การผลิตแป้งกล้วยหอมทองเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

PRODUCTION OF 'HOM THONG' BANANAS (*Musa acuminata*, AAA GROUP) FLOUR FOR BAKERY PRODUCTS

ปฏิญญา วิรุฬห์ชาตะพันธ์

PATINYA VIRULCHATAPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

KMITL-2020-FI-M-053-360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตแป้งกล้วยหอมทองเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

PRODUCTION OF 'HOM THONG' BANANAS (*Musa acuminata*, AAA GROUP) FLOUR FOR BAKERY PRODUCTS

ปฏิญญา วิรุฬห์ชาตะพันธ์

PATINYA VIRULCHATAPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

KMITL-2020-FI-M-053-360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2020

FACULTY OF FOOD-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตแป้งกล้วยหอมทองเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ
นักศึกษา	นางสาวปฏิญญา วิรุฬห์ชาตะพันธ์
รหัสประจำตัว	61608002
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันกล้วยถูกแปรรูปเป็นแป้งกล้วยเพื่อเพิ่มมูลค่าของกล้วย และถูกใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และเครื่องดื่มที่มีคุณสมบัติปราศจากกลูเต้น มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ และมีปริมาณสตาร์ชที่ทนย่อยต่อเอนไซม์สูง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ผลของความแก่ของกล้วยหอมทองที่ 60, 70, 80 และ 90 วัน ภายหลังการแทงปลีต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ค่าดัชนีการย่อย สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน และค่าการละลายของแป้งกล้วย อีกทั้งยังศึกษาหาชนิดและปริมาณสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกระบวนการแปรรูปแป้งกล้วย สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม และการนำแป้งกล้วยไปใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่า ระดับความแก่ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าสีเปลือกกล้วยเป็นสีเหลืองมากขึ้น ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่มีค่าลดลง ค่าดัชนีการย่อย และดัชนีน้ำตาลที่เพิ่มสูงที่สุดที่ระยะความแก่ 90 วัน จึงคัดเลือกกล้วยที่ระดับความแก่ 80 วัน มาศึกษาชนิดและปริมาณสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ระหว่างสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 เปรียบเทียบกับสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05 จากการวิจัยทำให้ทราบว่า การใช้สารละลายกรดซิตริกจะทำให้แป้งกล้วยหอมที่ได้มีสีที่สว่างกว่าการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ จากนั้นนำไปศึกษาสภาวะการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และแบบไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่าอุณหภูมิและกำลังไฟในการทำแห้งมีผลต่ออัตราการทำแห้ง และสีของแป้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอัตราการทำแห้งยิ่งเพิ่มสูงขึ้น และความสว่างลดลงเล็กน้อย โดยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศา เป็นเวลา 150 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง เพื่อให้ได้แป้งกล้วยหอมที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 เนื่องจากได้แป้งที่มีค่าความสว่างสูง และมีอัตราการทำแห้งที่เร็วที่สุด ส่วนการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ เมื่อเพิ่มกำลังไฟจะเพิ่มอัตราการทำแห้ง และค่าความสว่างลดลง โดยกำลังไฟที่เหมาะสม คือ 600 วัตต์ เป็นเวลา 70 นาที เนื่องจากแป้งกล้วยมีสีสว่าง และมีอัตราการทำแห้งที่รวดเร็วกว่า โดยการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศจะมีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอบแห้งแบบถาด เมื่อคำนวณปริมาณผลผลิตแป้งต่อชั่วโมง พบว่าการทำแห้งแบบถาดและไมโครเวฟสุญญากาศจะมีค่า เท่ากับ 380 และ 325.7 กรัม ตามลำดับ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แป้งกล้วยหอมทองทดแทนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เค้ก ขนมปัง ไส้ครีม และไอศกรีม พบว่าแป้งกล้วยหอมทองมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ประเภทไส้ขนมที่สูงที่สุด รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์ประเภทคุกกี้และทาร์ต และผลิตภัณฑ์ประเภทเค้กและขนมปัง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Production of 'Hom Thong' bananas (*Musa acuminata*, AAA group) flour for bakery products
Student	Miss Patinya Virulchatapan
Student ID.	61608002
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2020
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Naphatrapi Luangsakul

ABSTRACT

Nowadays, bananas are processed into banana flour for increasing the value of bananas. The banana flour is used as raw materials in various products such as bakery products and beverages. The banana flour has properties of gluten-free, high mineral contents, low glycemic index (GI), and high resistant starch content. This research is focused on the effect of unripe banana with 4 different maturity states: 60, 70, 80 and 90 days after blooming on the physicochemical properties, *in vitro* digestibility. This study is beneficial for banana oversupply and getting damage by windy. The result showed that the peel color of the 90 days was more brightness and yellowness value as compared to others. The 70 and 80 days had higher total starch content and lower glycemic index than the 60 and 90 days.

The 80 days was chosen to study the type and amounts of browning inhibitors, the citric acid solution concentration of 0.5, 1.0, and 1.5% w/w and 0.01, 0.03 and 0.05% w/w of sodium metabisulfite solution. The 1.5 %w/w of the citric acid solution was shown brighter banana flour than the use of sodium metabisulfite solution. And use at the concentration of 0.5 percent as a suitable amount for use in bakery products. Then, study the drying conditions with a tray dryer and vacuum microwave dryer. It was found that the drying temperature and power affected the drying rate and the color of the banana flour. When the temperature increased, the drying rate was increased and the brightness slightly decreased. The suitable condition of tray dryer, at a temperature of 70 °C for 150 minutes to produce the banana flour with moisture content below 12%, high brightness value and has the fastest drying rate. The microwave vacuum drying, when power is increasing that affected the drying rate was increased and the brightness decreases. The suitable power was 600 watts for 70 minutes because the banana flour has a bright color and a faster drying rate. The vacuum microwave drying has a faster drying rate than the tray dryer but

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the amount of flour produced per of tray drying and vacuum microwave drying was 380 and 325.7 grams, respectively.

The study of the possibility of using ‘Hom Thong’ banana flour for substitutes in products such as cakes, bread, cream filling and ice cream, found that Hom Thong banana flour was a good tendency for the bakery products such as a cookie, tart and especially thickening agent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้กรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้ความรู้ และตลอดจนแนวคิดข้อคิดเห็นเพื่อแก้ไขในข้อบกพร่องต่าง ๆ ให้ผ่านไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าจึงรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพร พืชกมุทร และ ดร.ระจิตร สุวพานิช ที่ให้ความอนุเคราะห์มาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ปรึกษา จนวิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท ไบโอฟอร์มอินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้วัตถุดิบ สถานที่ และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ นายกิตติภูมิ หาญพัฒนกิจพานิช นางสาววริญญา รอดภัย นางสาวณัฐนรี จันทเปรมจิตต์ นายศรีภูมิ เลาวกุล และ นางสาวชนากานต์ จันทร์ศิลา ผู้เชี่ยวชาญด้านขนมอบ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำแป้งกล้วยหอมทองไปทดสอบในการทำผลิตภัณฑ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณธิติ วิรุฬห์ชาตะพันธ์ (บิดา) คุณปราณี วิรุฬห์ชาตะพันธ์ (มารดา) และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษา และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาเสมอ รวมถึงรุ่นพี่รุ่นน้อง และเพื่อน ๆ ที่คอยสนับสนุนให้กำลังใจ และคำแนะนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นางสาวกรรณิการ์ กุลยะณี นางสาวอรวรา ฤทธิ์อุดมผล นางสาววลีพร วสิกรัตน์ นางสาวกชวรรณ จตุรัตน์ชัยพร และนางสาวพรรษพร เปล่งแสงศรี ที่คอยให้ความช่วยเหลือจนทำให้จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา และผู้ที่สนใจ และหากมีข้อความใดที่ผิดพลาดทางผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้

ปฏิญญา วิรุฬห์ชาตะพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎี	3
2.1.1 กล้วย	3
2.1.2 การจำแนกชนิดของกล้วยพันธุ์ปลูกในประเทศไทย	3
2.1.3 กล้วยหอมทอง	4
2.1.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยว	6
2.1.5 การแปรรูปของกล้วย	8
2.1.6 แป้งกล้วย	9
2.1.7 คุณสมบัติของแป้ง	12
2.1.8 แป้งต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์	14
2.1.9 การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร	16
2.1.10 การทำแห้ง	20
2.1.11 ขนมอบ	22
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	27
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	27
3.1.1 วัตถุดิบ	4
3.1.2 สารเคมีที่ในกระบวนการผลิตแป้งกล้วย	4
3.1.3 สารเคมีที่ในการวิเคราะห์	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ 28

3.1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตแป้งกล้วย 29

3.2 วิธีการทดลอง 29

3.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกล้วยหอมทองดิบ และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่แตกต่างกัน 29

3.2.2 ศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในการแปรรูปแป้งกล้วยหอมทอง 33

3.2.3 ศึกษาการทำแห้งที่เหมาะสมในการแปรรูปแป้งกล้วยหอม 34

3.2.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วยหอมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบ 35

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย 36

4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทองดิบ และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่แตกต่างกัน 28

4.1.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกล้วยหอมทอง 28

4.1.2 สมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยหอมทอง 39

4.1.3 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทอง 42

4.2 การศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในการแปรรูปแป้งกล้วยหอมทอง 48

4.3 การศึกษาวิธีการอบแห้งกล้วยหอมที่เหมาะสมเพื่อการแปรรูปเป็นแป้งกล้วย 50

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมน้ำอิสระของแป้งกล้วยหอมทองระหว่างการทำแห้ง 50

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าดัชนีสีน้ำตาลของแป้งกล้วยหอมทองระหว่างการทำแห้ง 54

4.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดแทนแป้งกล้วยหอมทองในผลิตภัณฑ์ขนมอบ 59

4.4.1 เค้กเนยสด (Butter cake) 59

4.4.2 เค้กฟองน้ำ (Sponge cake) 60

4.4.3 เค้กชิฟฟอน (Chiffon cake) 60

4.4.4 เค้กไข่ไต้หวัน 61

4.4.5 ฟินองเชียร์ (Financier) 61

4.4.6 แพนเค้ก 62

4.4.7 ครัมเบิล 62

4.4.8 ทาร์ต 63

4.4.9 คุกกี้เนย 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.10 ครัวซองค์เนยสด และครัวซองค์ช็อคโกแลต	64
4.4.11 โดนัท	64
4.4.12 ขนมปัง	65
4.4.13 ไอศกรีมวนิลา	66
4.4.14 ไส้เพรสตรี้ครีม	66
4.4.15 ไส้ราสป์เบอร์รี่ (Raspberry Filling)	67
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผลการทดลอง	68
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก	76
ภาคผนวก ข	79
ภาคผนวก ค	80
ภาคผนวก ง	82
ภาคผนวก จ	96
ภาคผนวก ฉ	97
ประวัติผู้เขียน	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พื้นที่ให้ผลผลิตและผลผลิตของกล้วยหอม ปี พ.ศ. 2552 ถึง 2557	5
2.2 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอม 100 กรัม	6
2.3 คุณค่าทางโภชนาการของแป้งกล้วยหอม 100 กรัม	10
2.4 สารเจือปนกลุ่มซัลไฟต์	18
2.5 ตัวอย่างปริมาณการใช้สูงสุดของสารเจือปนกลุ่มซัลไฟต์ในอาหาร	19
4.1 ผลค่าสีของเปลือกกล้วย เส้นผ่านศูนย์กลาง สัดส่วนเนื้อต่อเปลือก น้ำหนักเนื้อเฉลี่ยต่อ 1 ผล และ ผลผลิตของกล้วยที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน	38
4.2 ผลปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร และปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ ของกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน	38
4.3 ผลค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ดัชนีการย่อย และค่าดัชนีน้ำตาลของกล้วยที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน	41
4.4 กำลังการพองตัว และค่าการละลายของกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน	44
4.5 สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยหอมที่ได้จากกล้วยที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน	46
4.6 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความร้อนของแป้งกล้วยหอมที่ได้จากกล้วยที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน	47
4.7 ผลค่าสีของแป้งกล้วยต่อสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5 และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05	49
4.8 กำลังการผลิตแป้งกล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และไมโครเวฟสุญญากาศ	58
ภาคผนวก ฉ.1 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำเค้กเนยสด	97
ภาคผนวก ฉ.2 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำเค้กฟองน้ำ	98
ภาคผนวก ฉ.3 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำเค้กชิฟฟอน	99
ภาคผนวก ฉ.4 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำเค้กไข่ไต้หวัน	100
ภาคผนวก ฉ.5 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำฟินองเซียร์	102
ภาคผนวก ฉ.6 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำแพนเค้ก	103
ภาคผนวก ฉ.7 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำครัมเบิล	104
ภาคผนวก ฉ.8 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำทาร์ต	105
ภาคผนวก ฉ.9 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำคุกกี้เนย	105
ภาคผนวก ฉ.10 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำครัวซองค์	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ภาคผนวก ฉ.11 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำโดนัท	108
ภาคผนวก ฉ.12 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำขนมปัง	109
ภาคผนวก ฉ.13 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำไอศกรีมวานิลลา	110
ภาคผนวก ฉ.14 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำไส้เพรสตรี้ครีม	111
ภาคผนวก ฉ.15 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำไส้ราสป์เบอร์รี่	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การขนส่งกล้วย	7
2.2 รูปร่างและภาพหน้าตัดขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน	7
2.3 การจำแนกความสุกของกล้วยตามสีเปลือก	8
2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกล้วย	9
2.5 แป้งกล้วยจากกล้วยดิบ	10
2.6 ฟิล์มจากแป้งกล้วย	11
2.7 ผลิตภัณฑ์ขนมอบจากแป้งกล้วย	11
2.8 การเกิดเจลาติไนเซชั่นของเม็ดแป้ง	13
2.9 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์	17
2.10 เครื่องทำแห้งแบบถาด	21
3.1 ขั้นตอนการทำแป้งกล้วย	31
4.1 กล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน	37
4.2 ลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้งกล้วยจากกล้วยหอมทองระดับความแก่ต่าง ๆ	42
4.3 โครงสร้างผลึกและค่าความเป็นผลึกของแป้งกล้วยหอมทองด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	43
4.4 แป้งกล้วยหอมทองที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกและสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์	50
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระยะเวลาการอบแห้งกล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	52
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระยะเวลาการอบแห้งกล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังวัตต์ 450, 600 และ 800 วัตต์	52
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมน้ำอิสระและระยะเวลาการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	53
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมน้ำอิสระและระยะเวลาการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังวัตต์ 450, 600 และ 800 วัตต์	53
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) กับระยะเวลาการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	55
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) กับระยะเวลาการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไฟ 450, 600 และ 800 วัตต์	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index : BI) และเวลาด้วยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส 57

