเคี้ยวกรุบกรอบปราศจากไขมันจากกล้วยน้ำว้าผลิตด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุน (ได้แก่ ระดับความสุกของกล้วย อัตราส่วนของน้ำ เวลาในการตีโฟม และโปรตีนไข่ขาว ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นสารก่อโฟม) รวมทั้งอิทธิพลของอุณหภูมิการอบแห้ง ศึกษาลักษณะของโครงสร้างโฟมกล้วยที่มีรูพรุน (ได้แก่ ความหนาแน่น ความคงตัว และค่า Overrun) และลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ได้แก่ ความชื้น ค่าแอคติวิตีของน้ำ สี ความพรุน ความแข็ง ความกรอบ และพฤติกรรมทางประสาทสัมผัส) พบว่า กล้วยที่เหมาะสมในการผลิตควรเป็นกล้วยสุก ทำการผสมโปรตีนไข่ขาว น้ำ และเนื้อกล้วย ด้วยอัตราส่วน 10:75:100 (w/w) ตีให้ขึ้นโฟม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดจนกระทั่งมีความชื้น 30% d.b. (ค่าแอคติวิตีของน้ำประมาณ 0.3) ได้โฟมกล้วยที่มีลักษณะดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

คำสำคัญ โปรตีนไข่ขาว, กล้วย, ขนมขบเคี้ยว, รูพรุน, การเกิดโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Production of Banana-Based Snacks via Combined Process of Drying and Fabrication of High-Porosity Structure
Students	Mr. Kotchasak Traipiyawong
	Ms. Jutarat Yovaga
	Ms. Piraya Ruengrongratana
Project Advisor	Asst. Prof. Maturada Jinorose, Ph.D.
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2018

Abstract

Crispy, fat-free banana-based snacks were prepared by firstly fabricating a highly porous structure, which was then subject to drying. Effects of parameters related to the fabrication of porous structure (i.e., banana ripeness level, ratio of added water, foaming time and egg white powder, which was used as porous structure inducer) as well as the drying temperature were studied. Properties of banana porous foam structure (i.e., density, stability and overrun) and selected quality attributes of final product (i.e., moisture content, water activity, porosity, hardness, crispiness and sensorial behavior) were determined. Mixing egg white, water and banana at 10:75:100 (w/w) followed by drying at 90 °C until product moisture content reaches 30% d.b. (water activity ≈ 0.3) is noted as the most suitable preparation condition.

Keywords : Egg Albumin, Banana, Snack, Porosity, Foaming

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และชี้แนะให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงงานวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความกรุณา คอยอบรมสั่งสอนให้ความรู้ และคอยสนับสนุนผู้ทดลองในการทำโครงงานวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวอัญญนันท์ เสถียรกิจอำไพ ที่คอยให้คำปรึกษา ข้อแนะนำและความช่วยเหลือในการทำโครงงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คชศักดิ์ ไตรปิยะวงษ์
จุฑารัตน์ โยวะกา
พิรญาณ์ เรืองรองรัตนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูปภาพ VIII
สารบัญสัญลักษณ์ IX
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงาน 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 กล้วยน้ำว้า 4
2.1.1 คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้า 5
2.1.2 การสุกของกล้วย 6
2.1.3 ผลิตภัณฑ์จากกล้วยน้ำว้า 7
2.1.4 ตลาดกล้วยน้ำว้า 7
2.1.4.1 ตลาดกล้วยน้ำว้าภายในประเทศ 7
2.1.4.2 ตลาดกล้วยน้ำว้าส่งออกนอกประเทศ 8
2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว 9
2.2.1 ขนมขบเคี้ยว 9
2.2.2 ประเภทของขนมขบเคี้ยว 9
2.2.3 วิธีการแปรรูปขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบ 10
2.2.4 การเสื่อมเสียของขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบ 10
2.3 กระบวนการเกิดโฟม 10
2.3.1 โครงสร้างของโฟม 10
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟม 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3 สารก่อโฟม 12
2.4 การอบแห้ง 12
2.4.1 หลักการพื้นฐานการอบแห้ง 13
2.4.2 วัตถุประสงค์ของการอบแห้ง 14
2.4.3 ผลของการทำแห้งต่อคุณภาพอาหาร 14
2.4.4 ความชื้น 14
2.4.5 แอคติวิตีของน้ำ 14
2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของการอบแห้ง 15
2.5 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด 15
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 17
3.1 อุปกรณ์ 17
3.2 การศึกษาเบื้องต้น 17
3.2.1 การศึกษาชนิดของโปรตีนที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารก่อโฟม 17
3.2.2 การศึกษาระดับความสุกของกล้วยที่เหมาะสม 18
3.2.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อลักษณะคุณภาพของโฟม 18
3.2.4 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการตีโฟม 18
3.2.5 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง 18
3.3 การเตรียมโฟมกล้วย 18
3.4 การหาอัตราการทำแห้ง 19
3.5 การศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยก่อนอบแห้ง 19
3.5.1 การวัดความหนาแน่นของโฟม 19
3.5.2 การวัดค่าความคงตัวของโฟม 19
3.5.3 การวัดค่า Overrun 19
3.6 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ 20
3.6.1 การหาความชื้น 20
3.6.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส 20
3.6.3 การวัดค่าสี 20
3.6.4 การวิเคราะห์ความพรุน 21
3.6.5 การหาแอคติวิตีของน้ำ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 21
3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ 21

บทที่ 4 ผลการทดลอง 22
4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น 22
4.1.1 การศึกษาชนิดของโปรตีนที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารก่อโฟม 22
4.1.2 การศึกษาระดับความสุกของกล้วยที่เหมาะสม 23
4.1.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อลักษณะคุณภาพของโฟม 24
4.1.4 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการตีโฟม 24
4.1.5 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง 25
4.2 การศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยก่อนอบแห้ง 26
4.2.1 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวต่อลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วย 26
4.3 การศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยหลังอบแห้ง 26
4.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อความชื้นและค่าแอคติวิตีของน้ำ 26
4.3.2 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวและอุณหภูมิต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโฟมกล้วย 27
4.3.3 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวและอุณหภูมิต่อความพรุน 28
4.3.4 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวและอุณหภูมิต่อสีของโฟมกล้วยหลังอบแห้ง 29
4.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 31

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 32
5.1 สรุปผลการทดลอง 32
5.2 ข้อเสนอแนะ 33

เอกสารอ้างอิง 34

ภาคผนวก 37

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง 38

ภาคผนวก ข แบบประเมินผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้า 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1	เปรียบเทียบคุณค่าอาหารของกล้วยน้ำว้าดิบและกล้วยน้ำว้าสุกปริมาณ 100 กรัม	5
2.2	แสดงพื้นที่ให้ผลผลิตและผลผลิตของกล้วยน้ำว้า ปี พ.ศ. 2552-2557	8
4.1	ลักษณะความสุกของกล้วยที่ระดับต่าง ๆ	23
4.2	ลักษณะคุณภาพของโฟมโปรตีนไข่ขาว	24
4.3	คุณลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วย	26
4.4	ค่าแอคติวิตีของน้ำของโฟมกล้วย	27
4.5	ผลของโปรตีนไข่ขาวต่อความแข็งความกรอบของโฟมกล้วย	28
4.6	ผลของโปรตีนไข่ขาวต่อรูพรุนของโฟมกล้วย	29
4.7	ค่าสีของโฟมกล้วยหลังอบแห้ง	30
4.8	ความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (จำนวนผู้ทดสอบ 50 คน)	31
ก.1	ผลของปริมาณไข่ขาวต่อค่าความหนาแน่นโฟมกล้วย	39
ก.2	ผลของปริมาณไข่ขาวต่อความคงตัวโฟมกล้วย	39
ก.3	ผลของปริมาณไข่ขาวต่อค่า Overrun โฟมกล้วย	39
ก.4	ความชื้นของกล้วยน้ำว้าระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 °C ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อใช้ปริมาณไข่ขาว:น้ำ:กล้วย ด้วยอัตราส่วน 10:75:100 (w/w)	40
ก.5	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าแอคติวิตีของน้ำ	41
ก.6	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อพื้นที่รูพรุนทั้งหมด	41
ก.7	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อร้อยละพื้นที่รูพรุน	41
ก.8	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อขนาดรูพรุนเฉลี่ย	42
ก.9	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อความแข็ง	42
ก.10	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อความกรอบ	42
ก.11	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าความสว่าง (L^*)	43
ก.12	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าความเข้มของสี (C^*)	43
ก.13	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าเฉดสี (h)	43
ก.14	ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าความแตกต่างของสีก่อนและหลังอบ (ΔE^*)	44
ก.15	ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปัจจัย	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	กล้วยน้ำว้า	5
2.2	การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกต่าง ๆ	7
2.3	โครงสร้างของโฟม	11
2.4	การตกตะกอนของโปรตีน	11
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งและความชื้น	13
4.1	ก ลักษณะโฟมที่ได้จากการใช้โปรตีนไข่ขาวเป็นสารก่อโฟม ข ลักษณะโฟมที่ได้จากการใช้เวย์โปรตีนเป็นสารก่อโฟม ค ลักษณะโฟมที่ได้จากการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นสารก่อโฟม	22
4.2	การเปลี่ยนแปลงระดับความสุกของกล้วยในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์	23
4.3	ความชื้นของโฟมกล้วยที่อัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย คือ 10:75:100 (w/w) ระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 °C อบจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่	25
4.4	ความพรุนที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม ImageJ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญสัญลักษณ์

m มวลของโฟม (g)

v ปริมาตรของถ้วย (mL)

V_1 ปริมาตรของโฟมกล้วยเริ่มต้น (mL)

V_2 ปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกจากโฟมกล้วยในช่วง 180 min (mL)

x มวลต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสม (g/mL)

y มวลต่อหน่วยปริมาตรของโฟม (g/mL)

m_i มวลตัวอย่างก่อนอบ (g)

m_s มวลตัวอย่างหลังอบ (g)

L^* ค่าความสว่างของสี

a^* ค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง

b^* ค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปสีเหลือง

C^* ค่าความเข้มของสี

h ค่าเฉดสี

ΔL^* ค่าความแตกต่างของความสว่างของสี

ΔC^* ค่าความแตกต่างของความเข้มของสี

Δh ค่าความแตกต่างของค่าเฉดสี

ΔE^* ค่าความแตกต่างของสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงาน

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมีอัตราเติบโตสูงขึ้นโดยเฉพาะขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ มีการขยายตัวเฉลี่ยถึงร้อยละ 9.1 ต่อปี คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 3.8 ของตลาดอาหารสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ (ยงยุทธ, 2561) ทั้งนี้เนื่องจากผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการเลือกรับประทานอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น จึงเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติเป็นส่วนผสมหลัก โดยขนมขบเคี้ยวเป็นอาหารว่างที่ใช้รับประทานระหว่างมื้อ มีรูปแบบและรสชาติที่หลากหลาย ได้แก่ ขนมประเภทกรุบกรอบ ขนมประเภทปลาเส้น ถั่วชนิดต่าง ๆ เยลลี่ และลูกอม ได้รับความนิยมในการบริโภคในทุกเพศทุกวัย อีกทั้งยังมีการโฆษณาเป็นการสร้างแรงจูงใจให้ผู้บริโภคเลือกซื้อมารับประทาน (สุวรรณา, 2556) ทว่าในกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีหลายประเภท คนส่วนใหญ่นิยมรับประทานขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบมากกว่าขนมขบเคี้ยวประเภทอื่น ๆ (ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2559) แต่ขนมขบเคี้ยวประเภทนี้มักใช้วิธีการทอดด้วยน้ำมัน ซึ่งให้พลังงานแก่ร่างกายค่อนข้างสูง แต่มีคุณค่าทางโภชนาการน้อยเพราะอุดมไปด้วยแป้ง น้ำตาลและไขมัน โดยเฉพาะแป้งและน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นไขมันและสะสมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ทำให้ผู้บริโภคมีน้ำหนักเกินมาตรฐาน ส่งผลให้เกิดโรคอ้วนและเกิดโรคอื่น ๆ เช่น โรคความดันโลหิตสูง ไขมันในเส้นเลือดสูง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ (ปิยะฉัตร, 2550) ซึ่งร่างกายมีความต้องการสารอาหารอื่น ๆ ในการดำรงชีพ เช่น โปรตีน ซึ่งมีความสำคัญต่อการเสริมสร้างการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย รวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุ มีสมบัติเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระอันเป็นสาเหตุของความเสื่อมสภาพในร่างกาย (กรมอนามัย, 2548) ผู้บริโภคที่สนใจในสุขภาพจึงหันมาเลือกบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติ เช่น ผักและผลไม้ (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อุดมไปด้วยผักและผลไม้หลากหลายชนิด บางครั้งผลผลิตมีปริมาณมากจนกระทั่งนำไปจำหน่ายหรือแปรรูปไม่ทัน จึงเกิดปัญหาการล้นตลาด ทำให้มีราคาตกต่ำ นอกจากนี้ยังมีเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการตัดแต่งในอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ ซึ่งหากนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะช่วยลดปัญหาในการกำจัด เพิ่มมูลค่าและเพิ่มความหลากหลายในการเลือกบริโภคของผู้บริโภค เช่น การนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทต่าง ๆ อย่างขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบ ซึ่งแปรรูปได้จากหลากหลายวิธี เช่น การทอดด้วยน้ำมัน การผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ การพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้นด้วยลมร้อน การทอดด้วยสุญญากาศ การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ และการอบแห้งร่วมกับเทคนิคต่าง ๆ เป็นต้น จากการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Thuwapanichayanan และคณะ (2008) ศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งและคุณภาพการทำแห้งของกล้วยแบบโฟมแมท โดยการใช้โปรตีนไข่ขาวและกล้วยเป็นวัตถุดิบหลัก ทำการตีโฟมโปรตีนไข่ขาวผสมกับกล้วย นำมาเกลี่ยลงบนถาดแล้วอบแห้ง ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการทำแห้งแบบโฟมแมท เทคนิคนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการทำแห้งของอาหารให้เร็วขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของโฟมซึ่งมีรูพรุนจะทำให้พื้นที่ผิวในการระเหยของน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้น ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลงจึงช่วยลดการสูญเสียคุณภาพของอาหารโดยเฉพาะกลิ่นและรส การใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนแทนกระบวนการทอดในน้ำมันประยุกต์ร่วมกับการสร้างโครงสร้างเฉพาะ เช่น การขึ้นรูปโฟมเพื่อสร้างโครงสร้างรูพรุนสูง เพื่อสร้างเนื้อสัมผัสมีลักษณะกรอบ โดยลักษณะของโฟมที่พึงประสงค์ต้องมีความคงตัวดี ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมและความคงตัวจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารก่อโฟม(Thuwapanichayanan et al., 2008)

โครงงานนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากกล้วยด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง โดยเลือกใช้กล้วยน้ำว้า เนื่องจากกล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้พื้นเมืองที่มีปริมาณมาก หาซื้อได้โดยทั่วไปและมีราคาถูก ผสมกับสารก่อโฟมประเภทโปรตีน (ได้แก่ โปรตีนไข่ขาว โปรตีนถั่วเหลือง และเวย์โปร์ตีน) ซึ่งมีสมบัติช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดเป็นโฟม มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุนซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสเฉพาะ ทำการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นและค่าแอคติวิตีของน้ำที่เหมาะสม เนื้อสัมผัสมีลักษณะกรอบสามารถเก็บรักษาได้นาน ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต โดยทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุน (ได้แก่ ระดับความสุกของกล้วย อัตราส่วนของน้ำ เวลาในการตีโฟม และโปรตีนไข่ขาว ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นสารก่อโฟม) รวมทั้งอิทธิพลของอุณหภูมิการอบแห้ง ศึกษาลักษณะของโครงสร้างโฟมกล้วยที่มีรูพรุน (ได้แก่ ความหนาแน่น ความคงตัว และค่า Overrun) และลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ได้แก่ ความชื้น ค่าแอคติวิตีของน้ำ สี ความพรุน ความแข็ง ความกรอบ และพฤติกรรมทางประสาทสัมผัส) เป็นการลดปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต ช่วยเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วยที่มีอยู่ในท้องตลาด

1.2 วัตถุประสงค์ของงาน

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวกรุบกรอบปราศจากไขมันจากผลไม้ เพื่อเป็นทางเลือกของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษากระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบปราศจากไขมันจากกล้วยน้ำว้าสร้างเนื้อสัมผัสด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูงโดยใช้โปรตีนเป็นสารก่อโฟม
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะการเกิดโฟม ได้แก่ ระดับความสุกของกล้วย ชนิดของสารก่อโฟม อัตราส่วนของน้ำ เวลาในการตีโฟม และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง
3. ศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิการอบแห้ง 50, 70 และ 90 °C
4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของโฟม ได้แก่ ความหนาแน่น ความคงตัว ค่า Overrun และลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ได้แก่ ความชื้น ค่าแอคติวิตีของน้ำ สี ความพรุน เนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำผลไม้ที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้มาเพิ่มมูลค่าด้วยการพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพช่วยแก้ปัญหาเศษผลไม้เหลือทิ้งจากการตัดแต่งในอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ โดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบจากธรรมชาติและปราศจากไขมัน
2. เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบ โดยใช้เทคนิคการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง ช่วยลดปัญหาโภชนาการและโรคอ้วนในผู้บริโภคและเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้าเป็นไม้ล้มลุกในสกุล Musa (*Musa sapientum* Linn.) วงศ์ Musacea (เบญจมาศ, 2545) กล้วยน้ำว้าเกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ของกล้วยป่า 2 ชนิด ได้แก่ กล้วยป่า (Musa acuminate) และ กล้วยตานี (Musa balbisiana) มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากสามารถทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีกว่ากล้วยพันธุ์อื่น ๆ การดูแลรักษาง่าย ปลูกง่าย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (ดวงแก้ว, 2544) ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น วิตามิน น้ำตาล กากใยอาหาร มีส่วนช่วยในการเสริมสร้างพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพภูมิคุ้มกันของร่างกาย (สุนทรีย์, 2543) สามารถรับประทานได้ทุกเพศทุกวัย กล้วยน้ำว้าถือว่ามีคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดเมื่อเทียบกับกล้วยสายพันธุ์อื่น ๆ และมีโพแทสเซียมสูงช่วยลดความดันโลหิตสูงได้ (เบญจมาศ, 2538) อีกทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และนิยมปลูกไว้ในทุกครัวเรือนเพื่อการรับประทานผลสุกและแปรรูปผลดิบ รวมถึงการนำส่วนต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ เช่น ใบตองใช้สำหรับห่ออาหารหรือประกอบอาหาร , ปลีกล้วย และหยวกกล้วยสำหรับนำมาปรุงอาหาร เป็นต้น และพันธุ์กล้วยน้ำว้าที่พบในไทย ได้แก่ กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าค่อม กล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าขาว กล้วยน้ำว้านวล (พืชเกษตร, 2557)

1) ลำต้น อยู่ใต้ดิน เรียกว่า หัว หรือ เหง้า (Rhizome) ที่หัวมีตา (Bud) ซึ่งจะเจริญเป็นต้นเกิดหน่อ (Sucker) หลายหน่อ เรียกว่า การแตกกอ โดยหน่อที่เกิดหรือต้นที่เห็นอยู่เหนือดิน เรียกว่า ลำต้นเทียม (Pseudostem) มีความสูง 2.5–4 เมตร ลำต้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร กาบลำต้นเทียมด้านนอกสีเขียวอ่อนมีประดาอยู่ทั่วไป ด้านในมีสีเขียวอ่อนกว่า (ดวงแก้ว, 2544)

2) ดอก มีลักษณะเป็นช่อ (Inflorescence) ในช่อดอกยังมีกลุ่มของช่อดอกยอยเป็นกลุ่มๆ ดอกกล้วยจะแทงออกที่ปลายยอด มีลักษณะเป็นช่อห้อยลง เรียกว่า เครือกล้วย และเครือกล้วยประกอบด้วยใบประดับสีแดงอมม่วงหุ้มดอกไว้ เรียกว่า ปลีกล้วย (ดวงแก้ว, 2544)

3) ผล เกิดจากดอกเพศเมีย ส่วนดอกที่อยู่ด้านในจะมีหลายดอกย่อยเรียงซ้อนกันเป็นแผง เรียกว่า หวี โดยทั่วไปกล้วยน้ำว้า 1 เครือ จะมีหวีกล้วยประมาณ 7-12 หวี แต่ละหวีมีผลกล้วยประมาณ 10-16 ผล แต่ละหวีมีผลกล้วยประมาณ 10-16 ผล และมีขนาดผลกว้าง 3–4 เซนติเมตร ยาว 11–13 เซนติเมตร มีเหลี่ยม เมื่อดิบเปลือกผลมีสีเขียวและผลสุกมีสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อสีเหลืองอมขาว มีรสหวาน (ดวงแก้ว, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ใบ ใบกล้วยเป็นส่วนที่ถัดจากกาบกล้วย ประกอบด้วยส่วนก้านใบมีความยาวประมาณ 0.5-1 เมตร และใบตองมีความยาว 1.5-2 เมตร โดยใบตองที่เป็นยอดอ่อนจะมีสีเขียวอ่อน ตั้งตรง และเมื่อแก่จะมีสีเขียวสด ก้านใบโน้มลงด้านล่าง (ดวงแก้ว, 2544)

รูปที่ 2.1 กล้วยน้ำว้า

2.1.1 คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้ามีรสชาติดี คุณค่าอาหารของกล้วยผลดิบและสุกแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ปริมาณวิตามินของผลกล้วยสุกลดลงมาประมาณครึ่งหนึ่งของผลกล้วยผลดิบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณค่าอาหารของกล้วยน้ำว้าดิบและกล้วยน้ำว้าสุกปริมาณ 100 กรัม

สารอาหาร	กล้วยน้ำว้าดิบ	กล้วยน้ำว้าสุก
ความชื้น (%)	69.0	71.6
พลังงาน (แคลอรี)	110.0	100.0
ไขมัน (กรัม)	0.2	0.3
คาร์โบไฮเดรท (กรัม)	28.7	26.1
โปรตีน (กรัม)	1.4	1.2
แคลเซียม (กรัม)	8.0	12.0
ฟอสฟอรัส (กรัม)	35.0	32.0
เหล็ก (กรัม)	0.9	0.8
วิตามินเอ (กรัม)	483.0	375.0
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.04	0.03
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.02	0.04
ไนอาซีน (มิลลิกรัม)	0.6	0.6
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	31	14.0

ที่มา: Salunkhe and Desai (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยสุกมักจะมีรสหวานเป็นอาหารที่ย่อยง่าย กล้วยจึงเหมาะสมที่จะเป็นอาหารของทารกหรือผู้ที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับลำไส้ เป็นอาหารที่มีคุณค่าสูงแต่มีไขมัน คอเรสเตอรอลและเกลือแร่ต่ำ จึงเหมาะเป็นอาหารของคนที่ลดความอ้วน มีโพแทสเซียมอยู่ค่อนข้างสูงจึงช่วยลดความดันโลหิตสูงได้ มีไขมันต่ำและมีพลังงานสูงจึงเป็นอาหารที่เหมาะกับคนชรา รวมถึงผู้เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหารและเด็กที่ท้องเสียบ่อย ๆ (เบญจมาศ, 2538)

2.1.2 การสุกของกล้วย

การสุก (Ripening) เป็นกระบวนการที่ผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างภายในผล เช่น ผลจะอ่อนนุ่ม เกิดกลิ่นตามชนิดของผลไม้นั้น รสชาติหวานขึ้นเนื่องจากมีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ปริมาณกรดลดลง ผิวเปลี่ยนสีเป็นสีแดงเหลืองหรือสีอื่น ๆ ตามชนิดของผลไม้ การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ต้องใช้พลังงานอย่างมาก ซึ่งพลังงานนี้จะได้มาจากการหายใจที่เกิดขึ้นภายในผล จะเปลี่ยนสภาพจากผลดิบกลายเป็นผลสุกภายในเวลาไม่กี่วัน ในช่วงที่ผลสุกนี้จะมีการหายใจสูงมากจึงเรียกผลไม้เหล่านี้ว่า Climacteric fruit และยังพบว่าในช่วงนี้จะมีเอทิลีนสร้างขึ้นภายในผลเป็นจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นอัตราการหายใจและปริมาณเอทิลีนจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เมื่อปริมาณเอทิลีนสูงจะเร่งให้มีการหายใจมากขึ้น ซึ่งจะเร่งให้มีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่จำเป็นอย่างมากต่อการสุกของผลไม้ จึงอาจเรียกเอทิลีนได้ว่าเป็นฮอร์โมนเร่งการสุก (Ripening hormone) ดังนั้นปัจจัยใด ๆ ก็ตามที่มีผลเร่งการสร้างเอทิลีน ก็จะเร่งการสุกของผลเช่นกัน และในทางตรงกันข้าม ปัจจัยใดที่มีผลยับยั้งการสร้างเอทิลีนหรือมีผลทำลายเอทิลีน ก็จะชะลอการสุกของผลได้ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2557)

การสุกของผลกล้วย มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วย ขณะที่ระยะกล้วยดิบ เกิดการสังเคราะห์เอทิลีนน้อยมาก กล้วยดิบมีเปลือกสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อกล้วยสุก โดยเปลือกจะเริ่มเปลี่ยนสีหลังจากช่วง Climacteric peak เป็นสีเหลืองเต็มที่ภายใน 3-7 วันที่อุณหภูมิปกติ ในเปลือกกล้วยดิบประกอบไปด้วยคลอโรฟิลด์ 50-100 ไมโครกรัมต่อกรัม แซนโทฟิลด์ 5-7 ไมโครกรัมต่อกรัม และแคโรทีน 1.5-3.5 ไมโครกรัมต่อกรัม (ของน้ำหนักกล้วยสด) ในระหว่างการสุกของกล้วยคลอโรฟิลด์จะสลายตัวเหลือแต่เม็ดสีเหลือง (Sithisoonthorn et al., 1989) เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ และการสังเคราะห์น้ำตาล ก๊าซเอทิลีน และมีอัตราการหายใจที่เปลี่ยนไป นอกจากนั้นยังเกิดจากการที่แป้งเริ่มเปลี่ยนเป็นน้ำตาล และเกิดการสูญเสียน้ำออกไปจากผลกล้วย (เบญจมาศ, 2545) กรดที่พบมากในกล้วยคือกรดมาลิก และยังมีกรดออกซาลิกและกรดซิตริก กรดมาลิกจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในระหว่างการสุก ในขณะเดียวกันจะเกิดปฏิกิริยา Decarboxylation ของสารประกอบพวกออกซาเลต อีกทั้งยังเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของแทนนิน ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนที่เกิดขึ้นนี้มีผลทำให้ความฝาดของกล้วยลดลงเมื่อกล้วยสุก สารประกอบฟีนอลลิกที่พบในกล้วย คือ Dopamine ซึ่งพบในส่วนของเปลือกมีประมาณ 700 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเนื้อมีประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดย Dopamine เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Enzymatic browning ที่ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลในระหว่างการสุกของกล้วยจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นของแทนนินทำให้ความฝาดของกล้วยลดลง (Kotecha and Desai, 1995)

วันที่ 1 วันที่ 2 วันที่ 3 วันที่ 4 วันที่ 5 วันที่ 6 วันที่ 7

รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยที่ระดับความสุกต่าง ๆ

2.1.3 ผลิตภัณฑ์จากกล้วยน้ำว้า

การแปรรูปกล้วยน้ำว้าเป็นกระบวนการถนอมอาหาร ซึ่งในปัจจุบันการแปรรูปเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วยน้ำว้าสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น กวน อบ นึ่ง เป็นต้น การแปรรูปกล้วยน้ำว้าให้ได้คุณภาพและรสชาติที่ดีของผลิตภัณฑ์ ควรคัดเลือกกล้วยน้ำว้าให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ ซึ่งกล้วยน้ำว้าในประเทศไทย จำแนกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ 1. กล้วยน้ำว้าไส้ขาวหรือกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง เหมาะที่จะทำกล้วยตาก จะได้กล้วยตากสีเหลืองสวย ไม่ดำคล้ำ ทำกล้วยแผ่นอบ ได้สีเหลืองที่สวยพอดี 2. กล้วยน้ำว้าไส้เหลือง เหมาะสำหรับการกินผลสด ทำกล้วยเชื่อม กล้วยทอด กล้วยบวชชี เป็นกลุ่มกล้วยที่เหมาะสำหรับการแปรรูป ทำขนม ใช้งานได้หลากหลาย 3. กล้วยน้ำว้าไส้แดง ไส้ค่อนข้างแข็งมีความฝาด เหมาะสำหรับทำกล้วยเชื่อม หรือทำไส้ข้าวต้มมัด ไส้จะไม่เละ กล้วยกลุ่มไส้แดงนี้ ไม่เหมาะที่จะนำไปทำกล้วยตาก เพราะกล้วยจะคล้ำดำ สีไม่สวย (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