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index : BI) และเวลาด้วยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังวัตต์ 450, 600 และ 800 วัตต์ 57

4.13 เค้กเนยสดที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 59

4.14 เค้กฟองน้ำที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 60

4.15 เค้กชิฟฟอนที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 60

4.16 เค้กไข่ไต้หวันที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 61

4.17 ฟินองเชียร์ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 61

4.18 แพนเค้กที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 62

4.19 ครัมเบิลที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 62

4.20 ทาร์ตที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 63

4.21 คุกกี้เนยที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 63

4.22 ครัวซองค์เนยสด และครัวซองค์ช็อคโกแลตที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 64

4.23 โดนัทที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 64

4.24 ขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 65

4.25 ไอศกรีมที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 66

4.26 ไส้เพรสตรี้ครีมที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 66

4.27 ไส้ราสเบอร์รี่ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมทอง 67

ภาคผนวก ก.1 ตัวอย่างกล้วยหอมที่ระดับความแก่ 60, 70. 80 และ 90 วัน 76

ภาคผนวก ก.2 การปอกเปลือกกล้วยหอม 77

ภาคผนวก ก.3 การแช่กล้วยในสารละลายกรดซิตริก 77

ภาคผนวก ก.4 การหั่นสไลด์ด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร 77

ภาคผนวก ก.5 การจัดเรียงเนื้อกล้วยบนถาดอบ 78

ภาคผนวก ก.6 เครื่องบด Pin mill รุ่น ZM200 78

ภาคผนวก ค.1 เครื่องทำแห้งแบบถาด 80

ภาคผนวก ค.2 เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ 81

ภาคผนวก ง.1 เครื่องวิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ 88

ภาคผนวก ง.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาคผนวก ง.3 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกซ์โตรมิเตอร์	93
ภาคผนวก ง.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดของแป้ง	94
ภาคผนวก ง.5 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)	95
ภาคผนวก จ.1 สมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมที่ระดับความแก่ 70 วัน	96
ภาคผนวก จ.2 สมบัติด้านความร้อนของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมที่ระดับความแก่ 70 วัน	96
ภาคผนวก ฉ.1 ส่วนผสมเค้กเนยสดก่อนอบ	98
ภาคผนวก ฉ.2 ส่วนผสมเค้กฟองน้ำก่อนอบ	99
ภาคผนวก ฉ.3 ส่วนผสมเค้กชิฟฟอนก่อนอบ	100
ภาคผนวก ฉ.4 ขั้นตอนการทำเค้กไข่ไต้หวัน	101
ภาคผนวก ฉ.5 ส่วนผสมเค้กไข่ไต้หวันก่อนอบ	101
ภาคผนวก ฉ.6 ขั้นตอนการทำครัมเบิล	104
ภาคผนวก ฉ.7 ขั้นตอนการทำครัวซองค์	107
ภาคผนวก ฉ.8 ขั้นตอนการทำขนมปัง	109
ภาคผนวก ฉ.9 ขนมปังหลังอบ	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

กล้วยหอมเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต อุดมไปด้วยเส้นใย จึงได้รับความนิยมรับประทานในหลาย ๆ ประเทศ สามารถรับประทานแบบผลสุก หรือ นำไปผ่านกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เช่น การใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ขนมอบและเส้นก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น กล้วยหอมจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย การส่งออกไปในหลายประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งตลาดกล้วยของประเทศไทยในการส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นในปี 2018 พบว่ามีปริมาณ 2,069 ตัน (สมาคมการค้าเกษตรอินทรีย์ไทย, 2562) จึงทำให้เกษตรกรในหลายพื้นที่ให้ความสนใจในการปลูกกล้วยหอมกันเพิ่มขึ้น แต่พบว่าเกษตรกรในบางพื้นที่ประสบกับปัญหาภาวะราคาตลาดที่ไม่แน่นอนของกล้วยหอมทอง เนื่องมาจากการมีผลผลิตกล้วยที่สูงเกินความต้องการของผู้บริโภค ทำให้ราคาขายกล้วยต่ำลง และมีผลผลิตเหลือทิ้ง นอกจากนั้นยังมีปัญหาที่เกิดจากการล้มของต้นกล้วยเมื่อถึงฤดูที่มีพายุลมแรง ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อผลผลิตและส่งผลต่อการดำเนินชีวิตของเกษตรกร

การเก็บเกี่ยวกล้วยโดยทั่วไปเกษตรกรจะตัดกล้วยหอมจากต้นกล้วยที่มีอายุเครือ 70 ถึง 90 วัน หลังจากการแทงปลีของต้นกล้วย ซึ่งเป็นอายุที่เหมาะสมในการตัดเครือกล้วย จะได้กล้วยหอมที่มีลักษณะหวีสมบูรณ์ จำนวนผลกล้วยอยู่ประมาณ 12 ถึง 15 ผล แต่ในบางพื้นที่ที่มีการปลูกกล้วยหอมอาจประสบกับภัยธรรมชาติ ทำให้เกิดการล้มของต้นกล้วย เนื่องจากการออกเครือที่มีขนาดใหญ่หรือมีน้ำหนักที่มาก เมื่อมีลมแรงพัด ทำให้เกิดการโค่นล้มของต้นกล้วยก่อนถึงระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการแปรรูปกล้วยหอมทองให้เป็นแป้งกล้วยหอมทอง เพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นการแก้ปัญหากล้วยล้นตลาด หรือการสูญเสียจากภัยพิบัติ

ผลิตภัณฑ์แป้งกล้วยส่วนใหญ่ในประเทศไทย ได้จากกระบวนการผลิตกล้วยน้ำว้า ด้วยวิธีการทำแห้ง เช่น การตากแห้งด้วยแสงแดด หรือการทำแห้งในตู้อบลมร้อน และจะใช้กล้วยที่ระดับความแก่ที่หลากหลาย ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการทำแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยหอมทองดิบ เนื่องกล้วยหอมทองดิบจะมีปริมาณเส้นใยสูง และปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่ (จิรนาถ และคณะ, 2557) และยังเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการปลูกและบริโภค โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลและแป้งกล้วยหอมที่ระดับความแก่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาระดับความแก่ที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล วิธีและสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมในการแปรรูปกล้วยหอมทองเป็นแป้งกล้วยหอมทอง และศึกษาการใช้ประโยชน์ของแป้งกล้วยหอมทองในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และการประกอบธุรกิจเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลกล้วยหอมทอง และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ที่แตกต่างกัน

1.2.2 ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอมทอง

1.2.3 ศึกษาวิธีและสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมในการแปรรูปแป้งกล้วยหอมทอง

1.2.4 ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำแป้งกล้วยหอมทองไปใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงความแตกต่างของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของกล้วยที่ระดับความแก่ต่าง ๆ กัน และระดับความแก่ที่เหมาะสมในการนำไปทำแป้งกล้วยหอมทอง

1.3.2 ทราบชนิดและความเข้มข้นของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสมในการทำแป้งกล้วยหอมทอง

1.3.3 ทราบถึงสภาวะการทำแห้งแบบถาด และแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่เหมาะสมในการทำแป้งกล้วยหอมทอง

1.3.4 ทราบถึงการใช้ประโยชน์ของแป้งกล้วยหอมทองในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 กล้วย (Banana) (เบญจมาศ, 2558)

กล้วยเป็นพืชล้มลุกเขตร้อนที่มีความทนทาน และสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล มีถิ่นกำเนิดมาจากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศไทย พม่า กัมพูชา ทางเหนือของอินเดีย และจีนทางตอนใต้ พื้นที่เหล่านี้พบว่ามีการกระจายพันธุ์ของกล้วยอย่างมาก และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น รับประทานปลีหรือผลสุก นำเส้นใยจากกาบกล้วยมาทำเป็นเชือก เป็นต้น ในประเทศไทยมีการนำใบตองมาใช้ในการห่ออาหาร และทำเป็นงานฝีมือได้หลากหลาย เช่น การทำบายสี ทำกระทง หรือแม้กระทั่งการแกะสลักหยวกกล้วยนำมาใช้ในพิธีเผาศพ ที่เรียกว่า “การแทงหยวก” เป็นต้น

ประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของกล้วยป่า พบได้อยู่ 4 สายพันธุ์ คือ *Musa acuminate* Colla ssp. *malaccensis* (Ridl) Simmonds, *Musa acuminate* Colla ssp. *microcarpa* (Beccari) Simmonds, *Musa acuminate* Colla ssp. *burmannic* Simmonds และ *Musa acumminate* Colla ssp. *simea* Simmonds และต่อมาได้มีการนำกล้วยตานี และกล้วยอื่น ๆ เข้ามายังประเทศไทยในสมัยสุโขทัย

2.1.2 การจำแนกชนิดของกล้วยพันธุ์ปลูกในประเทศไทย

โดยใช้การจำแนกชนิดกล้วยตามพื้นฐานของ Simmonds และ Shepherd จากการให้คะแนนลักษณะภายนอกของกล้วย 15 ลักษณะ ได้แก่ สีกาบใบ ร่องกาบใบ ก้านช่อดอก ก้านดอก โอวุล ไหล่กาบปลี การม้วนของกาบปลี รูปร่างกาบปลี ปลายการปลี การซีดของกาบปลี รอยแผลกาบปลี กลีบรวมเดี่ยวหรืออิสระ สีดอกตัวผู้ สีดอกตัวเมีย และสีกาบปลี เพื่อบ่งชี้แยกความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างกล้วยป่า (*Musa acuminata*) กับกล้วยตานี (*Musa balbisiana*) กลุ่มที่มีลักษณะแบบ *M. Acuminata* จะได้คะแนนไม่ต่ำกว่า 15 คะแนน ส่วนกลุ่มที่มีลักษณะเหมือน *M. balbisiana* จะได้คะแนน 75 คะแนน คะแนนที่ได้สามารถบอกได้ว่ากล้วยสายพันธุ์นั้นมีต้นกำเนิดมาจากสายพันธุ์ใด สามารถแยกออกเป็นกลุ่มตาม จีโนมกล้วยทั้ง 2 ชนิด ดังนี้