2.1.4 ตลาดกล้วยน้ำว้า

2.1.4.1 ตลาดกล้วยน้ำว้าภายในประเทศ

โดยแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของกล้วยน้ำว้า ได้แก่

- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดเลย นครราชสีมา
- ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี อ่างทอง นนทบุรี ประจวบคีรีขันธ์
- ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดอุตรดิตถ์ นครสวรรค์ พิษณุโลก พิจิตร เชียงใหม่ สุโขทัย แม่ฮ่องสอน
- ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสงขลา

สถานการณ์การการผลิตกล้วยน้ำว้า ปี พ.ศ. 2552-2557 ประเทศไทยมีพื้นที่ให้ผลผลิตกล้วยน้ำว้าอยู่ระหว่าง 82,265-201,096 ไร่ ผลผลิตอยู่ระหว่าง 156,367-1,150,397 ตัน ในปี พ.ศ. 2557 พื้นที่ให้ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 173,435 ไร่ ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 1,150,397 ตัน เมื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับปี พ.ศ. 2556 พบว่า พื้นที่ให้ผลผลิตกล้วยน้ำว้าลดลงร้อยละ 85.20 และผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 53.72 (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

ตารางที่ 2.2 แสดงพื้นที่ให้ผลผลิตและผลผลิตของกล้วยน้ำว้า ปี พ.ศ. 2552-2557

ปี	กล้วยน้ำว้า	
	พื้นที่ให้ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
2552	82,265	156,367
2553	201,096	789,629
2554	192,711	770,005
2555	177,867	712,568
2556	195,944	773,964
2557	173,435	1,150,397

(ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2559)

กล้วยที่ปลูกได้ส่วนใหญ่จะใช้บริโภคภายในประเทศ ทั้งการบริโภคสดในลักษณะของผลไม้ และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากกล้วยชนิดต่าง ๆ โดยการแปรรูปมักอยู่ในลักษณะของสินค้า OTOP ประจำท้องถิ่น ผลิตขายในรูปของของฝาก หรือซื้อไปทานเล่น เช่น กล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยอบ เป็นต้น (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

2.1.4.2 ตลาดกล้วยน้ำว้าส่งออกนอกประเทศ

การค้ากล้วยในตลาดโลกมีประมาณ 8.8 ล้านตัน มูลค่าเฉลี่ยปีละไม่ต่ำกว่า 5,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐอเมริกา ประเทศส่งออกกล้วยรายใหญ่ของโลก ได้แก่ ประเทศเอกวาดอร์ เบลเยียม คอสตาริกา โคลัมเบีย เยอรมนี และฟิลิปปินส์ สำหรับประเทศไทยกล้วยที่ปลูกได้ส่วนใหญ่จะใช้บริโภคภายในประเทศ ส่วนการส่งออกกล้วยและผลิตภัณฑ์จากกล้วยยังมีมูลค่าไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ๆ ปัจจุบันจึงมี การส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกล้วยเพื่อการส่งออกมากขึ้น โดยกล้วยและผลิตภัณฑ์จากกล้วยเพื่อการส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย (อภิชาติ และพัชรี, 2559) มีดังนี้

1. กล้วยน้ำว้าแช่เย็น มีอัตราการส่งออกมากที่สุดรองจากกล้วยหอม ตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ ประเทศจีน และฮ่องกง อิตาลี สหรัฐอเมริกา และมาเลเซีย

2. ผลิตภัณฑ์จากกล้วย มีการส่งออกหลายประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กล้วยแปรรูปอย่างง่าย เช่น กล้วยอบแห้ง กล้วยฉาบน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งมีการควบคุมคุณภาพและความสะอาดในการผลิตเป็นอย่างดี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐาน ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา จีน และญี่ปุ่น

- กล้วยแปรรูปบรรจุกระป๋อง นำกล้วยน้ำว้ามาปอกเปลือก ฝานบาง ๆ แล้วแช่ลงในน้ำเชื่อม นำไปบรรจุกระป๋อง โดยในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยสามารถส่งออกกล้วยแปรรูปบรรจุกระป๋องได้ทั้งหมด 87.4 ตัน มูลค่า 3.9 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา และฝรั่งเศส

การส่งออกสินค้าไปจำหน่ายต่างประเทศนั้น ผลิตภัณฑ์ต้องได้รับมาตรฐานรองรับจากสถาบันที่สำคัญ รวมทั้ง มาตรฐานฮาลาล เพื่อให้มีโอกาสทางการตลาดเพิ่มขึ้นในการส่งสินค้าไปขายยังประเทศมุสลิม มาตรฐานจากสถาบันต่าง ๆ นั้น จะมีตรารับรองคุณภาพสินค้าและ มีการควบคุมคุณภาพ ซึ่งมีการตรวจสอบสถานที่ กระบวนการผลิตต้องสะอาด ปลอดภัย ไม่มีฝุ่นละอองหรือแมลงตอม และต้องรักษามาตรฐานการผลิต และผลิตภัณฑ์ให้คงคุณภาพตลอด (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

2.2.1 ขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยว (Snack) หรือ ของขบเคี้ยว เป็นอาหารว่างที่รับประทานระหว่างมื้อในยามพักผ่อนหรือยามว่าง มีชิ้นขนาดเล็ก นำมาปรุงรสแล้วผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการอบ การทอด ทำให้มีมีรูปแบบและรสชาติที่หลากหลาย ให้พลังงานและคุณค่าทางอาหารแก่ร่างกายน้อย เพราะอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลและไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้ขาดสารอาหารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะขนมที่ผ่านการทอดในน้ำมันทำให้ผู้บริโภคได้รับไขมัน ดังนั้นการบริโภคผลิตภัณฑ์เหล่านี้มากเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาทางโภชนาการได้ และทำให้เกิดโรคอ้วน ซึ่งร่างกายมีความต้องการสารอาหารอื่น ๆ โดยเฉพาะโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต รวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุ (กรมอนามัย, 2548)

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว โดยเฉพาะความกรอบเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้บริโภคใช้เป็นเกณฑ์หลักเพื่อพิจารณาตัดสินการยอมรับ และมีผลอย่างยิ่งต่อความชอบและความกรอบของขนมขบเคี้ยวมีความสัมพันธ์กับความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งความกรอบจะลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น หรือมีการสัมผัสกับความชื้น

2.2.2 ประเภทของขนมขบเคี้ยว (สำนักงานเลขานุการกรมอนามัย, 2561)

1. ขนมประเภทกรุบกรอบ มีชนิดและรูปแบบที่หลากหลาย ทั้งแบบชิ้น แบบแผ่น แบบแท่ง บางชนิดนำไปทอดในน้ำมันเพื่อให้พอง น่ารับประทาน ได้แก่ ข้าวเกรียบ, มันฝรั่งทอด

2. ขนมประเภทปลาเส้นและถั่วชนิดต่าง ๆ

3. เยลลี่ มีส่วนประกอบที่สกัดมาจากพืชหรือสาหร่าย มีคุณสมบัติในการเกิดเป็นวุ้นหรือเจล

4. ลูกอม ส่วนประกอบหลักของลูกอม คือ น้ำตาล มีอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธีการแปรรูปขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบ (Raikham et al, 2013)

1. การทอดเป็นกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนอาศัยการส่งผ่านความร้อนจากตัวกลางก็คือน้ำมัน ให้ความร้อนไปยังอาหารอย่างรวดเร็ว ซึ่งอุณหภูมิของน้ำมันที่สูง จะทำให้น้ำที่อยู่ภายในอาหารเดือด และระเหยจากภายในออกสู่ภายนอก ทำให้ความชื้นของอาหารลดลง ส่งผลให้เนื้อสัมผัสที่ผิวหน้าแห้งกรอบ

2. กระบวนการ Extrusion ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวด้วยความร้อนจากขดลวด และความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียว เมื่อแป้งเหลวเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศความดันจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวระเหยออกมาอย่างรวดเร็วและดันก้อนแป้งให้พองตัว ทำให้เกิดรูพรุนกระจายทั่ว และเมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้

3. การพัฟฟิงโดยใช้ไมโครเวฟ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทรกเข้าสู่เนื้ออาหาร ทำให้โมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการสั่นสะเทือน โมเลกุลชนกันเกิดความร้อนขึ้นทำให้น้ำเดือด และระเหยกลายเป็นไอน้ำ ทำให้โครงสร้างผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวและมีความพรุน ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้น การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว

4. การพัฟฟิงที่อุณหภูมิระยะเวลาสั้น ทำให้วัสดุเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว

2.2.4 การเสื่อมเสียของขนมขบเคี้ยวประเภทกรุบกรอบ (Paradis, 1993)

1. การเสื่อมเสียเนื่องจากเกิดการหืน (Rancidity) ขนมขบเคี้ยวที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหรือน้ำมันที่มาจากการทอด จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน ทำให้เกิดกลิ่นหืน อัตราการหืนของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับชนิดของไขมัน น้ำมัน และปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

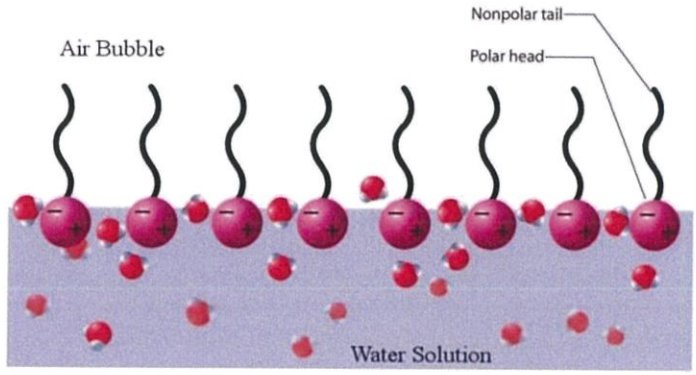
2. การเสื่อมเสียเนื่องจากสูญเสียความกรอบ ความกรอบถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของขนมขบเคี้ยว ความกรอบลดลงเนื่องจากมีการดูดซับน้ำหรือความชื้น (Adsorption)

2.3 กระบวนการเกิดโฟม

2.3.1 โครงสร้างของโฟม

กระบวนการเกิดโฟมของโปรตีน เกิดจากการใช้แรงกลตีหรือปั่น ทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ (Protein denaturation) และเกิดการคลายตัว (Unfolding) ของโครงสร้างโปรตีน เกิดเป็นโฟมโปรตีน ซึ่งโฟมเป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว หรือของแข็ง โดยมีโครสร้างเป็นฟิล์มบาง ๆ สามารถคงตัวกักเก็บอากาศไว้ภายในได้ โดยลักษณะของชั้นฟิล์มเกิดจากโปรตีน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกรดแอมิโน (Amino acid) ในโมเลกุลของกรดแอมิโน มีหมู่ฟังก์ชั่น R ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ หากพิจารณาชั้นฟิล์ม พบว่าด้านที่ไม่ชอบน้ำจะสัมผัสกับอากาศ ส่วนด้านที่ชอบน้ำจะรวมตัวกับน้ำ

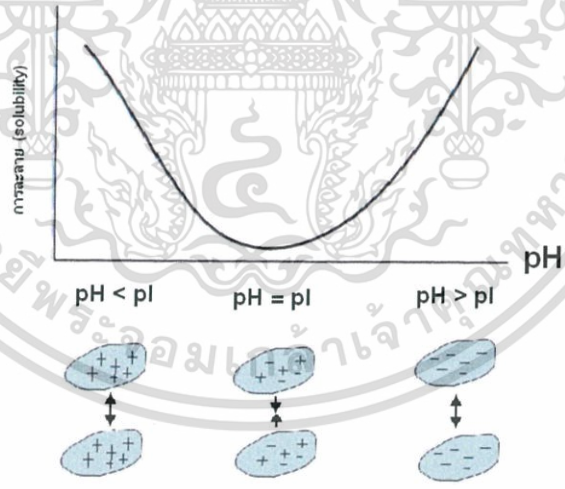
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของโฟม (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2561)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟม

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมจากโปรตีน ได้แก่ ความสามารถในการละลายของโปรตีน ความเข้มข้นของโปรตีน โดยโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ และมีความเข้มข้นสูง ๆ จะเกิดโฟมได้ดี และค่า pH ที่ทำให้เกิดโฟมที่ดีจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า pI ของโปรตีนโฟม จะอยู่ตัวดีที่สุดที่จุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2561)



รูปที่ 2.4 การตกตะกอนของโปรตีน (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สารก่อโฟม