2.1.2.1 กลุ่ม AA

ในประเทศไทยมีกล้วยกลุ่มนี้มีขนาดเล็ก รสหวาน ผิวบาง กลิ่นหอม รับประทานสด ได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยแดงเล็ก กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหอมจันทร์ กล้วยไข่ทองร่วง กล้วยไข่จีน กล้วยน้ำนม กล้วยน้ำไท กล้วยสา กล้วยหอม กล้วยหอมจำปา กล้วยทองกาบดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 กลุ่ม AAA

กล้วยกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่ กรอสมิเชล (Gross Michel) คาเวนดิช (Cavendish) และกล้วยครั่งหรือกล้วยนาก (Red or Green red) ผลมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มแรก รูปร่างผลเรียวยาว มีเนื้อนุ่ม รสหวาน กลิ่นหอม ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยนาก กล้วยครั่ง กล้วยหอมเขียว กล้วยกุ้งเขียว กล้วยหอมแม้ว กล้วยไข่พระตะบอง กล้วยคลองจัง

2.1.2.3 กลุ่ม ABB

กล้วยกลุ่มนี้เป็นลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี มีแป้งมาก ขนาดผลใหญ่ ไม่นิยมรับประทานสด เพราะเมื่อสุกรสไม่หวานมาก บางครั้งมีรสฝาด เมื่อนำมาต้ม ปิ้ง ย่าง และ เชื่อมจะทำให้รสชาติดีขึ้น ได้แก่ กล้วยหักมุกเขียว กล้วยหักมุกนวล กล้วยเปลือกหนา กล้วยส้ม กล้วยนางพญา กล้วยนมหมี กล้วยน้ำว้า

2.1.2.4 กลุ่ม ABBB

กล้วยในกลุ่มนี้เป็นลูกผสมเช่นกันจึงมีแป้งมาก และมีอยู่พันธุ์เดียวคือ กล้วยเทพรส ผลมีขนาดใหญ่มาก บางทีมีดอกเพศผู้หรือปลี ถ้าหากไม่มีดอกเพศผู้ จะไม่เห็นปลี และมีผลขนาดใหญ่กว่า มีหลายหวีและหลายผล กล้วยชนิดนี้มีเนื้อไม่ค่อยแน่น เมื่อสุกงอมเต็มที่จะมีรสหวาน แต่เมื่อทำไปทำให้สุกด้วยความร้อนจะมีรสหวานอมฝาด

2.1.2.5 กลุ่ม AABB

เป็นสายพันธุ์ระหว่างกล้วยป่า กับกล้วยตานี กล้วยในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียวในประเทศไทย คือ กล้วยเงิน ผลขนาดใหญ่รูปร่างคล้ายกล้วยไข่ เมื่อสุกผิวถีเหลืองสดใส มีแป้งมาก

2.1.2.6 กลุ่ม BBB

กล้วยในกลุ่มนี้เกิดจากกล้วยตานี (*Musa balbisiana)* เนื้อไม่ค่อยนุ่ม ประกอบด้วยแป้ง มากเมื่อสุกก็ยังมีแป้งมากอยู่ จึงไม่ค่อยหวานขนาดผลใหญ่ เมื่อนำมาทำให้สุกด้วยความร้อนจะทำให้รสชาติดีขึ้น เนื้อเหนียวนุ่ม เช่น กล้วยเล็บช้างกุด

2.1.3 กล้วยหอมทอง [Kluai Hom Thong, *Musa acuminata* (AAA group)] กลุ่มย่อยของ Gros Michel

กล้วยหอมทองเป็นกล้วยพันธุ์ปลูกหรือกล้วยที่กินได้ในกลุ่ม AAA เมื่อออกผลในหนึ่งเครือจะมี 4 ถึง 6 หวี ในหนึ่งหวีจะมีประมาณ 12 ถึง 16 ผล ผลกล้วยมีลักษณะผลใหญ่ กว้าง 3 ถึง 4 เซนติเมตร ยาว 21 ถึง 25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกชัด เปลือกบาง เมื่อสุกจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอม รสหวาน กล้วยหอมทองนิยมปลูกทั่วทุกภาค ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร และสุราษฎร์ธานี ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี สระบุรี นนทบุรี พระนครศรีอยุธยา และปทุมธานี ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยจะเริ่มแทงปลีออกมาหลังจากที่ปลูกประมาณ 10 เดือน จะมีการตัดปลีสุดท้ายที่ไม่สมบูรณ์ออก เพื่อให้ผลกล้วยที่เหลือสามารถเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ หลังจากตัดปลีไปประมาณ 3 ถึง 4 เดือน กล้วยหวีสุดท้ายจะเริ่มมีสีจางลง ผลกลม มีความแก่พอดีสามารถทำเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ผลผลิตของกล้วยหอมใน 2557 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยหอม 33,330 ไร่ และมีผลผลิตประมาณ 214,213 ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2556 พบว่า พื้นที่ให้ผลผลิตกล้วยหอมลดลงร้อยละ 83.25 และผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.36 ดังตารางที่ 2.1 (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560) กล้วยหอมเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรตวิตามิน และเกลือแร่ต่าง ๆ โดยคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยแสดงผลดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ให้ผลผลิตและผลผลิตของกล้วยหอม ปี พ.ศ. 2552 ถึง 2557

ปี	พื้นที่ให้ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
2552	4,501	17,548
2553	24,964	97,954
2554	25,468	129,991
2555	206,076	177,305
2556	199,002	180,977
2557	33,330	214,213

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอม 100 กรัม

องค์ประกอบต่อ 100 กรัม	ปริมาณสารอาหาร	หน่วย
พลังงาน	89	กิโลแคลอรี่
น้ำ	74.91	เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	1.09	เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	0.33	เปอร์เซ็นต์
น้ำตาล	12.23	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	22.84	เปอร์เซ็นต์
วิตามินเอ	64	หน่วยสากล
วิตามินบีสอง	0.1	มิลลิกรัม
ไนอะซีน	0.7	มิลลิกรัม
วิตามินบีหก	0.4	มิลลิกรัม
วิตามินซี	8.7	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	22.0	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	358.0	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	27.0	มิลลิกรัม

ที่มา : United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (2018)

2.1.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ในการเก็บเกี่ยวจะเลือกเครือที่สมบูรณ์ เครือที่สมบูรณ์ควรมีจำนวนหวีประมาณ 4 ถึง 6 หวี และในหนึ่งหวีที่สมบูรณ์จะมีจำนวนลูกประมาณ 12 ถึง 16 ผล และจะเก็บเกี่ยวผลกล้วยตั้งแต่ยังเป็นสีเขียว ขึ้นกับระยะทางของการขนส่ง เพื่อให้ง่ายต่อการขนส่ง และสุกอย่างเหมาะสมเมื่อไปถึงผู้บริโภค ระยะการเก็บเกี่ยวจะพิจารณาจากหลาย ๆ อย่าง เช่น ขนาดของผลกล้วย และเหลี่ยมของกล้วย นับจากวันที่ต้นมีมีการแทงปลีจนถึงวันเก็บเกี่ยวได้ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 3 ถึง 4 เดือน หลังจากออกดอก หากเก็บเกี่ยวเร็วเกินไป หรือกล้วยยังไม่แก่เต็มที่ ผลกล้วยจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมชัดเจน และมีลูกเล็ก การส่งออกกล้วยไปยังต่างประเทศที่ใช้เวลาการขนส่งนาน จะเก็บเกี่ยวกล้วยที่มีระดับความแก่ร้อยละ 70

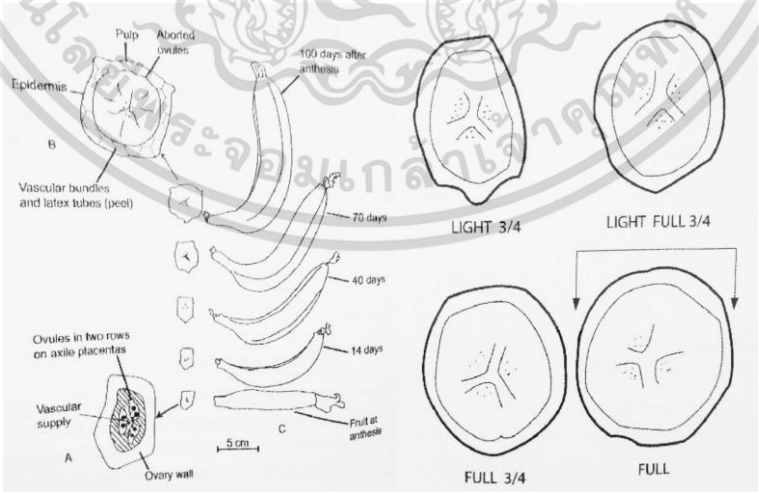
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 80 ซึ่งเป็นอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งในระยะทางไกล (ภาพที่ 2.1) เพื่อป้องกันการสุก ระหว่างการขนส่ง

การจำแนกมาตรฐานความแก่ของกล้วยจะใช้ลักษณะเหลี่ยมของผลกล้วยซึ่งมีลักษณะรูปร่างของผลกล้วยดังแสดงในภาพที่ 2.2 (เบญจมาศ, 2558) ในการจำแนก ได้แก่

- ผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลยหรือผลที่แก่เต็มที่ร้อยละ 100 (Full)
- ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจนหรือมีความแก่ประมาณร้อยละ 90 (Full 3/4)
- ผลที่เห็นเหลี่ยมชัดเจนหรือมีความแก่ประมาณร้อยละ 80 (Light full 3/4)
- ผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลที่โตเต็มที่หรือมีความแก่ร้อยละ 70 (Light 3/4)

ภาพที่ 2.1 การขนส่งกล้วย (ภาพถ่ายที่ตลาดไท)



ภาพที่ 2.2 รูปร่างและภาพหน้าตัดขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน

ที่มา : เบญจมาศ (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยเป็นพืชที่มีการใช้ประโยชน์ได้ทั้งผลดิบและผลสุก ระดับความสุกของกล้วยจำแนกออกด้วยค่าของสีของเปลือกได้เป็น 7 ระยะ ดังภาพที่ 2.3 ได้แก่ ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ยังไม่สุก ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเหลือง ระยะที่ 3 เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น แต่มีสีเขียวมากกว่า ระยะที่ 4 เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากกว่าสีเขียว ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง ปลายสีเขียว ระยะที่ 6 ผลสุกมีสีเหลือง ระยะที่ 7 ผลสุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม ผิวสีเหลืองเริ่มมีจุดสีน้ำตาล ดังภาพที่ 2.3 เป็นผลให้กล้วยในแต่ละระดับมีความแตกต่างทางเคมีและกายภาพหลาย ๆ ด้าน เช่น สี ขนาด รูปร่าง รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส เป็นต้น กล้วยที่ระดับความสุกที่ 1 ถึง 3 จะมีลักษณะสีเขียว เนื้อสัมผัสที่แข็ง และมีปริมาณสตาร์ชสูง ไม่เหมาะสมในการรับประทานเป็นผลสด เมื่อกล้วยที่แก่เต็มที่จะมีขนาด 15 ถึง 20 เซนติเมตร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสุก คุณค่าทางอาหารของกล้วยจะเปลี่ยนแปลงไป แป้งที่มีปริมาณสูงจะลดลง เปลี่ยนเป็นน้ำตาล

ภาพที่ 2.3 การจำแนกความสุกของกล้วยตามสีเปลือก

ที่มา : Tapre และ Jain (2012)

2.1.5 การแปรรูปของกล้วย

นอกเหนือจากการผลิตกล้วยเพื่อรับประทานเป็นผลสดหรือนำมาเป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารแล้ว ยังมีการนำกล้วยในแต่ละระดับความสุกมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด โดยบางครั้งการคัดเลือกผลกล้วยที่จะนำมาแปรรูปอาจเลือกจากผลผลิตกล้วยที่ไม่ได้ตามมาตรฐานของการขายกล้วย เช่น มีขนาดเล็กเกินไป หรือมีรอยบนผิวเปลือก เพื่อเป็นการลดการสูญเสียผลผลิต ยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าของกล้วย การแปรรูปของกล้วยทำได้หลายวิธีและใช้ระดับความสุกที่แตกต่างกันไป เช่น การทำพิวรีกล้วย (puree banana) กล้วยที่ใช้จะต้องเป็นผลสุกในระดับความสุกระยะที่ 7 นำมาบดและบรรจุในสภาพปลอดเชื้อ สามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น บรรจุกระป๋อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอศกรีม โยเกิร์ต เครื่องดื่ม และขนมอบ การทำกล้วยตากทำจากกล้วยที่สุกงอมแล้ว การทำแป้งกล้วยจากผลกล้วยดิบที่แก่เต็มที่ การทำกล้วยแผ่นแช่แข็ง (freeze dry banana slice) จากผลกล้วยสุกเต็มที่ และการหมักผลสุกสำหรับทำไวน์ เบียร์ และน้ำส้ม เป็นต้น (เบญจมาศ, 2558) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกล้วยหอมดังภาพที่ 2.4 คือ กล้วยตาก กล้วยบรรจุกระป๋อง และพิวรีกล้วย