สารก่อโฟม หรือสารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent) ได้แก่ โปรตีนในไข่ขาว น้ำนม โปรตีนจากถั่วเหลือง มีคุณสมบัติทำให้เกิดโฟม การทำให้อาหารเป็นโฟมก่อนคือ เพิ่มอัตราการทำแห้งของอาหารให้เร็วขึ้น เพราะโครงสร้าง ของโฟมซึ่งมีรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้นอาหารสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาสั้น ช่วยลดการสูญเสียคุณภาพอาหาร โดยเฉพาะกลิ่นและรส โดยสารก่อโฟมที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ โปรตีนไข่ขาวผง (Egg albumin) ซึ่งเป็นไข่ขาวที่ถูกสกัดให้อยู่ในรูปผงไข่เป็นแหล่งโปรตีนสำคัญต่อร่างกาย โดยเฉพาะไข่ขาว ที่ให้โปรตีนคุณภาพสูง ปราศจากไขมัน และคลอเรสเตอรอล เหมาะแก่การสร้างกล้ามเนื้อ สร้างเกล็ดเลือด และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ไข่ขาวผงเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไข่ขาวเพื่อการถนอมอาหารด้วยการทำแห้งเพื่อลดความชื้นและค่าแอคติวิตีของน้ำ (water activity) ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษา สะดวกในการใช้งาน และเพิ่มมูลค่าให้กับไข่ ใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ มีกรรมวิธีการผลิตเริ่มจากการคัดคุณภาพการส่องไข่เพื่อคัดไข่ที่มีคุณภาพดีไม่มีรอยแตกร้าว แล้วนำมาล้างเปลือกไข่ให้สะอาด อาจมีการผสมสารฆ่าเชื้อ เช่น คลอรีน ในน้ำล้าง จากนั้นจึงส่องไข่เพื่อตรวจสอบคุณภาพภาพใน เฉพาะไข่ที่คุณภาพดีจะถูกต่อยเปลือกไข่ออก หากต้องการแปรรูปเป็นไข่ขาวผงหรือไข่แดงผงก็จะมีขั้นตอนการแยกไข่ขาวและไข่แดงออกจากกัน จากนั้นจะทำการพาสเจอร์ไรซ์ไข่เหลว เป็นการใช้ความร้อน เพื่อทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคในไข่ เช่น *Salmonella* ความร้อนต้องไม่สูงเกินที่จะทำให้โปรตีนในไข่สูญเสียสภาพธรรมชาติและจับตัวเป็นก้อน จากนั้นจึงนำมากรองเพื่อแยกตะกอนส่วนของไข่ที่เป็นชิ้น และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ผงไข่ขาวที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2561)

2.4 การอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) เป็นกระบวนการแปรสภาพของเหลว ของเหลวกึ่งแข็ง หรือแม้กระทั่งของแข็งให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของของแข็งโดยการระเหยเอาของเหลวส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดออกไป โดยมีการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัว (Shrinkage) การพองตัว (Puffing) การหลอมเหลว (Melting) การตกผลึก (Crystallization) หรือ การเปลี่ยนแปลงสีผลิตภัณฑ์ (Color) เป็นต้น กระบวนการอบแห้งมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ การเปลี่ยนวัฏภาคของของเหลวในวัสดุและการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นของแข็งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ (สักกมน, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

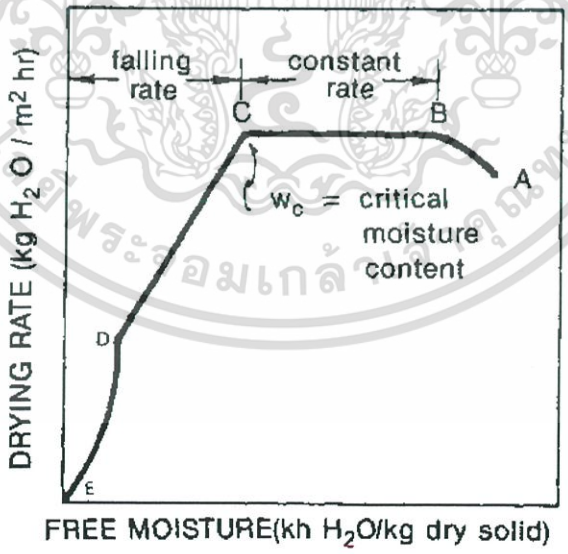
2.4.1 หลักการพื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้ง มีอัตราการทำแห้ง 3 ช่วง (นิธิยา, 2553) ดังนี้

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period -AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (Constant rate)

2. ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant rate period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Critical moisture content)

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อย ๆ อัตราการอบแห้งจะลดลงความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งและความชื้น (Semple et al., 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วัตถุประสงค์ของการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนแปรรูปวัตถุดิบ โดยการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิดที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเสื่อมเสีย รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเน่าเสีย และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร เพื่อสะดวกต่อการขนส่งและลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (สักกมน, 2555)

2.4.3 ผลของการทำแห้งต่อคุณภาพอาหาร (สมบัติ, 2529)

1. ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) ลักษณะของอาหารที่ผ่านการอบแห้งจะแข็ง กรอบ หยาบ หรือเหนียว และไม่สามารถคืนตัวได้สมบูรณ์

2. กลิ่นและรส (Flavor and Aroma) ในขณะการทำแห้งมีการสูญเสียกลิ่นและรส ระเหยไปพร้อมกับน้ำในอาหาร ซึ่งการสูญเสียขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันไอของสารระเหย

3. สี (Color) การเปลี่ยนแปลงสีเกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การทำแห้งที่ใช้เวลานานและอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

4. คุณค่าทางอาหาร โปรตีนในอาหารส่วนใหญ่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่วิตามินที่ละลายน้ำได้มีการสูญเสียเพียงเล็กน้อย

2.4.4 ความชื้น

ความชื้น เป็นค่าที่บงชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพอาหาร ความปลอดภัยทางอาหาร รวมทั้งยังส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ เนื่องจากอาหารที่มีปริมาณน้ำสูงมีความเสี่ยงในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค สร้างสารพิษ และการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid oxidation) เป็นต้น โดยความชื้นที่มักใช้นารวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งหรืองานวิจัย คือ ความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารที่ใช้ในการคำนวณความชื้นมีค่าคงที่ตลอดช่วงการอบแห้ง (สักกมน, 2555)

2.4.5 แอคติวิตีของน้ำ

แอคติวิตีของน้ำ (Water activity) หรือ ปริมาณน้ำอิสระ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต สร้างสปอร์ และสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ได้ อาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็งจะมีค่าแอคติวิตีของน้ำ มีค่า 0.85 - 1.0 เรียกว่า อาหารสด (Fresh food) เน่าเสียง่าย เช่น เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ อาหารทะเล อาหารที่มีความชื้นต่ำลงหรือปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง แอคติวิตีของน้ำ มีค่า 0.6-0.85 เรียกว่า อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) เช่น นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม กุ้งปรุงรส โดยจุลินทรีย์จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอาหารได้เมื่อแอคติวิตีของน้ำมีค่าสูงกว่า 0.6 และอาหารแห้ง (Dried food) หมายถึงอาหารที่มีค่าแอคติวิตีของน้ำน้อยกว่า 0.6 เช่น นมผง ผักผลไม้อบแห้ง กุ้งแห้ง น้ำผลไม้ผง หมูหยอง เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2561)

2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของการอบแห้ง (สักกมน, 2555)

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (Porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2. ขนาด รูปร่างปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นหากอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3. ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมาก ๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

4. อุณหภูมิ ที่ใช้ในการอบแห้งควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่ต่ำและไม่สูงเกินไป เนื่องจากถ้ามีการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปอาจส่งผลต่อคุณค่าทางอาหารและการเสื่อมเสียคุณภาพ เช่น การเกิดสีน้ำตาลหรือเกิดรอยไหม้ ทำให้มีรสขม อาหารที่ได้จึงไม่เหมาะแก่การบริโภค

5. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) ของอากาศ เป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

6. ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำ ๆ ลงมา น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

7. ความเร็วลม ในขณะการทำแห้งอาหารภายในเตาอบ หากมีความเร็วลมของพัดลมที่เหมาะสม ทำให้น้ำและไอน้ำเคลื่อนมาที่ผิวอาหาร สามารถระเหยออกจากผิวอาหารได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.5 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer)

ในการอบแห้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นชิ้น เป็นก้อน หรือเป็นแท่ง ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้โดยทั่วไปของอาหารและวัสดุชีวภาพนั้น นิยมใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer) มากที่สุด เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดนี้อาจมีลักษณะเป็นตู้ซึ่งภายในจัดเรียงเป็นชั้นสำหรับใส่ถาดบรรจุวัสดุที่ต้องการอบแห้ง ภายในห้องอบแห้งจะมีการติดตั้งพัดลมเพื่อหมุนเวียนตัวกลางการอบแห้ง (นิยมใช้อากาศร้อนมากที่สุด) เพื่อให้วัสดุได้รับพลังงานความร้อนอย่างทั่วถึง โดยทั่วไปมักกำหนดให้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของตัวกลางการอบแห้ง ณ บริเวณเหนือถาดใส่วัสดุในช่วง 0.5-1.5 เมตรต่อวินาที เพื่อให้มั่นใจว่าความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวกลางการอบแห้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในห้องอบแห้งนั้นไม่มากจนเกินไป (ไม่ควรเกิน 5-7 องศาเซลเซียส) จุดเด่นของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดคือความสามารถในการอบแห้งวัสดุได้หลากหลาย สามารถทำการอบแห้งวัสดุที่มีรูปร่าง ขนาด หรือพฤติกรรมการอบแห้งที่แตกต่างกันได้มาก ทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดนี้ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งวัสดุ สามารถใช้ได้ทั้งกับวัสดุที่ต้องใช้เวลานาน หรือใช้เวลาสั้นในการอบแห้ง สามารถปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงานได้ง่าย และวัสดุไม่ต้องมีการเคลื่อนที่ในขณะทำการอบแห้ง (สักกมน, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Pavilion Gaming 15-CX0124TX, HP, China)
2. เครื่องผสมอาหาร (Food mixer: Kitchen Aid, Model KSM90, USA)
3. เครื่องปั่น (Blender MX-898N, Panasonic, Thailand)
4. มาตรวัดดัชนีหักเห (Refractometer) (HR-130, Optika, Italy)
5. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier caliper) (Winston japan standard, Japan)
6. Pycnometers bottom ขนาด 10.02 mL (Marienfeld, Germany)
7. เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (UF30, Memmert GmbH + Co.KG, Germany)
8. เครื่องวัดความเร็วรอบแบบดิจิตอล (Digital Tachometer) (HT-522, XINTEST, China)
9. เครื่องวัดแอคติวิตีของน้ำ (Water Activity Meter) (3TE, Aqualab, Washington)
10. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyser (TA. XT.Plus, Stable Micro System, Surrey, UK)
11. เครื่องวัดสีมาตรฐานระบบ Colorimetric Spectrophotometer (ColorFlex EZ, Hunter Associated Laboratory, USA)
12. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato. Japan)
13. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลทศนิยม 3 ตำแหน่ง (WT3203N, WANT, China)
14. เครื่องกราดภาพ (Scanner) (V370 Photo, Epson, Indonesia)
15. โปรแกรม ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, USA) (https://imagej.th.softonic.com/download)
16. โปรแกรม Microsoft Excel 365 (Microsoft, USA)

3.2 การศึกษาเบื้องต้น

3.2.1 การศึกษาชนิดของโปรตีนที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารก่อโฟม

ศึกษาการขึ้นโฟมของโปรตีนธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีนไข่ขาว เวย์โปรตีน และโปรตีนถั่วเหลือง โดยใช้ในปริมาณอย่างละ 10 g ตีผสมกับกล้วยน้ำว้าที่มีระดับความสุกที่ 28 ± 1 °Brix ปริมาณ 100 g ปั่นละเอียดด้วยเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid, Model KSM90, USA) ด้วยความเร็วรอบสูงสุด 260 rpm เพื่อศึกษาลักษณะการขึ้นโฟมของโปรตีนทั้ง 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การศึกษาระดับความสุกของกล้วยที่เหมาะสม

ศึกษาระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า (*Musa Sapientum* Linn.) เพื่อเลือกกล้วยน้ำว้าที่มีระดับความสุกที่เหมาะสม และส่งผลต่อการเกิดโฟมได้ดี โดยสังเกตจากการขึ้นฟูของโฟม รวมทั้งการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างเนื้อกล้วยกับโปรตีนไข่ขาวซึ่งได้จากการศึกษาในหัวข้อ 3.2.1 กล้วยน้ำว้าที่นำมาใช้ในการทดลองซื้อจากตลาดสุวรรณภูมิ โดยซื้อกล้วยน้ำว้าผลดิบเปลือกมีลักษณะสีเขียว นำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 3 ℃) ทำการวัดระดับความสุกของกล้วยน้ำว้า โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) โดยใช้มาตรวัดดัชนีหักเห (Refractometer) (HR-130, Optika, Italy)

3.2.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อลักษณะคุณภาพของโฟม

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อลักษณะคุณภาพโฟม โดยทำการเติมน้ำ 25, 50, 75 และ 100 (g) ผสมกับโปรตีนไข่ขาวปริมาณ 5, 10, 15 (g) แล้วจึงทำการตีผสมด้วยเครื่องผสมอาหาร (Food mixer: Kitchen Aid, Model KSM90, USA) ที่ความเร็ว 260 rpm เป็นระยะเวลา 5 min จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพของโฟมหลังจากการตีผสม ได้แก่ ความหนาแน่น ความคงตัว และค่า Overrun

3.2.4 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการตีโฟม

ศึกษาเวลาในการตีโฟม โดยใช้โปรตีนไข่ขาวซึ่งได้จากการศึกษาในหัวข้อ 3.2.1 เป็นสารก่อโฟม โดยใช้อัตราส่วนโปรตีนไข่ขาวต่อน้ำเท่ากับ 5, 10, 15 : 75 (w/w) ทำการตีโฟมด้วยเครื่องผสมอาหาร (Food mixer: Kitchen Aid, Model KSM90, USA) ที่ความเร็วรอบ 260 rpm เป็นระยะเวลา 5, 10 และ 20 min เพื่อศึกษาลักษณะการขึ้นโฟมและการยุบตัวของโฟม

3.2.5 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง

ศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้ง โดยนำโฟมกล้วยที่ได้จากการตีผสมอบด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (UF30, Memmert GmbH + Co.KG, Germany) ที่อุณหภูมิ 50, 70, 90 และ 110 °C โดยจะทำการอบจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของโฟมกล้วย เพื่อเลือกอุณหภูมิในการอบที่เหมาะสม

3.3 การเตรียมโฟมกล้วย

นำโปรตีนไข่ขาวผสมกับน้ำ โดยใช้อัตราส่วนโปรตีนไข่ขาวต่อน้ำ 5:75, 10:75 และ 15:75 (w/w) ให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปตีผสมให้เกิดโฟมด้วยเครื่องผสมอาหาร (Food mixer: Kitchen Aid, Model KSM90, USA) ที่ความเร็วรอบ 260 rpm เป็นเวลา 5 min จากนั้นเติมกล้วยน้ำว้าปั่นละเอียดที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 28 ± 1 °Brix ปริมาณ 100 g ตีผสมต่อเป็นเวลา 5 min นำโฟมที่ได้ใส่ในแม่พิมพ์ทรงแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 0.75 cm ทำจากอะลูมิเนียมรองด้วยฟอยล์ที่จัดเตรียมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหาอัตราการทำแห้ง (Drying Rate)

ศึกษาหาความสัมพันธ์ของความชื้นฐานแห้ง (% d.b.) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของโฟมกล้วย โดยทำการอบโฟมกล้วยสภาวะต่าง ๆ ที่บรรจุในแม่พิมพ์ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (UF30, Memmert GmbH + Co.KG, Germany) ที่อุณหภูมิ 50, 70, 90 และ 110 °C นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 ชั่วโมงจนกระทั่งได้ค่าความชื้นที่เหมาะสมสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้

3.5 การศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยก่อนอบแห้ง

3.5.1 การวัดความหนาแน่นของโฟม (Density of Foam)

นำโฟมที่ต้องการวัดความหนาแน่น บรรจุลงในถ้วยซึ่งทราบปริมาตรและน้ำหนัก (ปริมาตร 17.07 mL และ น้ำหนัก 4.98 g) ให้เต็ม จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยที่บรรจุโฟม นำมาคำนวณหาความหนาแน่นของโฟมด้วยสมการ (3.1) (Akintoye and Oguntunde, 1999)

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม} = \frac{m}{v} \tag{3.1}$$

โดย m คือ มวลของถ้วยเมื่อบรรจุโฟม - มวลถ้วย (g)

v คือ ปริมาตรของถ้วย (mL)

3.5.2 การวัดค่าความคงตัวของโฟม (Stability of Foam)

บรรจุโฟมกล้วยลงในกรวยแก้ว (ปริมาตร 79.84 mL) แล้วรองรับของเหลวที่แยกตัวออกมาจากโฟม ด้วยกระบอกตวงขนาด 100 mL บันทึกปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกมาจากโฟมทุก ๆ 15 min จนกระทั่งถึง 180 min คำนวณหาความคงตัวโดยใช้สมการ (3.2) (ดัดแปลงจากคุ้มเกล้า, 2552)

$$\text{ความคงตัวของโฟม (\%)} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100\ \% \tag{3.2}$$

โดย V_1 คือ ปริมาตรของโฟมกล้วยเริ่มต้น (mL)

V_2 คือ ปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกจากโฟมกล้วยในช่วง 180 min (mL)

3.5.3 การวัดค่า Overrun

โดยชั่งมวลต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสมก่อนตีโฟม และมวลต่อหน่วยปริมาตรของโฟม โดยหาจากสัดส่วนระหว่างมวลของโฟมกล้วยที่บรรจุในแม่พิมพ์ต่อปริมาตรของแม่พิมพ์ และคำนวณหาค่า Overrun ด้วยสมการ (3.3) (Kirk and Sawyer, 1991)

$$\text{Overrun (\%)} = \frac{x - y}{y} \times 100\ \% \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย x คือ มวลต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสม (g/mL)

y คือ มวลต่อหน่วยปริมาตรของโฟม (g/mL)

3.6 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.6.1 การหาความชื้น (Moisture content)

โดยการนำตัวอย่างชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง (WT3203N, WANT, China) จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (UN55, Memmert GmbH + Co.KG, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 °C ± 5 °C ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบจนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ นำค่าน้ำหนักที่วัดได้มาวิเคราะห์หาความชื้นฐานแห้งตามวิธีการของ AOAC 984.25 (AOAC, 2000) โดยคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามสมการ (3.4)

$$\% \text{ Moisture content (d.b.)} = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100\ \% \tag{3.4}$$

โดย m_i คือ มวลตัวอย่างก่อนอบ (g)

m_s คือ มวลตัวอย่างหลังอบ (g)

3.6.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analysis)

ทดสอบเนื้อสัมผัส ด้วยการทดสอบแบบกด (Compression test) โดยนำตัวอย่างวางลงบนฐานทดสอบ โดยใช้หัวกดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm กดตรงกลางชิ้นตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป 80 % ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ Pre-test/Test/Post-test เท่ากับ 2/2/2 mm/s ตามลำดับ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับเวลา วิเคราะห์หาค่าความแข็ง (Hardness) ของตัวอย่างจากแรงสูงสุดที่อ่านได้ ส่วนความกรอบ (Crispness) วิเคราะห์ได้จากจำนวนยอดของเส้นกราฟ (Thuwapanichayanan et al., 2008)

3.6.3 การวัดค่าสี (Color)

วัดสีตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐานระบบ Colorimetric Spectrophotometer (ColorFlex EZ, Hunter Associated Laboratory, USA) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ที่มุมมาตรฐานผู้สังเกตการณ์ 10 ° (Standard Observer) อ่านค่าสีระบบ CIELAB วิเคราะห์ค่า L^* (ความสว่าง) a^* (แดง/เขียว) b^* (เหลือง/น้ำเงิน) คำนวณหาค่าความแตกต่างของสี ΔE^* (Total Difference 1976) ค่าความเข้มของสี (C^*) และค่าเฉดสี (h) โดยใช้สมการ (3.5)-(3.7) (ASTM E 308-06, 2006)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \tag{3.5}$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h = \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*}) \quad (3.7)$$

3.6.4 การวิเคราะห์ความพรุน (Porosity)

ทำการวิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์ภาพ โดยทำการถ่ายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องกราดภาพ (Scanner) (V370 Photo, Epson, Indonesia) โดยใช้พื้นหลังสีดำด้านเพื่อไม่ให้เกิดเงาของวัตถุและวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, USA) เข้าถึงได้จาก https://imagej.th.softonic.com โดยใช้คำสั่ง Analyze Particles และ Auto Threshold เพื่อวิเคราะห์หาค่า พื้นที่รูพรุน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และร้อยละพื้นที่รูพรุน

3.6.5 การหาแอคติวิตีของน้ำ (Water Activity)

นำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดแอคติวิตีของน้ำ (Water Activity Meter) (3TE, Aqualab, Washington) โดยในแต่ละสภาวะการทดลองทำการวัดตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ในเชิงสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 365 (Microsoft, USA) ด้วยฟังก์ชัน ANOVA (Analysis of variance)

3.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

นำโฟมกล้วยสภาวะที่เหมาะสมมาทำการประเมินทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ (ยี่ห้อ nacket) และกล้วยอบกรอบแบบ Freeze-dried (ยี่ห้อ กรีนเดย์) ทำการทดสอบโดยวิธีการจัดลำดับ (Ranking test) และวิธี Hedonic scale (5 ระดับ) ซึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้ผู้ประเมิน ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ได้แก่ นักศึกษาและบุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 50 คน ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ด้าน คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบและความแข็ง) และความชอบโดยรวม

3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองในแต่ละสภาวะเป็นจำนวน 2 ซ้ำ วัดค่าสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนอบและหลังอบ ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2016 และทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 365 (Microsoft, USA) โดยทำการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน ANOVA (Analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และนำผลที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส มาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Paired Samples t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 5 ด้านระหว่างโฟมกล้วยและผลิตภัณฑ์จากกล้วยที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

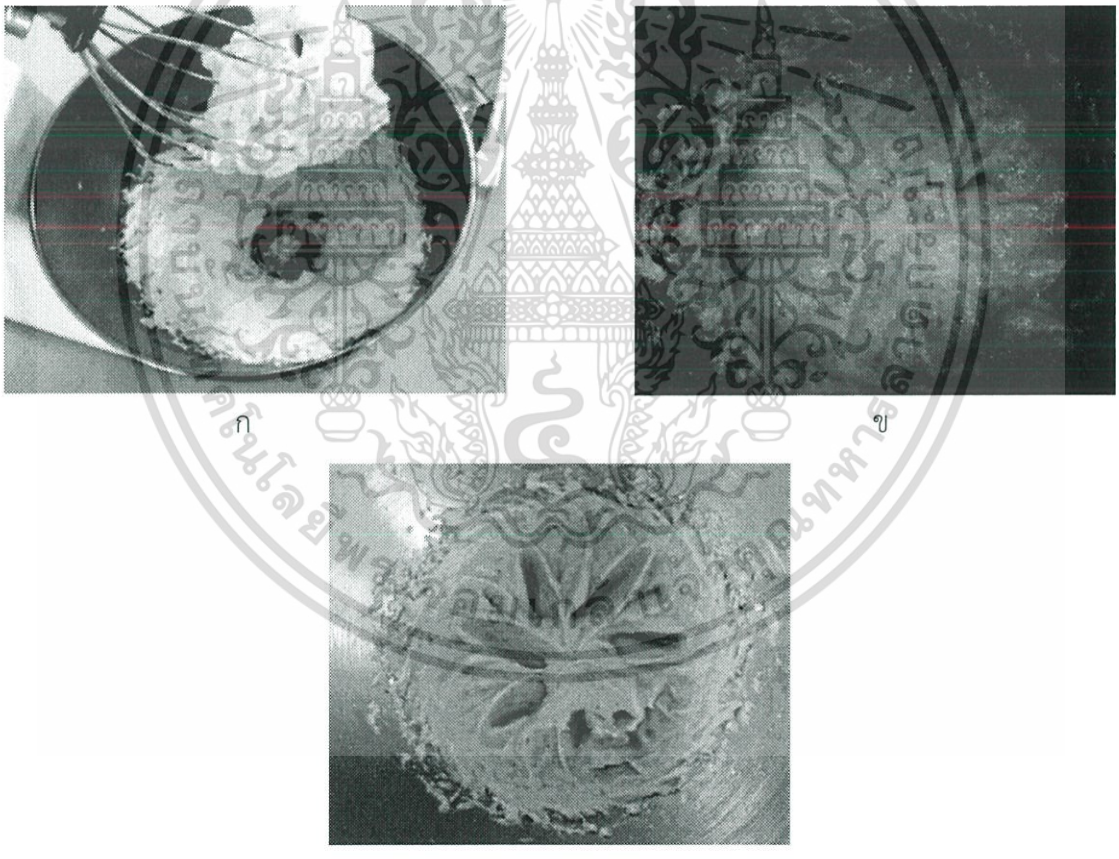
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น

4.1.1 การศึกษาชนิดของโปรตีนที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารก่อโฟม

ศึกษาการขึ้นโฟมของโปรตีนธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีนไข่ขาว เวย์โปรตีน และ โปรตีนถั่วเหลือง ตีผสมกับกล้วยน้ำว้าปั่นละเอียดที่ระดับความสุก 28 ± 1 °Brix ตามขั้นตอนดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.1 พบว่าโปรตีนไข่ขาวสามารถตีให้เกิดโฟมได้ ในขณะที่เวย์โปรตีนและโปรตีนถั่วเหลืองไม่สามารถตีให้เกิดเป็นโฟม ดังแสดงในรูปที่ 4.1ก - 4.1ค จึงเลือกใช้โปรตีนไข่ขาวเป็นสารก่อโฟมในโครงงานนี้



ก ข

ค

รูปที่ 4.1 ก ลักษณะโฟมที่ได้จากการใช้โปรตีนไข่ขาวเป็นสารก่อโฟม
ข ลักษณะโฟมที่ได้จากการใช้เวย์โปรตีนเป็นสารก่อโฟม
ค ลักษณะโฟมที่ได้จากการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นสารก่อโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาระดับความสุกของกล้วยที่เหมาะสม

วัดระดับความสุกของกล้วยจากการสังเกตภายนอกโดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อกล้วย (Total soluble solid) โดยทำการกรองของเหลวจากเนื้อกล้วยด้วยการบีบผ่านผ้าขาวบางแล้ววัดของเหลวด้วยมาตรวัดดัชนีหักเห (Refractometer) (HR-130, Optika, Italy) ในช่วงไม่เกิน 0 - 32 °Brix ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะความสุกของกล้วยที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะของกล้วย	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	ลักษณะ
กล้วยดิบ	< 20 °Brix	เนื้อกล้วยมีลักษณะแข็ง รสฝาด กลิ่นเปรี้ยว และมียาง เมื่อนำมาตีกับโปรตีนไข่ขาวโฟมกล้วยที่ได้ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
กล้วยห่าม	21-26 °Brix	เนื้อกล้วยมีลักษณะกึ่งสุกกึ่งดิบ เมื่อนำมาตีกับโปรตีนไข่ขาว โฟมกล้วยมีการขึ้นฟูแต่ยังคงมีรสฝาดของกล้วย
กล้วยสุก	27-29 °Brix	เนื้อกล้วยมีความนิ่ม รสหวาน ไม่มีกลิ่นเปรี้ยว เมื่อนำมาตีกับโปรตีนไข่ขาวโฟมกล้วยมีการขึ้นฟู
กล้วยงอม	25-26 °Brix	เนื้อกล้วยค่อนข้างเละ มีลักษณะเป็นเจล เมื่อนำมาตีกับโปรตีนไข่ขาว โฟมกล้วยเกิดการยุบตัว เหลว ไม่ขึ้นฟู

รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงระดับความสุกของกล้วยในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อลักษณะคุณภาพของโฟม

จากการตีโฟมที่สภาวะปริมาณน้ำต่าง ๆ (ดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยพบว่าหากน้ำมีปริมาณน้อยเกินไปจะไม่สามารถตีเป็นโฟมได้ เนื่องจากสัดส่วนน้ำที่น้อยทำให้โฟมมีความหนืดมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น ความหนาแน่น ความคงตัวและค่า Overrun ของโฟมจะมีค่าลดลง โฟมมีลักษณะเหลว เพราะการเติมน้ำที่มากไปจะทำให้โครงสร้างโฟมไม่แข็งแรง และทำให้น้ำบางส่วนซึมออกมาจากโครงสร้าง จึงเลือกการเติมน้ำที่ 75 g เนื่องจากสามารถทำให้โฟมมีความคงตัวมากที่สุด