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกล้วย

ที่มา : นิรนาม (2562)

2.1.6 แป้งกล้วย (banana flour)

แป้งกล้วยจะนิยมทำมาจากผลกล้วยที่ดิบนำมาทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ และบดเป็นผง เนื่องจากผลกล้วยดิบจะประกอบไปด้วยสัดส่วนของแป้งสูงถึงร้อยละ 73.4 (Surendra และคณะ, 2014) แป้งกล้วยที่ได้จึงมีความขาวกว่าแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยสุกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากแป้งไปเป็นน้ำตาลที่เข้มกว่าแป้งจากกล้วยดิบ (ภาพที่ 2.5) แป้งกล้วยอุดมไปด้วยแป้งที่ทนต่อการย่อย (resistant starch) เส้นใย และปริมาณโพแทสเซียมที่สูง ดังที่ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 2.3 และผลิตภัณฑ์แป้งกล้วยมีการกำหนดมาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 2 ครอบคลุมแป้งกล้วยที่ทำจากเนื้อกล้วย บรรจุในภาชนะบรรจุ มีลักษณะทั่วไปต้องเป็นผงละเอียด แห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของแป้งกล้วย มีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของแป้งกล้วย ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน ไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ทางด้านจุลินทรีย์ จำนวนยีสต์และราต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.5 แป้งกล้วยจากกล้วยดิบความสุกระยะที่ 1 (ซ้าย) และกล้วยสุกระยะที่ 4 (ขวา)
ที่มา : Pragati และคณะ (2014)

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของแป้งกล้วยหอม 100 กรัม

ส่วนประกอบต่อ 100 กรัม	ปริมาณสารอาหาร	หน่วย
พลังงาน	346	กิโลแคลอรี่
น้ำ	3	กรัม
โปรตีน	3.89	กรัม
ไขมัน	1.81	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	88.28	กรัม
เส้นใย	9.9	กรัม
น้ำตาล	47.3	กรัม
วิตามินเอ	248	หน่วยสากล
วิตามินบี 2	0.24	มิลลิกรัม
วิตามินบี 3	2.8	มิลลิกรัม
วิตามินบี 6	0.44	มิลลิกรัม
วิตามินซี	7	มิลลิกรัม
แคลเซียม	22	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	108	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	74	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	1491	มิลลิกรัม
โซเดียม	3	มิลลิกรัม

ที่มา : United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.1 ผลิตภัณฑ์จากแป้งกล้วย

1) ฟิล์มแป้งกล้วย

รศ.ดร.รังสินี โสธรวิทย์ ได้ทำการวิจัยและพัฒนา พลาสติกย่อยสลายได้ที่ทำจากแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ (ภาพที่ 2.6) และทำการปรับปรุงด้วยแป้งกล้วยดัดแปรเส้นใยจากกาบกล้วยและเคลือบด้วยโพลิแลคติกเอซิด (Polylactic acid, PLA) ที่ย่อยสลายได้ นำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการบีบอัด ได้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติแข็งแรงคงทน สามารถป้องกันความชื้นและก๊าซออกซิเจนได้ดี และเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

ภาพที่ 2.6 ฟิล์มจากแป้งกล้วย

ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2559)

2) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และขนมอบ

แป้งกล้วยสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์คบเคี้ยวและขนมอบได้หลากหลายชนิด เช่น คุกกี้ ขนมปัง เค้ก เป็นต้น (จุฑามาศ, 2558) โดยในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (ภาพที่ 2.7) จะมีการใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลีบางส่วนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลีเพียงชนิดเดียว

ภาพที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์ขนมอบจากแป้งกล้วย

ที่มา : จุฑามาศ (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 คุณสมบัติของแป้ง (กล้าณรงค์ , 2542)

2.1.7.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

น้ำภายในเม็ดแป้งจะประกอบไปด้วย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำในผลึก น้ำในรูปไม่อิสระ (bound water) และน้ำในรูปแบบอิสระ (free water) ซึ่งน้ำแต่ละชนิดจะมีการจับกับแป้งได้แตกต่างกัน โดยจะจับแน่นขึ้นตามลำดับ น้ำจะสามารถแพร่เข้าสู่โครงร่างแหไมเซลล์ภายในเม็ดแป้ง และเม็ดแป้งจะเกิดการละลายในน้ำได้เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลแป้งถูกทำลาย โมเลกุลน้ำจึงจับตัวกับหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของเม็ดแป้งจะละลายออกมา ทำให้การละลาย ความหนืด และความใสเพิ่มมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัว และความสามารถในการละลาย ได้แก่

1) ชนิดของแป้ง

- แป้งจากธัญพืช แป้งจำพวกนี้จะมีพันธะสูงที่สุด แต่มีกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายต่ำ เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูง ซึ่งทำให้โครงร่างแหมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น แป้งข้าว

- แป้งจากส่วนรากหรือลำต้น จะมีกำลังการพองตัวและการละลายสูงกว่าแป้งธัญพืช เนื่องจากจำนวนพันธะน้อยกว่า และมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ที่ต่ำกว่าแป้งธัญพืช ตัวอย่างเช่น แป้งมันสำปะหลัง

- แป้งจากส่วนหัว มีกำลังการพองตัวสูงเนื่องจากความแข็งแรงของพันธะร่างแหที่น้อย และมีหมู่ฟอสเฟตที่ช่วยให้การพองตัวมีค่าสูงยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น แป้งมันฝรั่ง

2) ความแข็งแรงร่างแหในเม็ดแป้ง

จำนวนพันธะและชนิดพันธะมีผลต่อความแข็งแรงของร่างแห นอกจากนั้นยังมีส่วนของปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคติน น้ำหนักโมเลกุล การจัดเรียงตัวและความยาวของอะมิโล-เพกตินที่มีผลต่อต่อลักษณะของร่างแหในเม็ดแป้ง

3) สารเจือปนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

ตัวอย่างเช่น การใส่สารลดแรงตึงผิวจะมีผลต่อกำลังการพองตัวของแป้ง หรือแป้งข้าวโพดที่มีการสกัดเอาไขมันออก จะช่วยให้มีการพองตัวที่สูงขึ้น เนื่องจากกรดไขมันสามารถยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งได้

4) ปริมาณแป้งในสาระละลายแป้ง

สารละลายที่มีปริมาณแป้งต่ำกว่าร้อยละ 20 จะมีการละลายสูงกว่าสารละลายแป้งที่มีแป้งสูงกว่าร้อยละ 20 และการพองตัวจะมากขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การดัดแปรแป้งทางเคมี

ตัวอย่างเช่น การดัดแปรด้วยกรด จะทำให้ให้เม็ดแป้งแตกกระจายออก ส่งผลให้การละลายและการพองตัวเพิ่มสูงขึ้น หรือการดัดแปรด้วยการทำครอสลิงจะส่งผลให้โครงสร้างพันธะมีความแข็งแรงมากขึ้น ความสามารถในการพองตัวและการละลายต่ำลง

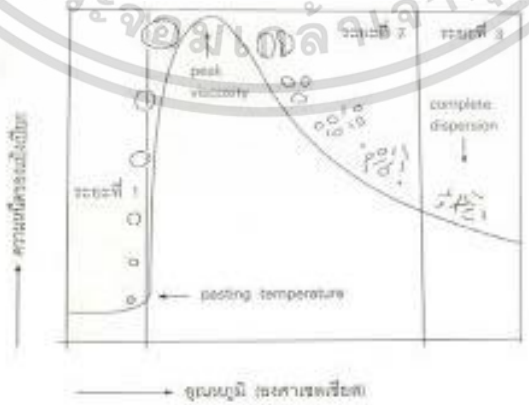
2.1.7.2 ความหนืด

ความหนืดของแป้งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแป้ง โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่าง ๆ กัน เช่น แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีลักษณะการพองตัวเม็ดแป้งน้อยมาก การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นจะได้แป้งที่มีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบและมีความคงตัวที่ดี ส่วนแป้งที่มีขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่จะมีกำลังการพองตัวและความหนืดสูง

2.1.7.3 การเกิดเจลาติไนซ์เซชั่น (Gelatinization)

เมื่อแป้งเกิดการดูดซับน้ำและให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างจะเกิดการคลายตัวลง เม็ดแป้งจะเกิดการดูดน้ำและพองตัว ส่งผลให้น้ำแป้งจะมีความหนืดและใสขึ้น และเม็ดแป้งจะเกิดการเคลื่อนไหวได้น้อยลง ทำให้เกิดลักษณะสารละลายแป้งที่ข้นหนืดขึ้น ซึ่งเรียกว่าการเกิดเจลาติไนซ์เซชั่น

การเกิดเจลาติไนซ์เซชั่นจะแบ่งได้เป็น 3 ระยะ โดยระยะแรก เม็ดแป้งจะเกิดการดูดซึมน้ำได้เล็กน้อย ความหนืดจึงมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มาก เมื่อให้อุณหภูมิที่สูงขึ้นแก่สารละลายแป้ง จะเข้าสู่ระยะที่สอง เม็ดแป้งจะเริ่มมีการพองตัวอย่างรวดเร็ว พันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างถูกทำลายร่างแหมีความอ่อนแรงลง เม็ดแป้งดูดซับน้ำเข้ามาก และเกิดการพองตัว ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกว่า การเกิดเจลาติไนซ์เซชั่น เม็ดแป้งจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และแป้งจะเริ่มมีการละลายออกมา เมื่อให้อุณหภูมิที่สูงขึ้น จะเข้าสู่ระยะที่ 3 ที่มีการละลายของเม็ดแป้งจะมีมากขึ้น และความหนืดจะลดลง



ภาพที่ 2.8 การเกิดเจลาติไนเซชั่นของเม็ดแป้ง

ที่มา : กล้าณรงค์ (2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.4 การเกิดรีโทรเกรเดชั่น (Retrogradation)

เมื่อสารละลายแป้งได้รับอุณหภูมิจนถึงจุดที่น้ำแป้งเกิดการเจลาติไนซ์เซชั่นแล้วให้ความร้อนต่อ เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลอะมิโลสภายในเม็ดแป้งจะกระจายออก ส่งผลให้สารละลายแป้งมีความหนืดน้อยลง เมื่อลดอุณหภูมิและปล่อยให้สารละลายแป้งเย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสจะเกิดเรียงตัวใหม่และจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่ที่เกิดขึ้นสามารถอุ้มน้ำโดยไม่ดูดน้ำกลับมาอีก และความหนืดมีความคงตัวมากขึ้น เกิดเป็นลักษณะเจลเหนียว เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชั่น หรือการคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิต่ำลง การเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า ซินเนอร์เรซิส (syneresis) เจลที่ได้จะมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปัจจัยการคืนตัวของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อนและให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรดด่างของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพคติน และองค์ประกอบทางเคมีภายในแป้ง

2.1.8 แป้งต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant starch) (ธนาภร, 2560)

แป้งต้านทานการย่อย คือ แป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์และไม่สามารถดูดซึมได้ภายในลำไส้เล็กของมนุษย์

2.1.8.1 ประเภทแป้งต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

- ประเภทที่ 1 Physically indigestible หรือ Physically trapped starch

แป้งที่มีโครงสร้างทางกายภาพเป็นแบบปิด ซึ่งเม็ดแป้งจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในผนังเซลล์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปย่อยแป้งได้ แต่เมื่อทำลายผนังเซลล์ด้วยกระบวนการเชิงกล เช่น โดยการบด เคี้ยว ซึ่งส่งผลให้เอนไซม์จะสามารถเข้าไปย่อยสลายแป้งได้

- ประเภทที่ 2 Native starch หรือ Ungelatinized granule หรือ แป้งดิบ

แป้งดิบจะเก็บสะสมแป้งอยู่ในรูปเม็ดแป้งที่แสดงสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ทำให้มองเห็นเม็ดแป้งในลักษณะที่เป็นรูปกากบาท (Maltese cross) ซึ่งเกิดจากโครงสร้างเม็ดแป้งที่มีการเรียงตัวเป็นระเบียบแบบโครงสร้างผลึก (Crystalline) ที่ทำให้เม็ดแป้งถูกย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้น้อยกว่าบริเวณอสัณฐาน (Amorphous) จึงมีความต้านทานต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส (α-amylase) แป้งประเภทนี้พบได้มากในกล้วยดิบ มันฝรั่งดิบ และแป้งข้าวโพดที่มีอะมิโลสสูง เป็นต้น

- ประเภทที่ 3 Retrograded starch หรือ แป้งคืนตัว

แป้งคืนตัวที่เกิดจากกระบวนการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ที่เกิดขึ้นหลังจากการเพิ่มอุณหภูมิให้แป้งดิบโดยผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชัน ซึ่งพันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกทำลายด้วยความร้อน ความเป็นผลึกและโครงสร้างที่เป็นระเบียบของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยแป้งได้มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งสูญเสียสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ เมื่อปล่อยให้สารละลายแป้งเย็นตัวลง อะมิโลสที่ออกมาจากเม็ดแป้งจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนแบบเกลียวคู่ ซึ่งเป็นผลึกที่มีความหนาแน่นยิ่งขึ้น ส่งผลให้แป้งคืนตัวมีความทนทานต่อการถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร เช่น แป้งในมันฝรั่งต้ม ขนมปัง คอร์นเฟลก เป็นต้น

- ประเภทที่ 4 Chemically modified starch หรือ แป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุล

แป้งที่มีการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของเม็ดแป้งโดยการใช้สารเคมีเพื่อให้แป้งมีความทนทานต่อการถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร เช่น สตาร์ชแอซีเตทที่มีการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของ เม็ดแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) โดยการแทนที่ด้วยสารที่มีหมู่ฟังก์ชันเพียงแอซีทิล แป้งที่ได้จะสามารถยับยั้งการคืนตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินหลังการเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน

2.1.8.2 ประโยชน์ของแป้งต้านทานการย่อย

แป้งต้านทานการย่อยจะเกิดกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่และเกิดผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กรดไขมันชนิดสายสั้นที่สำคัญ คือ แอซีเตท โพรพิโอเนต และบิวไทเรต ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเซลล์บริเวณลำไส้ และช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับระบบทางเดินอาหาร นอกจากนั้นยังช่วยให้จุลินทรีย์มีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนขึ้น เนื่องจากภายในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์เซลลูเลส ทำให้ย่อยใยอาหารชนิดๆไม่ได้ เช่น เซลลูโลส จึงมีส่วนช่วยเพิ่มมวลอุจจาระและกระตุ้นการขับถ่าย ช่วยป้องกันและลดอัตราการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้

อาหารที่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง จะมีค่าดัชนีน้ำตาล หรือ Glycemic Index (GI) ต่ำ ดังนั้นการรับประทานอาหารที่มีค่า GI ต่ำ เช่น ในถั่ว ธัญชาติและผัก เป็นต้น จะสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลให้เข้าสู่กระแสเลือดได้อย่างช้า ๆ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในระดับปกติได้ และยังช่วยเพิ่มความรู้สึกอิ่มและลดความอยากอาหารลงได้

ดัชนีค่าดัชนีน้ำตาลถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดว่ามากหรือน้อยภายหลังจากการบริโภคอาหาร และถูกดูดซึมในระบบการย่อยเป็นเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง โดยค่า GI ของอาหารแต่ละชนิดจะได้จากการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสหรือขนมปังขาวซึ่งมีค่า GI เท่า 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตสามารถจำแนกตามค่า GI ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (พันทิพา, 2563)

1) อาหารที่มีค่า GI ต่ำ จะมีผลของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 55 หรือน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานกลูโคส ตัวอย่างเช่น ถั่วและผัก อาหารที่มีเส้นใยสูง เมล็ดพืช ผลไม้ที่ไม่มีรสหวาน เช่น แอปเปิล เชอร์รี่ องุ่น ส้ม เป็นต้น

2) อาหารที่มีค่า GI ปานกลาง อาหารที่มีค่า GI ปานกลาง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 56 ถึง 69 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกลูโคส โดยอาหารที่มีค่า GI ปานกลางจะเป็นอาหาร ประเภทเส้น (pasta) ถั่วฝักเขียว มันเทศ ข้าวโพดหวาน ธัญพืชเต็มเมล็ด (whole grain) ส่วนผลไม้ที่มี GI ปานกลาง เช่น บลูเบอรี่ มะม่วง มะละกอ กล้วย

3) อาหารที่มีค่า GI สูง อาหารที่มีค่า GI สูง จะมี ผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดมากกว่าหรือเท่ากับ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกลูโคส โดยอาหารที่มีค่า GI สูง ได้แก่ ขนมปังขาว คอร์นเฟลค มันฝรั่งทอด เค้ก เป็นต้น

2.1.9 การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (Browning reaction)

เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนอาหารระหว่างการผ่านกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ หรือระหว่างการเก็บรักษา ในอุตสาหกรรมอาหารทั่ว ๆ ไป การเกิดสีน้ำตาลกับผลิตภัณฑ์อาหารจะเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ เนื่องจากสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และอาจยังเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าอาหารนั้นมีการเสื่อมคุณภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารพวกน้ำผลไม้ แป้ง นมผง ไข่ผง แยม และเยลลี่ รวมทั้งสีน้ำตาลของผักผลไม้ที่เกิดขึ้นภายหลังจากปอกเปลือกทิ้งเอาไว้ แต่ในอุตสาหกรรมอาหารบางกลุ่มการเกิดสีน้ำตาลเป็นลักษณะที่ต้องการให้ปรากฏบนผลิตภัณฑ์ เช่น การผลิตขนมปัง ชา กาแฟ และโกโก้ เป็นต้น

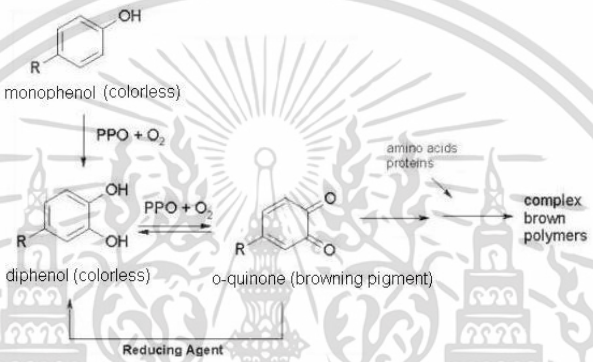
ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ปฏิกิริยา ต่อไปนี้

2.1.9.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ชนิดหนึ่งซึ่งมักพบในผัก ผลไม้ ชา กาแฟ โกโก้ และอาหารทะเล โดยเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของอาหารบริเวณที่มีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ สารตั้งต้น คือ สารประกอบฟีนอล เช่น แทนนินที่พบมากในผักและผลไม้ ไทโรซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโน แคทิชินซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์พบมากในชา สารตั้งต้นในกลุ่มสารประกอบฟีนอลจะถูกกระตุ้น เร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์กลุ่ม ฟีนอลเลส เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase, PPO) ที่ระดับค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง 5 ถึง 7 โดยจะเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกับองค์ประกอบสุดท้าย คือ ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวกับเอนไซม์นี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์เกิดการช้ำ ฉีกขาด เมื่อถูกกระแทก บด หั่น หรือสับ ทำให้เอนไซม์ สารที่ทำปฏิกิริยา (substrate) และออกซิเจนเข้ามาสัมผัสกัน สารโมโนฟีนอล (Monophenol) ที่เป็นโครงสร้างไม่มีสีจะถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล (Diphenol) ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นโครงสร้างออร์โทควิโนน (*o*-quinone) เมื่อทำปฏิกิริยาร่วมกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนจะเกิดเป็นสารสีน้ำตาล รวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ที่มีสีน้ำตาล เช่น เมลานิน (Melanin) ดังภาพที่ 2.9 ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลเป็นลักษณะที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในบางผลิตภัณฑ์ (สุวิมล, 2549)



ภาพที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ที่มา : สุวิมล (2549)

2.1.9.2 สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Antibrowning agents) (Weerayuth และ Supranee, 2010)

1) สารเพิ่มความเป็นกรด (Acidulates)

เป็นการชะลอการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสด้วยการลดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่ค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 4 การทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากมีการสูญเสียอะตอมทองแดงออกจากโครงสร้างบริเวณเร่งเอนไซม์ ตัวอย่างสารเพิ่มความเป็นกรด เช่น กรดซิตริก กรดออกซาลิก กรดทาร์ทาริก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สารรีดิวส์ซิง (Reducing agents)

รีดิวส์ให้โครงสร้างของออร์โทควิโนน (o-quinone) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลกลับเป็นโครงสร้างไดฟีนอลที่ไม่มีสี ดังภาพที่ 2.9 ตัวอย่างสารรีดิวส์ซิง เช่น กรดแอสคอบิก กรดซิตริก กรดอีริทอร์เบต สารซัลไฟต์ (Sulfite treatment) เป็นต้น

การใช้สารประเภทซัลไฟต์ โดยการจุ่มในสาระละลายซัลเฟอร์ หรือการรมควันสารประกอบประเภทซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulphite) เป็นต้น ซึ่งสารประเภทซัลไฟต์มีหลากหลายชนิดและมีหน้าที่แตกต่างกันไป ดังในตารางที่ 2.4 และยังเป็นสารเจือปนที่สามารถส่งผลต่อร่างกายมนุษย์ได้ หรือเป็นสารก่อภูมิแพ้ได้ จึงจะต้องมีการกำหนดปริมาณการใช้สูงสุดในแต่ละประเภทของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 สารเจือปนกลุ่มซัลไฟต์

สารกลุ่มซัลไฟต์	หน้าที่
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (INS: 220)	สารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น สารฟอกสี สารปรับปรุงคุณภาพแป้ง สารกันเสีย
โซเดียมซัลไฟต์ (INS: 221)	สารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น สารฟอกสี สารปรับปรุงคุณภาพแป้ง สารกันเสีย
โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ (INS: 222)	สารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น สารกันเสีย
โซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ (INS: 223)	สารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น สารฟอกสี สารปรับปรุงคุณภาพแป้ง สารกันเสีย
โพแทสเซียมเมทาไบซัลไฟต์ (INS: 224)	สารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น สารฟอกสี สารปรับปรุงคุณภาพแป้ง สารกันเสีย
โพแทสเซียมซัลไฟต์ (INS: 225)	สารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น สารกันเสีย
โซเดียมไทโอซัลเฟต (INS: 539)	สารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น สารช่วยจับอนุมูลโลหะ

ที่มา : ประกาศสำนักคณะกรรมการอาหารและยา (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างปริมาณการใช้สูงสุดของสารเจือปนกลุ่มซัลไฟต์ในอาหาร

หมวดอาหาร	ปริมาณสูงสุดที่อนุญาต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ผลไม้แช่แข็ง	500
ผลไม้แห้ง	500
สัตว์น้ำแช่เยือกแข็ง	100
น้ำตาลทรายขาวชนิดผลึก	70

ที่มา : ประกาศสำนักคณะกรรมการอาหารและยา (2559)

3) สารที่ยับยั้งการทำงานเอนไซม์ (Enzyme inhibitors)

ตัวอย่างเช่น กรดโคจิก และกรดซินนามิก ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากสารประเภทนี้มีโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส จึงทำให้เอนไซม์ไม่มีตำแหน่งที่สามารถทำปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาลได้

4) การใช้สารคีเลท (Chelating agents)

จับอะตอมทองแดงที่เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิ-เดสในตำแหน่งเร่ง ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่น กรดซิตริก กรดออกซาลิก กรดเอทิลดีอามีเอเตต โซเดียมไพโรฟอสเฟต เป็นต้น

5) สารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agents)

ตัวอย่างเช่น ไซโคเดกตริน (Cyclodextrin) และซิสเตอีน (Cysteine) สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลด้วยการตรึงเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนเพื่อยับยั้งปฏิกิริยา

6) การใช้เอนไซม์ยับยั้งการทำงาน (Enzyme treatments)

ตัวอย่างเช่น ฟิซิน (Ficin) โบรมีเลน (Bromelain) และ ปาเปน (Papain) ในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลทำได้โดยการเข้าจับบริเวณด้านที่มีการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส หรือยับยั้งการทำงานโดยการย่อยโปรตีน

2.1.9.3 ปฏิกิริยาที่ไม่ได้มาจากการกระทำของเอนไซม์ (Non-enzymatic browning)

ปฏิกิริยาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบของอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อสี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Mailard reaction)

เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (Reducing sugar) กับกรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดเป็นสารประกอบหลายชนิดที่ให้สีน้ำตาลและกลิ่นรสต่าง ๆ ทั้งที่พึงประสงค์ และไม่พึงประสงค์ เช่น สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อน การปิ้ง การทอด หรือการอบ เช่น ในการทำให้เนื้อสัตว์สุกด้วยวิธีการปิ้ง การอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสี หรือเกิดเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นบนผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยานี้ยังมีความสำคัญต่อการเกิดสี และกลิ่นหอมที่ได้จากการคั่วเมล็ดกาแฟ โกโก้ การทำคาราเมล ทอฟฟี่ ช็อคโกแลต น้ำปลา ซีอิ๊ว เป็นต้น

2) ปฏิกิริยาการเกิดสีคาราเมล (Caramelization)

เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำในปริมาณไม่มาก เกิดเป็นสารเฟอร์ฟิวราลที่ให้สีน้ำตาล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ฟอสเฟต กรด และเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก

2.1.10 การทำแห้ง (Dehydration process or drying)

การทำแห้งเป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากระบบของอาหารหรือการลดระดับความชื้นในอาหารลง โดยมีวัตถุประสงค์คือการถนอม และยืดอายุการเก็บรักษา โดยการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งโดยทั่วไปไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ นอกจากนั้นสภาวะทำแห้งยังส่งผลต่อการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้บางส่วน

2.1.10.1 การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้ง (สักกมน, 2555)

สามารถจำแนกได้ตามวิธีการให้ความร้อนกับวัสดุได้ 2 ประเภท

1) เครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยตรง (Direct dryer) หรือเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อน (Convective dryer)

วัสดุจะได้รับความร้อนโดยตรงจากตัวกลางที่พาความร้อนในการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งประเภทนี้นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปมักใช้อากาศร้อนหรือไอน้ำร้อนยิ่งยวดเป็นตัวกลางการอบแห้ง หรืออาจใช้ก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง แต่การพาก๊าซร้อนอาจไม่เหมาะสมกับการอบแห้งอาหาร เนื่องจากอาจมีการปนเปื้อนสารเคมีที่อาจเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น สารจำพวก Polycyclic aromatic hydrocarbon เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะต้องมีการให้ตัวกลางการอบแห้งปริมาณมากผ่านเข้าไปในเครื่องอบแห้ง ดังนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้จึงมีขนาดใหญ่

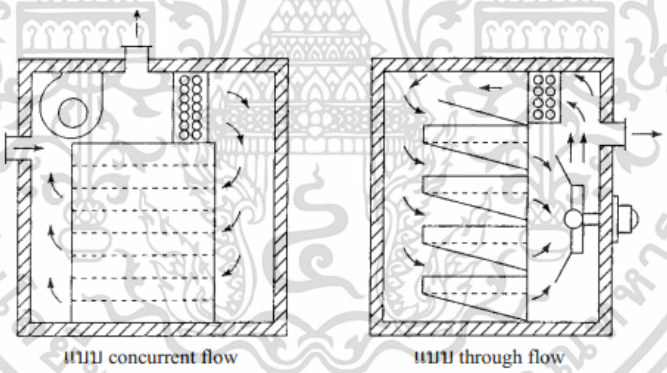
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยอ้อม (Indirect dryer) หรือเครื่องอบแห้งแบบนำความร้อน (Conductive dryer)

เป็นการอบแห้งที่ตัวกลางให้ความร้อนไม่ได้สัมผัสกับวัสดุที่ต้องการทำแห้งโดยตรง เป็นการให้ความร้อนผ่านผนังกั้น เช่น ไอน้ำ อากาศร้อนหรือน้ำมันร้อน ในบางครั้งจึงมีใช้ร่วมกับวิธีอื่น ๆ ด้วย เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้ง เช่น การทำแห้งที่สภาวะสุญญากาศ การอากาศเป่าที่ความเร็วต่ำเพื่อไล่ความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุป้องกันสภาวะอิ่มตัวของไอในห้องทำแห้ง ที่อาจส่งผลต่อการทำแห้งได้ยากขึ้นของวัสดุ เครื่องทำแห้งประเภทนี้ไม่มีการสัมผัสโดยตรงกับตัวกลางให้ความร้อน จึงทำให้ไม่มีความเสี่ยงในเรื่องการระเบิดหรือติดไฟสำหรับวัสดุที่ติดไฟง่าย และอาจมีการใช้การแผ่รังสีความร้อนหรือการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นไมโครเวฟร่วมด้วย

2.1.10.2 เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer)

นำวัตถุดิบวางไว้ในถาด ตะแกรง หรือแผ่นที่มีรูพรุน แล้วเป่าลมร้อนขนานไปกับผิวหน้าวัตถุดิบ หรือเป่าตั้งฉากกับก้นถาดที่ยอมให้ลมผ่านได้ ลมร้อนจะผ่านเข้าไปในชั้นวัตถุดิบ เป็นทำงานแบบกะ (batch) หรือใช้กับการควบคุมแบบโปรแกรมซึ่งปรับอุณหภูมิ เป็นเครื่องที่เหมาะกับโรงงานต้นแบบ เนื่องจากเป็นเครื่องที่มีการลงทุนต่ำแต่ ดังภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของเครื่องอบแบบถาด



ภาพที่ 2.10 เครื่องทำแห้งแบบถาด
ที่มา : นิรนาม (2558)

2.1.10.3 **การทำแห้งด้วยการแผ่รังสีและการใช้คลื่น** (สักกมน, 2555)

1) เครื่องทำแห้งแบบใช้รังสีอินฟราเรด

เครื่องทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การแผ่รังสีย่านใกล้อินฟราเรด (Near infrared) ที่มีความยาวคลื่น 0.75 – 3.0 ไมโครเมตร และรังสีย่านไกลอินฟราเรด (Far infrared) ที่มีความยาวคลื่น 25 – 100 ไมโครเมตร โดยข้อดีของการทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด คือ เป็นการให้ความร้อนกับวัสดุโดยตรง ทำให้ไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อม และมีอัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งสูง แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดอาจเป็นเซรามิกที่ถูกเผาด้วยก๊าซร้อน หรืออาจเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า การใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีเพียงอย่างเดียวจะทำให้ต้นทุนสูง จึงมักใช้ร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อนหรือการนำความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระเหยน้ำจากผิวหน้าซึ่งวัตถุดิบยังมีอัตราความชื้นสูงอยู่จะใช้วิธีอบด้วยลมร้อน เมื่ออัตราความชื้นลดต่ำลงและพื้นผิวระเหยเคลื่อนที่ลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบแล้ว จึงนำการอบด้วยการแผ่รังสีเหล่านี้มาใช้ร่วมด้วย จะทำให้ภายในวัตถุดิบมีอัตราความชื้นสม่ำเสมอและเพิ่มอัตราเร็วในการอบให้สูงขึ้น

2) เครื่องทำแห้งแบบใช้คลื่นไมโครเวฟ

เป็นการทำแห้งที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ ทำให้โมเลกุลของสารที่มีขั้ว (Polar compounds) เช่น น้ำในวัสดุเกิดการเคลื่อนที่กลับไปมาตามทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟ และเกิดการเสียดสีของโมเลกุลเกิดเป็นความร้อนขึ้นภายในวัสดุ (Volumetric heating) เป็นการให้ความร้อนโดยที่ไม่ต้องนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในวัสดุ ซึ่งทำให้อัตราการอบแห้งสูง ใช้เวลาน้อย และได้รับความนิยมสูงขึ้น คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้งจะมีความถี่อยู่ในช่วง 300 – 3,000 เมกะเฮิร์ซ โดยความถี่ที่อนุญาตให้ใช้เชิงอุตสาหกรรมจะอยู่ช่วง 2,450 และ 915 เมกะเฮิร์ซ แต่มีข้อจำกัดคือ เครื่องมือมีราคาแพง และใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานร้อยละ 50 การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น มีรูพรุนจากการพองตัว เนื่องจากน้ำภายในวัสดุเดือด และระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว

นิยมใช้การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับวิธีการทำแห้งแบบอื่นๆ เช่น ใช้อากาศร้อน ทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

2.1.11 ขนมอบ (Bakery product) (นิรนาม, 2556)

ขนมอบเริ่มมีขึ้นในยุคหิน โดยเป็นผู้ริเริ่มนำเมล็ดข้าวสาลีมาบดให้แตก ผสมน้ำ ทำให้สุกบนแผ่นหินเผาไฟ จะได้อาหารลักษณะเป็นแผ่น ข้างในเหนียว นับเป็นขนมปังชนิดแรกของโลก ต่อมาชาวอียิปต์ได้พัฒนาจากขนมปังที่เป็นก้อนแน่น ให้มาเป็นก้อนโปร่งฟูขึ้น ซึ่งมาจากที่ชาวอียิปต์หมักก้อนแป้งแล้วลืมทิ้งไว้ และได้นำมาผสมกับแป้งที่ทำใหม่เพื่อให้ขนมขึ้นฟู นอกจากนั้นชาวอียิปต์ยังได้นำดินเหนียวมาทำเป็นภาชนะเพื่อใช้ในการอบขนมแทนแผ่นหิน ซึ่งถือว่าเป็นเตาอบชนิดแรกของโลก และเตาอบชนิดนี้ แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นล่างไว้ก่อไฟ ชั้นบนสำหรับอบขนม

ในสมัยกรีกได้พัฒนาการทำขนมปัง โดยปั้นเป็นก้อนกลมรี น้ำหนักก้อนละ 1 ปอนด์ และเปลี่ยนรูปแบบเตาอบเป็นลักษณะคล้ายรวงผึ้ง ซึ่งยังใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงเหมือนเดิม ต่อมาในสมัยโรมัน ก็มีการพัฒนาเทคโนโลยีการทำขนมปังเพิ่มขึ้น โดยสร้างเครื่องผสมซึ่งประกอบด้วยอ่างหินและพายไม้ และก็พัฒนามาเรื่อย จนถึงศตวรรษที่ 13 ชาวฝรั่งเศสได้บันทึกถึงความก้าวหน้าของการพัฒนาเครื่องทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนมปัง และชนิดของขนมปัง และเมื่อกลางศตวรรษที่ 20 เป็นต้นมา อุตสาหกรรมขนมอบก็เริ่มเกิดขึ้นและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ในประเทศไทย พบหลักฐานในปี พ.ศ. 2230 จากจดหมายเหตุของนักบวชชาวฝรั่งเศส เขียนรายงานเรื่องการซื้อแป้งสาลีมาทำขนมปังในสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ปี พ.ศ.2399 จากรายงานของกัปตันเทาเซนต์ แฮรีส ว่ามีการนำแป้งสาลีจากฮ่องกงเพื่อทำขนมปังสำหรับงานเลี้ยงในพระราชวังสมัยสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว

นภัสรพี และสวามินี (2559) ได้แบ่งประเภทของขนมอบเป็น 7 ประเภท ดังนี้

2.1.11.1 ขนมปัง (Bread)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ยีสต์ในการบ่มให้ขึ้นฟู ซึ่งจะมีส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้งสาลี ยีสต์ เกลือ น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เช่น นม ไข่ เนย น้ำตาล แล้วนำมานวดจนเป็นก้อนโด สามารถแบ่งชนิดของขนมปังได้เป็น 4 แบบ ได้แก่ ขนมปังไขมันต่ำ (ร้อยละ 0 ถึง 3) ขนมปังไขมันปานกลาง (ร้อยละ 3 ถึง 6) ขนมปังไขมันสูง (ร้อยละ 6 ถึง 12) และขนมปังไขมันสูงมาก (ร้อยละ 12 ถึง 24)

2.1.11.2 เค้ก (Cake)

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเค้ก ได้แก่ แป้งสาลี น้ำตาล เกลือ ผงฟู นม ไข่ ไขมัน และกลิ่นรส แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1) เค้กที่มีไขมันสูง (High-fat or Shortened cakes)

เป็นเค้กที่มีปริมาณไขมันสูง การขึ้นฟูของเค้กเกิดจากอากาศที่ได้จากการตีเนยโดยเม็ดไขมันจะเก็บอากาศไว้และจะขยายตัวในระหว่างการอบ ซึ่งมีวิธีตีผสมหลากหลายวิธี เช่น แบบตีครีม แบบสองขั้นตอน และแบบบัตเตอร์สปันจ์

2) เค้กที่มีไขมันต่ำ (Low-fat)

เป็นเค้กที่มีไข่เป็นองค์ประกอบหลัก และเป็นโครงสร้างหลักในการขึ้นฟู มีลักษณะเนื้อนุ่มฟู และแห้งปานกลาง แบ่งการผสมได้ 3 วิธี ได้แก่ สปันจ์ แองเจิลฟู้ด และชิฟฟอน