ตารางที่ 4.2 ลักษณะคุณภาพของโฟมโปรตีนไข่ขาว

โปรตีนไข่ขาว (g)	น้ำ (g)	ความหนาแน่น (g/mL)	ความคงตัว (%)	Overrun (%)
5	25		ตีไม่ขึ้นโฟม	
	50	0.1099	84.65	862.33
	75	0.1092	88.21	872.34
	100	0.0933	86.22	374.95
10	25		ตีไม่ขึ้นโฟม	
	50	0.1568	86.78	601.08
	75	0.1488	86.82	609.21
	100	0.1466	86.52	578.79
15	25		ตีไม่ขึ้นโฟม	
	50	0.2034	85.99	519.47
	75	0.1553	88.89	604.06
	100	0.1453	87.23	543.91

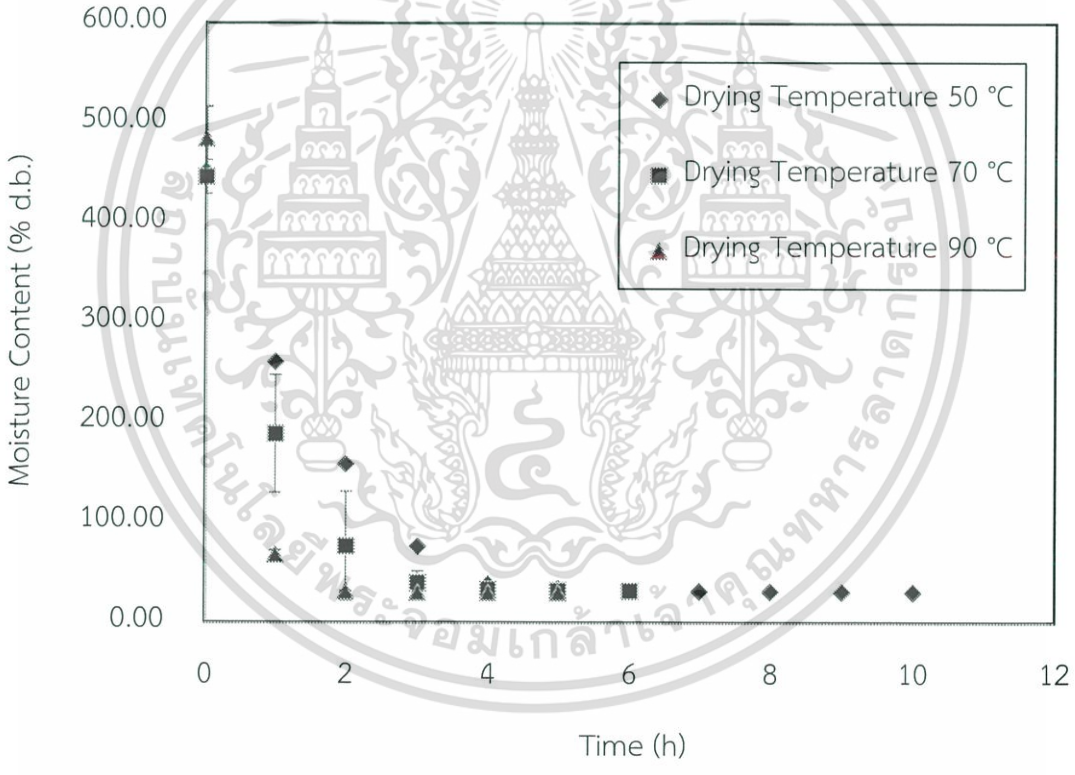
4.1.4 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการตีโฟม

จากการตีโฟมโดยใช้โปรตีนไข่ขาวเป็นสารก่อโฟมผสมน้ำด้วยอัตราส่วน 10:75 (w/w) (ดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.4) พบว่า การตีโฟมที่ระยะเวลา 5 min โฟมยังไม่สามารถขึ้นเป็นยอดได้ เมื่อตีเป็นระยะเวลา 20 min โฟมเกิดการยุบตัว จึงเลือกทำการตีโฟมที่ระยะเวลา 10 min เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่โฟมตีขึ้นได้ดี โดยแบ่งเป็นใช้เวลาตีโปรตีนไข่ขาวกับน้ำ 5 min จากนั้นเติมเนื้อกล้วยน้ำว้าปั่นละเอียดแล้วผสมต่ออีก 5 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง

ทำการศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งโดยอุณหภูมิที่ทำการศึกษามีดังนี้ 50, 70, 90 และ 110 °C ได้ผลดังรูปที่ 4.3 พบว่า อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการอบแห้งโดยโฟมกล้วยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 °C มีสีและลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบใกล้เคียงกับโฟมกล้วยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 °C แต่ใช้เวลาในการอบแห้งที่นานกว่า โฟมกล้วยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 90 °C มีเนื้อสัมผัสกรอบเช่นเดียวกัน มีสีเหลืองเข้มมากกว่า แต่ยังไม่ถึงระดับที่เกิดการไหม้ และโฟมกล้วยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 110 °C เกิดสภาวะขอบแข็ง (Case hardening) ในระหว่างการอบแห้งก่อนถึง 1 h เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงเกินไป น้ำภายในโฟมกล้วยไม่สามารถระเหยออกมาได้ ทำให้ด้านในของโฟมกล้วยไม่สุก และมีสีน้ำตาลเข้มบริเวณขอบ ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 70 และ 90 °C



รูปที่ 4.3 ความชื้นของโฟมกล้วยที่อัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย คือ 10:75:100 (w/w) ระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 °C อบจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยก่อนอบแห้ง

4.2.1 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวต่อลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วย

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวต่อลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนไข่ขาวค่าความหนาแน่นและความคงตัวของโฟมกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทว่าแปรผกผันกับค่า Overrun การใช้ปริมาณโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย ด้วยอัตราส่วน 5:75:100 (w/w) ได้ค่าความคงตัวน้อยที่สุดเนื่องจากมีสัดส่วนน้ำมากส่งผลให้โครงสร้างไม่แข็งแรงพอที่จะอุ้มน้ำไว้ กระทบต่อการจับกับโปรตีนไข่ขาว เมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาวค่า Overrun มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองของ รติยาและคณะ (2551) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารก่อโฟมสูงเกินไปจะทำให้ความสามารถในการดักจับอากาศลดลง การขึ้นฟูจึงน้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนไข่ขาวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นและความคงตัวอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะมีผลต่อความคงตัวจนถึงระดับนึงเท่านั้น ซึ่งตรงกันข้ามกับค่า Overrun ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.3 ลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วย

โปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย (w/w)	ความหนาแน่น (g/mL)	ความคงตัว (%)	ค่า Overrun (%)
5:75:100	0.308 ± 0.003^{a}	89.98 ± 1.77^{a}	310.83 ± 63.29^{a}
10:75:100	0.336 ± 0.013^{b}	97.43 ± 1.33^{b}	262.41 ± 9.55^{ab}
15:75:100	0.419 ± 0.004^{c}	98.75 ± 1.77^{b}	190.16 ± 2.53^{b}

4.3 การศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยหลังอบแห้ง

4.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อความชื้นและค่าแอคติวิตีของน้ำ

จากการอบโฟมกล้วยที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °C จนกระทั่งมีความชื้น 30% d.b. ค่าแอคติวิตีของน้ำของโฟมกล้วยอยู่ที่ประมาณ 0.3 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งถือว่าเหมาะแก่การเก็บรักษาอาหารแห้ง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อวิเคราะห์ทางอาสถิติพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณโปรตีนไข่ขาวไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าแอคติวิตีของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าแอคติวิตีของน้ำของโฟมกล้วยที่สภาวะต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	โปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย (w/w)	Water Activity
70	5:75:100	0.270 ± 0.03[a]
	10:75:100	0.280 ± 0.04[a]
	15:75:100	0.305 ± 0.04[a]
90	5:75:100	0.321 ± 0.01[a]
	10:75:100	0.323 ± 0.01[a]
	15:75:100	0.286 ± 0.00[a]

4.3.2 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวและอุณหภูมิต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโฟมกล้วย

จากการอบโฟมกล้วยสภาวะต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °C จนกระทั่งมีค่าความชื้น 30% d.b. จากนั้นทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของโฟมกล้วย ได้แก่ ความแข็งและความกรอบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนไข่ขาวความแข็งของโฟมกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งแปรผกผันกับความกรอบโดยหากเพิ่มปริมาณโปรตีนไข่ขาวความกรอบของโฟมกล้วยมีแนวโน้มลดลง สาเหตุเนื่องจากการเพิ่มปริมาณโปรตีนไข่ขาวทำให้โฟมกล้วยมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความแข็งของเนื้อสัมผัสจึงเพิ่มขึ้น พบว่าโฟมกล้วยที่ได้จากอัตราส่วน 5:75:100 (w/w) มีความกรอบมากที่สุดเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำและมีค่า Overrun สูงจึงส่งผลให้โฟมกล้วยมีฟองอากาศที่ละเอียด สม่ำเสมอ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการระเหยของน้ำมาก น้ำภายในโครงสร้างจึงระเหยได้ง่ายและต่อเนื่อง (วัชรีและคณะ, 2558) ค่าความแข็งจึงลดลง ทั้งนี้พบว่าเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 70 °C โฟมกล้วยจะมีความแข็งมากกว่า 90 °C เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิต่ำ น้ำระเหยออกได้ช้ากว่า แต่ก็ไม่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเนื้อสัมผัส ซึ่งแตกต่างจากการเพิ่มโปรตีนไข่ขาวซึ่งมีผลอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็มีผลจนกระทั่งถึงระดับหนึ่งเท่านั้น หากเพิ่มมากกว่านี้จะไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็ง

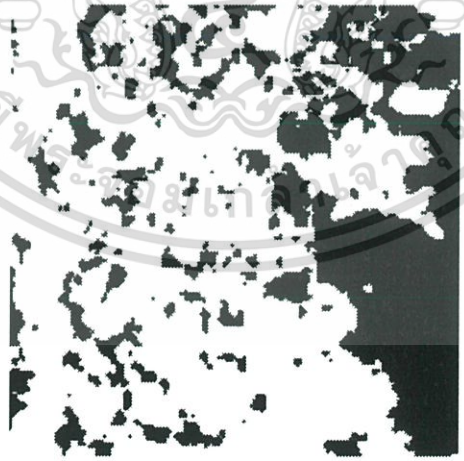
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของโฟมกล้วยที่สภาวะต่าง ๆ อบแห้งจนกระทั่งถึงระดับความชื้น 30% d.b.

อุณหภูมิ (°C)	โปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย (w/w)	ความแข็ง (N)	ความกรอบ
70	5:75:100	3.43 ± 0.64[a]	228 ± 74.95[a]
	10:75:100	5.77 ± 0.85[b]	204 ± 43.13[ab]
	15:75:100	6.25 ± 0.41[b]	133 ± 4.95[b]
90	5:75:100	2.99 ± 0.10[a]	281 ± 20.51[a]
	10:75:100	4.30 ± 0.31[b]	243 ± 46.67[ab]
	15:75:100	5.99 ± 0.19[b]	203 ± 4.24[b]

4.3.3 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวและอุณหภูมิต่อความพรุน

จากการวิเคราะห์ศึกษาโครงสร้างภายในชิ้นตัวอย่างด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรม ImageJ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า ในการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนไข่ขาวพบว่าพื้นที่รูพรุนทั้งหมดและร้อยละพื้นที่รูพรุนของโฟมกล้วยลดลง และการอบที่อุณหภูมิ 70 °C มีพื้นที่รูพรุนและร้อยละพื้นที่รูพรุนของโฟมกล้วยน้อยกว่าการอบที่อุณหภูมิ 90 °C ซึ่งสัมพันธ์กับความกรอบที่วิเคราะห์ได้เนื่องจากการที่มีรูพรุนมากจะทำให้โฟมกล้วยเกิดลักษณะเปราะ เนื้อสัมผัสจึงมีลักษณะกรอบเพิ่มขึ้นตามความพรุน ทว่าไม่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความพรุน ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.4 ความพรุนที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ลักษณะความพรุนของโฟมกล้วยที่สภาวะต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	โปรตีนไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	พื้นที่รูพรุนทั้งหมด (mm^2)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (mm)	ร้อยละพื้นที่รูพรุน (%)
70	10:75:100	87.31 ± 24.94[a]	0.85 ± 0.39[a]	40.13 ± 11.46[a]
	15:75:100	68.74 ± 16.53[a]	0.96 ± 0.43[a]	34.24 ± 3.99[a]
90	10:75:100	100.48 ± 9.15[a]	0.87 ± 0.30[a]	45.71 ± 4.88[a]
	15:75:100	74.50 ± 14.59[a]	0.64 ± 0.24[a]	34.57 ± 6.71[a]

4.3.4 อิทธิพลของปริมาณโปรตีนไข่ขาวและอุณหภูมิต่อสีของโฟมกล้วยหลังอบแห้ง

พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของโฟมกล้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ที่อุณหภูมิ 90 °C จะมีความเข้มของสีมากกว่าและมีความสว่างน้อยกว่า เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิสูงตัวอย่างได้รับความร้อนมากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) ได้มากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า โฟมกล้วยที่อัตราส่วน 15:75:100 (w/w) มีความเข้มสี (C^*) มากสุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้น อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น (Tamanna and Mahmood, 2015) ส่วนค่าความแตกต่างของสีเมื่อใช้ปริมาณโปรตีนไข่ขาวเท่ากันอบที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °C มีค่าเท่ากับ 2.93, 5.34, 7.63 ตามลำดับ แสดงว่ายิ่งเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งและปริมาณโปรตีนมากขึ้นส่งผลให้สีมีความแตกต่างเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของโฟมกล้วยที่สภาวะต่าง ๆ หลังอบแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	โปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย (w/w)	สี						
		*L**	*C**	*h*	Δ*L**	Δ*C**	Δ*h*	Δ*E**
70	5:75:100	68.32 ± 0.54	20.66 ± 0.22	80.74 ± 0.61	0	-4.84	-0.4	4.84
	10:75:100	78.08 ± 1.92	16.10 ± 0.66	86.25 ± 1.41	-3.11	-0.01	-5.24	3.44
	15:75:100	76.26 ± 0.64	17.11 ± 0.40	86.05 ± 1.56	-2.94	-0.47	-6.84	3.59
90	5:75:100	65.47 ± 2.26	21.14 ± 1.27	82.14 ± 0.89	7.49	-8.91	2.3	11.66
	10:75:100	77.21 ± 1.38	21.05 ± 0.78	80.54 ± 0.97	-3.89	-7.64	2.95	8.62
	15:75:100	74.78 ± 0.33	24.46 ± 1.84	82.11 ± 0.76	-0.87	-8.81	-1.07	8.86

*L** ค่าความสว่าง, *C** ค่าความเข้มของสี, *h* ค่าเฉดสี, Δ*E** ค่าความแตกต่างของสีก่อนและหลังอบแห้ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 5 ด้าน ประกอบด้วย สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบและความแข็ง) และความชอบโดยรวม ซึ่งใช้ในการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินจะเลือกใช้โฟมกล้วยที่ใช้ปริมาณโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย ที่อัตราส่วน 10:75:100 (w/w) อบที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °C กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ และกล้วยอบแห้ง Freeze-dried พบว่าโฟมกล้วยที่อบอุณหภูมิ 90 °C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้วยอบแห้ง Freeze-dried และปัจจัยด้านสีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่โฟมกล้วยอบที่อุณหภูมิ 70 °C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกล้วยหอมทองทอดสุญญากาศและกล้วยอบแห้ง Freeze-dried ดังนั้นโฟมกล้วยที่อบอุณหภูมิ 90 °C จึงสามารถทำให้ผู้บริโภคยอมรับได้ เนื่องจากมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด ได้แก่ กล้วยอบแห้ง Freeze-dried โดยตัดสินจากผลของปัจจัยทั้ง 5 ด้าน ซึ่งในอนาคตอาจมีการพัฒนาด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมให้ดียิ่งขึ้นเพื่อให้เกิดการยอมรับในผลิตภัณฑ์มากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (จำนวนผู้ทดสอบ 50 คน)

การวิเคราะห์ทางสถิติ					
ลักษณะ		กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ	กล้วยอบแห้ง Freeze-dried	โฟมกล้วยอบที่อุณหภูมิ 70 °C	โฟมกล้วยอบที่อุณหภูมิ 90 °C
สี		3.64 ± 1.21^{a}	3.22 ± 1.02^{b}	3.00 ± 0.78^{cb}	3.48 ± 0.74^{ab}
กลิ่น		3.90 ± 0.89^{a}	3.24 ± 1.02^{b}	2.86 ± 0.90^{c}	3.14 ± 0.97^{b}
รสชาติ		4.16 ± 0.98^{a}	3.62 ± 1.14^{b}	2.98 ± 0.85^{c}	3.08 ± 0.97^{b}
เนื้อสัมผัส	ความกรอบ	4.32 ± 0.82^{a}	3.84 ± 1.02^{b}	2.66 ± 1.08^{c}	2.90 ± 1.06^{b}
	ความแข็ง	4.04 ± 0.86^{a}	3.58 ± 1.05^{b}	2.56 ± 0.97^{c}	2.86 ± 0.93^{b}
ความชอบโดยรวม		4.10 ± 0.93^{a}	3.40 ± 1.01^{b}	2.88 ± 0.66^{c}	3.18 ± 0.77^{b}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ขนมขบเคี้ยวกรุบกรอบเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถบริโภคได้ทุกเพศทุกวัย ซึ่งกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีลักษณะกรอบส่วนใหญ่มักใช้วิธีการทอดด้วยน้ำมัน ไม่เป็นผลดีต่อสุขภาพ อีกทั้งในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้มักจะมีการเหลือทิ้งจากกระบวนการตัดแต่ง และปัญหาผลิตผลล้นตลาดราคาตกต่ำ ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาขนมกรุบกรอบปราศจากไขมันจากผลไม้เพื่อประโยชน์ทางโภชนาการและเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ โดยทำการศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้าด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูง จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าระดับความสุกของกล้วยที่เหมาะสมในการผลิตอยู่ที่ 28 ± 1 °Brix โดยโปรตีนไข่ขาวเหมาะสมในการใช้เป็นสารก่อโฟม เนื่องจากสามารถตีขึ้นฟูเป็นโฟมได้โดยไม่เกิดการยุบตัว

ทั้งนี้จากการศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยก่อนอบแห้ง ได้แก่ ความหนาแน่น ความคงตัว และค่า Overrun พบว่า ความหนาแน่นและความคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนไข่ขาวทว่าแปรผกผันกับค่า Overrun เมื่อศึกษาลักษณะคุณภาพของโฟมกล้วยหลังอบแห้ง ได้แก่ ความชื้น ค่าแอคติวิตีของน้ำ ความพรุน เนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) พบว่า การอบแห้งโฟมกล้วยโดยใช้ลมร้อนด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดจนที่อุณหภูมิการอบแห้ง 90 °C จนกระทั่งโฟมกล้วยมีความชื้น 30% d.b. และมีค่าแอคติวิตีของน้ำประมาณ 0.3 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต โดยพบว่า ความแข็งของโฟมกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนไข่ขาวทว่าแปรผกผันกับอุณหภูมิในการอบแห้ง ทั้งนี้พบว่าความกรอบแปรผกผันกับความแข็งและสัมพันธ์กับค่าพื้นที่รูพรุนทั้งหมดและร้อยละพื้นที่รูพรุน เนื่องจากการที่มีรูพรุนมากจะทำให้โฟมกล้วยเกิดความเปราะ เนื้อสัมผัสจึงมีความกรอบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิในการอบสูง ความสว่างของผลิตภัณฑ์จะลดลงซึ่งผกผันกับความเข้มของสี เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์

จากการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยตัดสินจากผลของปัจจัยทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจผลิตภัณฑ์โฟมกล้วย เนื่องจากได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาการประยุกต์ใช้กระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการอบแห้งร่วมกับกระบวนการเตรียมโครงสร้างรูพรุนสูงกับผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น มะม่วง มะละกอ กล้วยหอม เป็นต้น

2. แม้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ขาว จะได้เนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างคงตัว ไม่ละลายในปาก ทว่ากลิ่นของไข่ขาวกลับกลบกลิ่นของกล้วยไป จึงอาจปรับเปลี่ยนเป็นผลไม้ชนิดอื่นที่มีกลิ่นรสชัดเจนกว่ากล้วยน้ำว้า

3. ควรทำการศึกษาลักษณะคุณภาพด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การดูดซึมน้ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบจะมีความพรุนสูงทำให้ดูดซึมน้ำได้เร็ว เมื่อรับประทานจึงมีความรู้สึกละลายในปากอย่างรวดเร็ว แต่หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่ดูดซึมน้ำได้ช้ากว่านี้ทำการศึกษาการปรับอัตราส่วนของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตเพิ่มเติม นอกจากนี้ควรทำการศึกษาเรื่องอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2559. **ยุทธศาสตร์การพัฒนางานวิจัยกล้วย พ.ศ. 2559 – 2563.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.doa.go.th.

กรมอนามัย. 2548. **การเลือกซื้ออาหารพร้อมปรุง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.agri.ubru.ac.th.

คุ้มเกล้า ตุลาดิลก. 2552. **การผลิตน้ำกระเทียมดอง ชนิดผงโดยการทำแห้งแบบโฟมแมท.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร). ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ดวงแก้ว ศรีลักษณ์. 2544. **มหัศจรรย์พันธุ์กล้วยในไทย.** กรุงเทพฯ : แสงแดดเพื่อนเด็ก.

ไทยเกษตรศาสตร์. 2561. **การสุกของผลไม้.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.thaikasetsart.com/

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. **เคมีอาหาร.** กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2538. **กล้วย**. กรุงเทพฯ : บริษัท ประชาชน จำกัด.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. **กล้วย**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยะฉัตร พรหมเพ็ชร์. 2550. **ปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภคขนมขบเคี้ยวของเด็กวัยเรียนในเขตสายไหม.** การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2562. **ไข่ผง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3131/egg-powder

พืชเกษตร. 2557. **กล้วยน้ำว้า สรรพคุณ และการปลูกกล้วยน้ำว้า.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://puechkaset.com/

ยงยุทธ เสาวพฤกษ์. **แนวโน้มอาหารและเครื่องดื่ม สุขภาพ.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.prachachat.net/columns/news-268743. 2561

วราภรณ์ ประเสริฐ. 2556. “เทคนิคการทำแห้งแบบโฟมแมท.” **วารสารอาหาร.** 43 (3) : 23-26.

วัชรี มหัทธนพรรค และรัตนา อัตตปัญโญ. 2543. **การพัฒนาวิธีการทำน้ำลำไยผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบโฟม-แมท.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2559. **ตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทย.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=116

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ท้อป.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2560. **กล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 : กล้วยพันธุ์ดีเพื่อการค้า.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.rdi.ku.ac.th/?p=34970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . **การเสื่อมคุณภาพในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=23231,

สุนทรีย์ แสงสีโสต. "กล้วย : ผลไม้สารพัดประโยชน์." **กรมวิทยาศาสตร์บริการ.** 48(1) : 3-5.

สมบัติ ขอทวีพัฒนา. 2529. **กรรมวิธีการอบแห้ง.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรรณา เชียงขุนทด และคณะ. 2557. **ความรู้และพฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชาชนในเขต ภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร (รายงานผลการวิจัย)**. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริม สุขภาพ.

สำนักงานเลขานุการกรมอนามัย. 2561. **ขนมขบเคี้ยว.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.anamai.moph.go.th/ewtadmin/ewt/osc/ewt_news.php?nid=499&filename=4000

อภิชาต ศรีสะอาด และพัชรี สำโรงเย็น. 2559. **กล้วยน้ำว้าสายพันธุ์ยักษ์.** กรุงเทพฯ : นาคา อินเตอร์มีเดีย

Akintoye, O. A. and Oguntunde, A. O. 1999. "Preliminary investigation on the effect of foam stabilizers on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soymilk." **Drying Technology**, 9 (1), 245 – 262.

American Society for Testing and Materials (ASTM E 308-06). 2006. "Standard Test Method for Calculation of Color Differences From Instrumentally Measured Color Coordinates: D2244." **Annual Book of American Standard Testing Methods**, Vol 01.07, U.S.A.

AOAC Official Methods of Analysis. 2000. **Moisture Content**. Method Number, 984.25.

Kirk, R. S. and Sawyer R. 1991 .**Pearson's composition and analysis of foods.** Harloow, United Kingdom: Longman Scienetific and Technical.

Kotecha, P. M., Desai B. B. 1995. **Banana. In. Handbook of fruit science and technology.** Salunkhe DK, Kadam SS (Eds). Marcel Dekker, Inc. New York, 67-90.

Tamanna, N. and Mahmood, N. 2015. Food Processing and Maillard Reaction Products: Effect on Human Health and Nutrition**. Int J Food Sci**. 526-762.

Paradis, A. 1993. Nitrogen in total quality for snack food. **INFORM** 4(12) : 1378-1386.

Raikham, C., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A. and Soponronnarit, S. 2013. "Optimum conditions of Fluidized Bed Puffing for producing Crispy Banana." **Drying Technology**. 31(6) : 726-739.

Salunkhe, D. K. and Desai, B. B. 1984. **Postharvest biotechnology of fruits.** CRC Press The university of Wisconsin madison, 168.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Semple, R.L., Frio, A.S., Hicks, P.A. and Lozare. J.V. 2011. **Mycotoxin prevention and controlinfoodgrains.** [Online]. Available : www.fao.org/docrep/X5036E/x5036E00.htm

Sithisoonthorn S., Hongcharoen A. and Mekmance R. **Pharmacological activity of Musa sapientum**. Special Project for the Degree of B. Sc. (Pharm.), Faculty of Pharmcy. Bangkok : Mahidol University, 1989

Thuwapanichayanan R., Prachayawarakorn S. and Soponronnarit S. 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **J. Food Eng**. 86: 573–583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลของปริมาณไข่ขาวต่อค่าความหนาแน่นโฟมกล้วย

ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	ความหนาแน่น ครั้งที่ 1	ความหนาแน่น ครั้งที่ 2	ความหนาแน่น เฉลี่ย	ความแปรปรวน
5:75:100	0.3103	0.3057	0.3080	0.00
10:75:100	0.3450	0.3270	0.3360	0.01
15:75:100	0.4211	0.4158	0.4185	0.00

ตารางที่ ก.2 ผลของปริมาณไข่ขาวต่อความคงตัวโฟมกล้วย

ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	ความคงตัว ครั้งที่ 1	ความคงตัว ครั้งที่ 2	ความคงตัว เฉลี่ย	ความแปรปรวน
5:75:100	91.23	88.73	89.98	1.77
10:75:100	96.49	98.37	97.43	1.33
15:75:100	97.50	100.00	98.75	1.77

ตารางที่ ก.3 ผลของปริมาณไข่ขาวต่อค่า Overrun โฟมกล้วย

ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	ค่า Overrun ครั้งที่ 1	ค่า Overrun ครั้งที่ 2	ค่า Overrun เฉลี่ย	ความแปรปรวน
5:75:100	306.08	395.58	350.83	63.29
10:75:100	255.66	269.16	262.41	9.55
15:75:100	188.37	191.95	190.16	2.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ความชื้นของกล้วยน้ำว้าระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด อบที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 °C ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อใช้ปริมาณไข่ขาว:น้ำ:กล้วย ด้วยอัตราส่วน 10:75:100 (w/w)

อุณหภูมิ (°C)	เวลาอบแห้ง (h)	ความชื้น (% d.b.) ครั้งที่ 1	ความชื้น (% d.b.) ครั้งที่ 2	ความแปรปรวน
50	0	451.50	-	-
	1	260.61		
	2	158.39		
	3	75.68		
	4	38.64		
	5	33.62		
	6	32.22		
	7	31.52		
	8	31.05		
	9	30.82		
70	0	457.95	435.56	15.83
	1	193.47	147.70	32.37
	2	40.16	38.32	1.30
	3	37.88	35.70	1.55
	4	36.21	32.66	2.51
	5	33.90	30.59	2.34
90	0	462.07	507.20	31.91
	1	71.08	65.41	4.01
	2	30.78	31.56	0.55
	3	30.42	30.85	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าแอคติวิตีของน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว: น้ำ:กล้วย (w/w)	แอคติวิตีของน้ำ ครั้งที่ 1	แอคติวิตีของน้ำ ครั้งที่ 2	แอคติวิตีของน้ำ เฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	5:75:100	0.290	0.250	0.270	0.03
	10:75:100	0.305	0.255	0.280	0.04
	15:75:100	0.278	0.331	0.305	0.04
90	5:75:100	0.329	0.313	0.321	0.01
	10:75:100	0.316	0.329	0.323	0.01
	15:75:100	0.283	0.288	0.286	0.00

ตารางที่ ก.6 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อพื้นที่รูพรุนทั้งหมด

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	พื้นที่รูพรุน ครั้งที่ 1	พื้นที่รูพรุน ครั้งที่ 2	พื้นที่รูพรุน เฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	10:75:100	104.94	69.67	87.31	24.94
	15:75:100	80.42	57.05	68.74	16.53
90	10:75:100	106.95	94.01	100.48	9.15
	15:75:100	64.18	84.82	74.50	14.59

ตารางที่ ก.7 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อร้อยละพื้นที่รูพรุน

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว: น้ำ:กล้วย (w/w)	ร้อยละพื้นที่ รูพรุนครั้งที่ 1	ร้อยละพื้นที่ รูพรุนครั้งที่ 2	ร้อยละพื้นที่ รูพรุนเฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	10:75:100	48.24	32.03	40.13	11.46
	15:75:100	37.39	31.75	34.57	3.98
90	10:75:100	49.16	42.26	45.71	4.88
	15:75:100	29.50	38.99	34.24	6.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อขนาดรูพรุนเฉลี่ย

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว: น้ำ:กล้วย (w/w)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ยครั้งที่ 1	ขนาดรูพรุนเฉลี่ยครั้งที่ 2	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	10:75:100	1.13	0.57	0.85	0.39
	15:75:100	0.65	1.27	0.96	0.43
90	10:75:100	1.08	0.66	0.87	0.30
	15:75:100	0.47	0.82	0.64	0.24

ตารางที่ ก.9 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อความแข็ง

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	ความแข็งครั้งที่ 1	ความแข็งครั้งที่ 2	ความแข็งเฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	5:75:100	2.97	3.88	3.43	0.64
	10:75:100	6.37	5.17	5.77	0.85
	15:75:100	5.97	6.54	6.25	0.41
90	5:75:100	2.91	3.06	2.99	0.10
	10:75:100	4.51	4.08	4.30	0.31
	15:75:100	5.86	6.13	5.99	0.19

ตารางที่ ก.10 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อความกรอบ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	ความกรอบครั้งที่ 1	ความกรอบครั้งที่ 2	ความกรอบเฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	5:75:100	281	175	228	74.95
	10:75:100	173	234	204	43.13
	15:75:100	136	129	133	4.95
90	5:75:100	295	266	281	20.51
	10:75:100	210	276	243	46.67
	15:75:100	206	200	203	4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าความสว่าง (*L**)

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	*L** ครั้งที่ 1	*L** ครั้งที่ 2	*L** เฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	5:75:100	68.70	67.93	68.32	0.54
	10:75:100	76.72	79.43	78.08	1.92
	15:75:100	75.80	76.71	76.26	0.64
90	5:75:100	63.87	67.06	65.47	2.26
	10:75:100	76.23	78.18	77.21	1.38
	15:75:100	74.31	75.24	74.78	0.66

ตารางที่ ก.12 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าความเข้มของสี (*C**)

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	*C** ครั้งที่ 1	*C** ครั้งที่ 2	*C** เฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	5:75:100	20.50	20.81	20.66	0.22
	10:75:100	15.63	16.56	16.10	0.66
	15:75:100	17.39	16.82	17.11	0.40
90	5:75:100	20.24	22.04	21.14	1.27
	10:75:100	21.60	20.50	21.05	0.78
	15:75:100	25.76	23.16	24.46	1.84

ตารางที่ ก.13 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าเฉดสี (*h*)

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	*h* ครั้งที่ 1	*h* ครั้งที่ 2	*h* เฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	5:75:100	80.31	81.17	80.74	0.61
	10:75:100	87.25	85.25	86.25	1.41
	15:75:100	87.15	84.95	86.05	1.56
90	5:75:100	82.27	81.51	81.89	0.54
	10:75:100	81.22	79.85	80.54	0.97
	15:75:100	81.57	82.64	82.11	0.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ผลของปริมาณไข่ขาวและอุณหภูมิต่อค่าความแตกต่างของสีก่อนและหลังอบ (ΔE^*)

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไข่ขาว:น้ำ: กล้วย (w/w)	ΔE^* ครั้งที่ 1	ΔE^* ครั้งที่ 2	ΔE^* เฉลี่ย	ความแปรปรวน
70	5:75:100	4.73	4.95	4.84	0.16
	10:75:100	3.87	3.01	3.44	0.61
	15:75:100	2.25	4.93	3.59	1.90
90	5:75:100	12.11	11.21	11.66	0.64
	10:75:100	7.89	9.34	8.62	1.03
	15:75:100	8.89	8.82	8.86	0.05

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปัจจัย

คนที่	สี				กลิ่น				รสชาติ				เนื้อสัมผัส								ความชอบโดยรวม			
													ความกรอบ				ความแข็ง							
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	1	2	3	4	3	3	3	2	4	3	3	3	5	4	4	3	5	4	4	3	3	2	4	3
2	5	2	3	3	4	2	2	3	4	2	3	3	5	2	2	3	4	3	2	3	4	2	3	3
3	5	2	2	3	5	3	2	2	5	4	3	2	5	5	2	2	5	5	2	2	5	4	3	2
4	2	2	2	4	3	2	2	2	4	4	2	2	5	3	2	2	4	3	2	2	4	3	2	2
5	2	4	4	3	3	4	3	3	2	5	3	3	3	4	2	2	3	4	2	2	3	4	3	2
6	4	5	4	3	4	5	4	3	5	5	3	3	5	5	3	2	5	5	2	3	5	5	3	4
7	3	2	3	3	4	3	2	3	5	5	3	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3
8	5	3	3	5	5	5	2	4	5	2	2	4	5	5	2	3	4	3	1	2	5	3	2	3
9	4	5	3	4	5	3	4	4	4	3	5	5	5	5	3	4	5	5	3	4	5	3	3	4
10	3	2	2	3	3	3	1	1	4	3	3	3	4	2	4	3	3	2	4	3	4	3	3	3
11	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4
12	2	4	4	3	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	2	3	5	4	2	3	2	5	3	3

A คือ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ, B คือ กล้วยอบแห้งแบบ Freeze-dried, C คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 70 °C, D คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 90 °C

คนที่	สี				กลิ่น				รสชาติ				เนื้อสัมผัส								ความชอบโดยรวม			
													ความกรอบ				ความแข็ง							
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	3	2	3	4	4	2	2	2	4	3	2	2	4	3	3	3	4	3	2	4	4	3	2	3
14	1	3	5	4	4	2	2	4	4	4	3	4	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	4	4
15	2	3	2	4	4	3	3	2	4	3	3	3	4	2	2	3	4	2	2	3	4	2	2	3
16	3	2	2	3	4	3	2	3	5	3	4	3	5	5	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
17	5	3	2	2	4	4	3	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	2	4	4	4	4	3	3
18	2	3	2	4	4	3	4	4	5	2	1	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	2	3	4
19	3	4	3	3	4	3	5	5	3	4	4	2	5	5	3	3	4	5	3	3	4	5	4	4
20	3	4	3	3	5	4	3	3	5	4	3	3	5	4	3	3	5	4	3	3	5	4	3	3
21	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	3	4	5	3	3	4	5	5	3	4	5	4	3	4
22	3	2	3	4	4	2	3	5	4	3	3	4	2	2	2	3	2	3	2	4	4	2	3	4
23	4	2	3	4	4	2	3	3	5	3	4	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3
24	4	4	2	4	4	5	4	3	4	5	3	2	5	5	1	3	5	5	2	1	4	5	2	3
25	2	4	2	4	2	4	4	2	2	4	3	2	4	5	4	2	3	3	3	3	2	5	4	2
26	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	3	3	3	2	1	1	3	2	1	1	4	3	3	2

A คือ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ, B คือ กล้วยอบแห้งแบบ Freeze-dried, C คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 70 °C, D คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 90 °C

คนที่	สี				กลิ่น				รสชาติ				เนื้อสัมผัส								ความชอบโดยรวม			
													ความกรอบ				ความแข็ง							
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
27	5	4	2	4	5	4	2	3	5	5	3	3	5	4	2	2	3	4	3	3	5	4	2	3
28	4	4	3	4	5	5	4	4	5	5	3	5	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4
29	5	5	3	3	3	3	3	3	5	5	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3
30	3	3	4	3	5	3	3	5	4	3	5	5	5	5	2	4	3	5	2	3	5	3	4	5
31	4	4	3	4	3	3	3	3	4	2	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3
32	4	3	3	4	3	2	3	3	5	2	2	1	4	3	1	1	4	3	1	1	4	2	2	3
33	3	4	4	3	3	3	2	4	2	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4
34	5	4	2	3	2	4	3	4	4	5	3	3	5	5	2	2	5	4	2	2	5	5	3	3
35	5	1	3	2	4	2	3	2	5	4	4	2	5	4	2	2	5	4	2	2	5	4	3	2
36	3	4	5	3	4	2	3	4	4	4	5	2	4	3	5	5	4	3	3	3	3	2	4	5
37	1	2	4	3	1	2	3	4	1	2	4	3	3	4	2	1	4	3	1	2	1	2	4	3
38	4	4	3	3	3	5	2	2	3	5	2	2	3	5	3	3	3	5	3	3	3	5	2	2
39	5	3	4	5	5	4	3	4	4	3	2	4	5	4	3	4	3	2	2	3	5	3	3	4
40	5	4	3	2	5	3	2	2	5	1	2	2	5	3	1	1	5	3	1	1	5	3	2	2

A คือ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ, B คือ กล้วยอบแห้งแบบ Freeze-dried, C คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 70 °C, D คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 90 °C

คนที่	สี				กลิ่น				รสชาติ				เนื้อสัมผัส								ความชอบโดยรวม			
													ความกรอบ				ความแข็ง							
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
41	4	3	3	4	4	3	4	4	3	5	3	4	3	5	3	4	3	5	4	3	3	4	3	4
42	5	4	3	4	5	5	3	4	5	5	3	4	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4	3	4
43	4	2	2	4	4	2	3	3	4	2	4	3	5	5	5	4	4	5	3	4	5	2	3	4
44	3	5	3	3	5	4	2	3	5	5	2	4	5	4	2	2	5	4	2	2	5	4	3	3
45	3	3	3	3	4	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	4	3	2	3	3	3	2	3
46	5	4	4	4	4	4	3	3	5	4	3	3	5	4	1	2	5	4	1	2	5	4	2	3
47	4	3	3	4	4	2	2	3	5	2	2	2	4	4	2	2	3	3	3	3	4	3	2	3
48	5	4	2	3	4	4	3	3	5	5	3	4	5	5	2	2	5	5	2	2	5	5	3	3
49	4	3	3	2	4	4	2	1	4	4	2	1	4	3	2	1	3	2	2	2	4	3	2	2
50	4	2	3	4	4	2	1	3	5	4	2	3	5	4	1	4	5	2	2	3	5	4	2	3

A คือ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ, B คือ กล้วยอบแห้งแบบ Freeze-dried, C คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 70 °C, D คือ โฟมกล้วยอัตราส่วนโปรตีนไข่ขาว:น้ำ:กล้วย 10:75:100 (w/w) ความชื้น 30% d.b. อบที่ 90 °C

มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข

แบบประเมินผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้า

ชื่อ_____เพศ_____

อายุ_____ปี

คำแนะนำ 1. กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอจากซ้ายไปขวา และเรียงลำดับความชอบให้ตัวอย่างที่ท่านชอบมากที่สุดด้วยเลข 1 ตัวอย่างที่ท่านชอบรองลงมาด้วยเลข 2 และ 3 ตามลำดับ ตัวอย่างที่ชอบน้อยที่สุดด้วยเลข 4 โดย

- ไม่อนุญาตให้จัดลำดับเท่ากัน
- กรุณาดื่มน้ำก่อนทดสอบตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง

ตัวอย่าง	258	324	685	852
ลำดับความชอบ				

คำแนะนำ 2. กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมาก 2 = ไม่ชอบ 3 = เฉยๆ 4 = ชอบ 5 = ชอบมาก

ลักษณะ		รหัส			
		258	324	685	852
1. สี					
2. กลิ่น					
3. รสชาติ					
4. เนื้อสัมผัส	ความกรอบ				
	ความแข็ง				
5. ความชอบโดยรวม					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำแนะนำ 4. กรุณาบอกระดับความรู้สึกด้านต่าง ๆ ของขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว้า

4.1. ลักษณะปรากฏ

สีผลิตภัณฑ์	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	ชืดมาก	ชืดปานกลาง	ชืดเล็กน้อย	เข้มเล็กน้อย	เข้มปานกลาง	เข้มมาก

4.2. รสชาติและกลิ่นรสหวาน	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	จืดมาก	จืดปานกลาง	จืดเล็กน้อย	หวานเล็กน้อย	หวานปานกลาง	หวานมาก

กลิ่นกล้วย	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	อ่อนมาก	อ่อนปานกลาง	อ่อนเล็กน้อย	เข้มข้นเล็กน้อย	เข้มข้นปานกลาง	เข้มข้นมาก
กลิ่นไข่ขาว	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	อ่อนมาก	อ่อนปานกลาง	อ่อนเล็กน้อย	เข้มข้นเล็กน้อย	เข้มข้นปานกลาง	เข้มข้นมาก

4.3. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ความกรอบ	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	ชื้นมาก	ชื้นปานกลาง	ชื้นเล็กน้อย	กรอบเล็กน้อย	กรอบปานกลาง	กรอบมาก
ความแข็ง	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	นิ่มมาก	นิ่มปานกลาง	นิ่มเล็กน้อย	แข็งเล็กน้อย	แข็งปานกลาง	แข็งมาก
ความเหนียว	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	ละลายมาก	ละลายปานกลาง	ละลายเล็กน้อย	เหนียวเล็กน้อย	เหนียวปานกลาง	เหนียวมาก

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้