2.1.11.3 บิสกิต แครกเกอร์ และคุกกี้

มีส่วนผสมหลัก เช่น แป้ง น้ำตาล และไขมัน ซึ่งสามารถแบ่งชนิดได้ ดังนี้

1) ฮาร์ดโด (Hard dough) มีองค์ประกอบของน้ำตาลและไขมันในปริมาณไม่สูง และต้องมีปริมาณกลูเต้นที่สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ เช่น แครกเกอร์ เพรตเซล

2) เซมิฮาร์ดโด (Semi-hard dough) มีน้ำตาลและไขมันสูงกว่ากลุ่มแรก และทำให้เนื้อโดมีลักษณะร่วน หลังอบจะได้แป้งกรอบและร่วน

3) ซอฟต์โด (Soft dough) ปริมาณน้ำตาลและไขมันสูง จนทำให้เนื้อแป้งมีลักษณะเป็นของเหลว สำหรับการหยอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สปันจ์บิสกิต (Sponge biscuit) มีปริมาณไข่สูง จึงมีลักษณะจับอากาศในไข่ได้ เช่น มาเดอลีน มาการอง เมอแรง

5) เวเฟอร์ (Wafer) เป็นกลุ่มที่ส่วนผสมเป็นของเหลวแบทเทอร์ ทำให้สุกโดยการใช้แผ่นเหล็กร้อน 2 แผ่นประกบกัน

2.1.11.4 เพสตรี้ (Pastry)

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเพสตรี้เป็นส่วนผสมหลักมีดังนี้ แป้งสาลี ไขมัน น้ำ เกลือ ไข่ มี 3 ชนิดคือ พายร่วน พายชั้น และชูเพสตรี้ โดยที่พายชั้นและพายร่วนจะมีปริมาณไขมันสูง แต่ชูเพสตรี้จะมีปริมาณน้ำสูงกว่าเพื่อให้มีแรงดันไอน้ำเพียงพอให้ขนมขึ้นฟู เป็นโพรงอากาศ เช่น เอแคลร์ ชูครีม

2.1.11.5 ขนมปังแบบทำเร็ว (Quick bread)

เป็นขนมที่ใช้เวลาในการทำไม่นาน ไม่ต้องใช้ยีสต์ หรือการนวด แต่ขนมจะขึ้นฟูได้ด้วยสารขึ้นฟู คือ ผงฟูและเบกกิ้งโซดา ขนมปังกลุ่มนี้ได้แก่ แพนเค้ก มัฟฟิน สโคน ขนมปังกล้วยหอม

2.1.11.6 คัสตาร์ด มูส และพุดดิ้ง

มักใช้เป็นส่วนประกอบที่สอดไส้ในเค้กหรือขนมปัง แบ่งออกได้หลายๆ ชนิด เช่น ครีมคาราเมล พ็อตครีม เครมบูเล่ เพสตรี้ครีม พุดดิ้ง พานาคอตต้า ซูเฟล เป็นต้น

2.1.11.7 กลุ่มพิเศษ

กลุ่มขนมอบที่ไม่สามารถแยกประเภทได้ เช่น คัพเค้ก วาฟเฟิล โดนัท ขนมปังขาไก่ ครัมเบิ้ล เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น (2545) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยน้ำว้าที่ระดับความแก่ร้อยละ 70 ถึง 100 พบว่าขนาดเส้นรอบวง ลักษณะเหลี่ยมของผลกล้วย และระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวภายหลังการแทงปลีสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ เมื่อศึกษาลักษณะทางเคมีของแป้งกล้วยที่มีความแก่มากกว่า จะมีปริมาณน้ำตาล และโปรตีนสูงขึ้น ซึ่งแปรผกผันกับปริมาณเส้นใยและคาร์โบไฮเดรตที่ลดลง แป้งกล้วยจะมีปริมาณอะมิโลสประมาณร้อยละ 21 ถึง 23 และประกอบด้วยสตาร์ชร้อยละ 60 เมื่อความแก่เพิ่มขึ้นลักษณะของเม็ดแป้งกล้วยจะมีขนาดใหญ่ คงทนต่อแรงเฉือน และดูดซับน้ำลดลง

นวพร และ จันทรสุดา (2556) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมสดโดยใช้แป้งกล้วยน้ำว้าดัดแปรเป็นสารให้ความคงตัวเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัวทางการค้า 3 ชนิด ได้แก่ กัวร์กัม คาราจีแนน และเพคติน ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนัก) ผลคุณภาพทางเคมีของทุกสูตรมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 19 ถึง 23 องศาบริกซ์ ร้อยละการขึ้นฟู 9.09 ถึง 9.69 และความหนืดที่ไม่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื้อสัมผัสไอศกรีมนมสดสูตรที่ใช้แป้งกล้วย เพคติน และคาราจีแนน มีค่าความแข็ง การเกาะกัน และความเหนียวติดกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กัวร์กัม มีค่าความแข็ง การเกาะกัน และความเหนียวติดกันสูงที่สุด ในการประเมินทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมสดทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

Zuwariah และ Aziah (2009) ทำการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วย (BF) และแป้งกล้วยดัดแปร (MBF) ที่ระดับร้อยละ 10 และ 20 และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของขนมปัง เช่น สตาร์ชต้านทานการย่อย และปริมาณฟีนอลทั้งหมด พบว่าการทดแทนแป้งกล้วยร้อยละ 10 ขนมปังมีปริมาตรสูงสุด อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 20 จะได้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำสุด แต่ได้คะแนนในการยอมรับโดยรวมสูงสุด เมื่อทนแทนแป้งกล้วยมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างของขนมปังลดลง การวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของการทดแทนด้วยแป้งกล้วยและแป้งกล้วยดัดแปรจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้ขนมปังมีขนาดเล็กลง เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจากร้อยละ 10 เป็น ร้อยละ 20 ปริมาณสตาร์ชทนย่อย และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แป้งดัดแปรที่มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงกว่าแป้งกล้วย แต่มีปริมาณฟีนอลรวมต่ำกว่า สรุปได้ว่าการทดแทนแป้งกล้วยจะช่วยในการเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อย และปริมาณฟีนอลิกในขนมปัง

Yingqiang และคณะ (2012) ได้ศึกษาการใช้แป้งกล้วยดิบใช้เป็นส่วนผสมทดแทนแป้งมันสำปะหลังบางส่วนในการผลิตของว่างสองประเภท ได้แก่ แครกเกอร์ปลา และแครกเกอร์มันสำปะหลัง โดยแครกเกอร์ปลาจะแทนที่แป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 0 ถึง 50 ของแป้งมันสำปะหลัง และทดแทนในแครกเกอร์มันสำปะหลังร้อยละ 0 ถึง 25 ของแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อทดแทนแป้งกล้วยดิบเพื่อสูงขึ้นจะมีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น และมีปริมาณแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้น จากการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าแครกเกอร์ปลา และแครกเกอร์มันสำปะหลัง มีระดับการทดแทนแป้งกล้วยที่ยอมรับได้ไม่เกิน 40 และ 15 กรัมโดยน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม ตามลำดับ โดยแครกเกอร์ปลาที่แทนที่ด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 40 จะมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.02 ± 0.01 กรัม เป็น 4.94 ± 0.15 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ส่วนแครกเกอร์ปลาที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 15 จะมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นจาก 0.01 ± 0.01 กรัม เป็น 1.49 ± 0.15 กรัม ต่อตัวอย่าง 100 กรัม และมีค่าความกรอบเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยจะมีสีเข้มกว่า มีคะแนนด้านสีต่ำกว่าสูตรที่ไม่ทดแทนแป้งกล้วย

Pragati และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาผลของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยดิบ (ระยะ 1) และกล้วยสุก (ระยะ 4) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน พบว่าแป้งกล้วยดิบมีค่าความสว่าง (L*) 81.32 สูงกว่าแป้งกล้วยสุกที่มีค่า 80.62 และมีค่าการละลายของแป้งกล้วยดิบมีค่าเท่ากับ 0.99 ซึ่งสูงกว่าแป้งกล้วยสุกที่มีค่า 0.90 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ พบว่าแป้งกล้วยดิบมีค่า 5.7 ส่วนแป้งกล้วยสุกมีค่า 5.0 เนื่องจากการมีน้ำตาลอยู่ในแป้งกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุกทำให้ความความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศสูงกว่าแป้งกล้วยที่ไม่สุก แต่เมื่อเก็บรักษาแป้งทั้ง 2 ชนิดเป็นเวลา 60 วัน พบว่าค่าความสว่าง ค่าการละลาย และความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง

Sunitha และคณะ (2017) ทำการศึกษาผลของคุณภาพของแป้งกล้วยดิบ โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบต่าง ๆ ได้แก่ การอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบด การอบแห้งพลังแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยแสงแดด การอบแห้งในเตาอบ และการอบแห้งด้วยออสโมติกที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (30, 40 และ 50%) กล้วยถูกหั่นให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร และนำไปนึ่ง ตามด้วยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้นร้อยละ 0.25 และแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 1 นำไปทำแห้งแล้วบดให้เป็นผงแป้ง จากนั้นวิเคราะห์แป้งกล้วย และทำการศึกษาเปรียบเทียบสำหรับเทคนิคการทำแห้งแบบต่าง ๆ ศึกษาผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ ปริมาณความชื้นจะอยู่ในช่วงร้อยละ 3.3 ถึง 5.8 เถ้ามีปริมาณร้อยละ 1.5 ถึง 2.2 โปรตีนร้อยละ 2.9 ถึง 7.95 แป้ง 46.05 ถึง 50.57 มิลลิกรัมต่อแป้ง 100 กรัม ปริมาณฟีนอล 0.96 ถึง 1.83 มิลลิกรัม GAE ต่อ 100 กรัม มีปริมาณกรดอะมิโนร้อยละ 0.22 ถึง 0.85 และวิตามินซี 1.08 ถึง 5.13 มิลลิกรัม แต่เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะนำไปสู่การลดลงของความสามารถในการละลาย

Ana และคณะ (2018) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี สมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติการไหล และคุณสมบัติโครงสร้าง และด้านโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณแป้งทนย่อยปริมาณสารประกอบสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระของแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยที่มีระดับความสุก 4 อันดับแรก พบว่าเมื่อกล้วยมีความสุกเพิ่มขึ้นจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญและการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณอะมิโลสที่ชัดเจน อีกทั้งยังมีการลดลงด้านสมบัติความหนืด แป้งกล้วยที่ความสุกระยะที่ 2 และ 3 มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแป้งทั้งหมดและแป้งที่ต้านทานการย่อย แต่มีปริมาณฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

กล้วยหอมทองดิบ [*Musa acuminata* (AAA group) 'Kluai Hom Thong'] ที่ระยะความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน ภายหลังกล้วยแทงปลี จากสวนกล้วยหอมจังหวัดปทุมธานี

3.1.2 สารเคมีที่ในกระบวนการผลิตแป้งกล้วย

3.1.2.1 กรดซิตริก	บริษัทกรุงเทพเคมี ประเทศไทย
3.1.2.2 โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์	บริษัทกรุงเทพเคมี ประเทศไทย

3.1.3 สารเคมีที่ในการวิเคราะห์

3.1.3.1 เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 99	บริษัท RCI Labscan ประเทศไทย
3.1.3.2 กรดไฮโดรคลอริก	บริษัท RCI Labscan ประเทศไทย
3.1.3.3 กรดแกลซิลอะซิติก	บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย
3.1.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์	บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย
3.1.3.5 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3.1.3.6 กรดมาเลอิก	บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
3.1.3.7 แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต	บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3.1.3.8 ชุดทดสอบปริมาณสตาร์ชทนย่อย	บริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์
3.1.3.9 กรดซัลฟิวริก	บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3.1.3.10 กรดบอริก	บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3.1.3.11 คอปเปอร์ซัลเฟต	บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
3.1.3.12 โพแทสเซียมซัลเฟต	บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย
3.1.3.13 เฮกเซน	บริษัท RCI Labscan ประเทศไทย
3.1.3.14 เมทิลเรต	บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย
3.1.3.15 เมธิลีนบลู	บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย
3.1.3.16 โบรโมครีซอลกรีน	บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.17 สารละลายซิงค์อะซิเตต บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย

3.1.3.18 สารละลายโพแทสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย

3.1.3.19 สารละลายไดไนโตรซาลิไซลิกแอซิด บริษัท Carlo Erba ประเทศออสเตรเลีย

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.1.4.1 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

3.1.4.2 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.4.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น MS204S บริษัท Mettler Toledo, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.1.4.4 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaker water bath) รุ่น SA1422 บริษัท Memmert, ประเทศเยอรมี

3.1.4.5 เครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น UNB 400 บริษัท Memmert, ประเทศเยอรมนี

3.1.4.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Z206A บริษัท Hermle, ประเทศเยอรมนี

3.1.4.7 เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) รุ่น MS7-H550-Pro บริษัท Scilogex, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.8 เครื่องเขย่าสาร (Vortex) รุ่น G560E บริษัท Scientific industry, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น SP-2001 บริษัท Suntex, ประเทศไต้หวัน

3.1.4.10 รีแฟรกโตมิเตอร์ (Refractometer) บริษัท Atago, ประเทศญี่ปุ่น

3.1.4.11 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter) รุ่น 4TE บริษัท Aqualab, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.12 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer) รุ่น UV-1800 บริษัท Shimuzu, ประเทศญี่ปุ่น

3.1.4.13 ชุดวิเคราะห์ไขมัน

3.1.4.14 ชุดวิเคราะห์โปรตีน

3.1.4.15 เครื่องวัดค่าสี รุ่น CR-400 บริษัท Minolta, ประเทศญี่ปุ่น

3.1.4.16 เครื่องวัดค่าความต่างความร้อน (Differential Scanning Calorimetry : DSC) รุ่น DSC 1 บริษัท METTLER TOLEDO, ประเทศออสเตรเลีย

3.1.4.17 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Rapid Visco Analyzer, RVA) รุ่น RVA-4 บริษัท Newport scientific, ประเทศออสเตรเลีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.18 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope) รุ่น Quanta 250 บริษัท FEI, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.19 เครื่องวิเคราะห์ค่าความเป็นผลึก (X - ray diffractogram)Bruker AXS รุ่น D8 Discover, ประเทศเยอรมนี

3.1.4.20 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตแป้งกล้วย

3.1.5.1 เครื่องปั่นผสมอาหาร (Food processer) และใบมีดหั่นสไลด์ รุ่น MCM64060 บริษัท Bosch, ประเทศเยอรมนี

3.1.5.2 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) บริษัท Progress, ประเทศไทย

3.1.5.3 เครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave vacuum dryer) บริษัท มาร์ช คูล อินดัสทรี จำกัด, ประเทศไทย

3.1.5.4 เครื่องบด (Pin mill) รุ่น ZM200 บริษัท Retsch, ประเทศเยอรมนี

3.1.5.5 เครื่องแยกขนาด ตะแกรงร่อนขนาด 200 ไมครอน รุ่น AS-200 บริษัท Retsch, ประเทศเยอรมนี

3.1.5.6 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่งรุ่น PA4102 บริษัท Ohaus, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.5.7 อุปกรณ์ครัว

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกล้วยหอมทองดิบ และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่แตกต่างกัน

นำกล้วยหอมทองดิบที่มีระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน หลังการแทงปลี จากสวนกล้วยที่จังหวัดปทุมธานี นำมาตัด แยกออกเป็นผล โดยเลือกใช้หวีที่มีขนาดและจำนวนลูกที่สมบูรณ์ มีขนาดสม่ำเสมอ และมีจำนวนผลกล้วย 12 ถึง 16 ลูกต่อหวี นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี เส้นผ่านศูนย์กลาง สัดส่วนเนื้อและน้ำหนักเนื้อเฉลี่ยต่อ 1 ผล และนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จากนั้นนำมาทำเป็นแป้งกล้วยหอมทองแล้ววิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกล้วยหอมทองดิบ

นำกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สีเปลือก เส้นผ่านศูนย์กลาง สัดส่วนเนื้อต่อ 1 ผล (ร้อยละ) น้ำหนักเนื้อเฉลี่ยต่อ 1 ผล และร้อยละผลผลิตของแป้งกล้วยหอมทองที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) วิเคราะห์สีเปลือกกล้วยหอมทอง

ด้วยเครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-400 โดยแสดงผลเป็นค่า L*, a* และ b* (ดังภาคผนวกที่ ง.1.1) วัดที่บริเวณเปลือกที่ไม่มีรอยแผล ตำแหน่งกลางผล และปลายผลทั้งสองด้าน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2) วิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางผลกล้วยหอมทอง

นำกล้วยที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ วัดขนาดของผลกล้วยโดยการแบ่งวัดเป็น 3 ช่วง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย โดยจะวัดทั้งหมด 3 เครือ เครือละ 6 ผล โดยเลือกหวีที่อยู่ในลำดับที่ 2 และ 3 ต่อระดับความแก่

3) วิเคราะห์สัดส่วนปริมาณเนื้อกล้วยต่อกล้วยทั้งผล (ร้อยละโดยมวล)

นำผลกล้วยแต่ละระดับความแก่มาชั่งน้ำหนักทั้งลูก จากนั้นนำมาปอกเปลือกนำมาชั่งน้ำหนักเนื้อที่ได้ หาเป็นร้อยละน้ำหนักเนื้อต่อ 1 ผล ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาณเนื้อกล้วย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อ}}{\text{น้ำหนักกล้วยทั้งผล}} \times 100 \qquad (3.1)$$

4) วิเคราะห์ปริมาณร้อยละของผลผลิตแป้งกล้วยหอมที่ได้

นำกล้วยแต่ละระดับความแก่ไปผ่านกระบวนการทำแป้งดังภาพที่ 3.1 แล้วชั่งน้ำหนักแป้งที่ได้ คำนวณเป็นร้อยละน้ำหนักแป้งที่ได้ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วย 1 ถาดอบ ก่อนนำไปอบแห้งดังสมการที่ 3.2

$$\text{ปริมาณผลผลิตแป้ง (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง 1 ถาดอบ}}{\text{น้ำหนักเนื้อกล้วยก่อนอบ 1 ถาดอบ}} \times 100 \qquad (3.2)$$

3.2.1.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกล้วยหอมทองดิบ

นำตัวอย่างเนื้อกล้วยหอมทองดิบที่ได้จาก 4 ระดับความแก่ นำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใยอาหาร ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ดังภาคผนวก ง.2

3.2.1.3 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทองดิบ

นำกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน มาเตรียมให้เป็นแป้งดังภาพที่ 3.1 แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณสตาร์ชทนย่อยด้วยเอนไซม์ ค่าดัชนีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยของแป้ง ค่าดัชนีน้ำตาล ลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้งกล้วย ค่าความเป็นผลึก กำลังการพองตัวและค่าการละลาย สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด และสมบัติด้านความร้อน

1. ปอกเปลือกกล้วยหอมทอง นำเนื้อกล้วยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม แช่ในสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที

⇩

2. หั่นกล้วยตามขวางขนาด 0.5 ± 0.1 เซนติเมตร น้ำหนัก 1 กิโลกรัม แล้วแช่ในสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที

⇩

3. นำไปอบด้วยตู้อบ (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

⇩

4. บดด้วยเครื่องบด (Pin mill รุ่น ZM200) และร่อนแป้งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 ไมโครเมตร

⇩

5. เก็บรักษาแป้งกล้วยหอมทองในภาชนะดูดความชื้น

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทำแป้งกล้วย

ที่มา : ดัดแปลงจาก Alkarkhi และคณะ (2011)

1) วิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (Water activity)

วิเคราะห์ตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองด้วยเครื่องหาค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังภาคผนวกที่ ง.3.1

2) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS)

โดยเตรียมตัวอย่างตามวิธีของ Suntharalingam (1993) ชั่งแป้ง 0.8 กรัม ในน้ำ 10 กรัม คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปกรองแยกส่วนน้ำ แล้วนำส่วนน้ำไปวัดค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH meter) และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วย Hand refractrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch) และค่าสตาร์ชทนย่อย (Resistant starch)

ใช้ชุดการหาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของ Megazyme (รายละเอียดดังภาคผนวก ง.3.3)

4) วิเคราะห์ค่าดัชนีการย่อยของแป้ง (*In vitro* digestibility) และค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index)

โดยวิเคราะห์ด้วยชุดการหาค่าดัชนีการย่อยของแป้ง และค่าดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลองของ Megazyme (รายละเอียดดังภาคผนวก ง.3.4)

5) วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้งกล้วย

วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างแป้งด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยการโปรยผงแป้งลงบนสตับ (stub) นำไปเคลือบทอง แล้วไปวิเคราะห์ด้วยกล้องถ่ายภาพอิเล็คตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) (รายละเอียดดังภาคผนวก ง.3.5)

6) วิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกของอนุภาคแป้งกล้วยหอมทองด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

วิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกของอนุภาคแป้งกล้วยหอมทองด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่อง X - ray diffractogram (รายละเอียดดังภาคผนวก ง.3.6)

7) วิเคราะห์กำลังการพองตัวและค่าการละลาย (Swelling power and Solubility)

วิเคราะห์กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้ง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Leach และคณะ (1959) โดยมีรายละเอียดดังภาคผนวก ง.3.7

วิเคราะห์ค่าการละลายของตัวอย่างแป้ง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kainuma และคณะ (1967) ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสออกมา 5 มิลลิลิตร นำไปทำแห้ง ชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลือ คำนวณหาค่าการละลายตามสมการ ดังนี้

$$\text{ค่าการละลาย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลือหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}} \times 2 \times 100 \qquad (3.3)$$

8) วิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วย (Pasting properties)

วิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างแป้งกล้วย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดของแป้ง (Rapid Visco analyzer, RVA) (รายละเอียดการวิเคราะห์ ดังภาคผนวกที่ ง.3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) วิเคราะห์สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อน

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (รายละเอียดการวิเคราะห์ ดังภาคผนวกที่ ง.3.9)

3.2.1.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกล้วยหอมทองดิบ และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทอง โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มตลอด (Complete randomized design, CRD) โดยมีระดับความแก่เป็นตัวแปร และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ตัวอย่างแป้งกล้วยหอมด้วย Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

เลือกกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่ที่เหมาะสม โดยคัดเลือกจากกล้วยที่มีน้ำหนักเนื้อสูงที่สุดและมีค่าดัชนีน้ำตาลที่ต่ำที่สุด นำมาศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอม

3.2.2 ศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในการแปรรูปแป้งกล้วยหอมทอง

เลือกกล้วยหอมทองดิบที่มีระดับความแก่ที่เหมาะสมจากการศึกษาสมบัติเคมีกายภาพในข้อ 3.2.1 มาแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอม โดยศึกษาชนิดสารและปริมาณความเข้มข้นที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เหมาะสม สารละลายที่ศึกษามี 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05 (ตามประกาศกระทรวงที่กำหนดปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ คือ ร้อยละ 0.05 โดยมวล) โดยแช่เนื้อกล้วยในสารละลายที่ศึกษาในขั้นที่ 1 และ 2 และนำไปทำแห้งตามกระบวนการทำแห้งดังภาพที่ 3.1 นำตัวอย่างแป้งกล้วยหอมที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสี

3.2.2.1 วิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างแป้งกล้วย โดยใช้การวัดค่า CIE L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี

3.2.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลด้านสี และค่าความเป็นกรดด่างของตัวอย่างแป้งกล้วย โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มตลอด (Complete randomized design, CRD) โดยมีชนิดสารและความเข้มข้นของสารละลายเป็นตัวแปร และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมด้วย Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS ทำการวิเคราะห์ผลทั้งหมด 3 ซ้ำ

เลือกกล้วยหอมดิบที่มีระดับความแก่ที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.2.1 ชนิดและความเข้มข้นของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.2 นำไปศึกษากระบวนการทำแห้งในตอนที่ 3.2.3

3.2.3 ศึกษาการทำแห้งที่เหมาะสมในการแปรรูปแป้งกล้วยหอม

เลือกกล้วยหอมระดับความแก่ที่เหมาะสม ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสม จากการศึกษาในตอนที่ 3.2.1 และ 3.2.2 มาศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอบแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งด้วยวิธีทำแห้งแบบถาด (Tray drying) โดยกำหนดสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50. 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 16 ชั่วโมง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที และวิธีการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave vacuum drying) โดยกำหนดสภาวะการอบแห้งที่ 450 ,600 และ 800 วัตต์ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทุก ๆ 10 นาที นำตัวอย่างแป้งกล้วยที่ได้วิเคราะห์อัตราการอบแห้ง ในด้านปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ค่าสี ค่าดัชนีสีน้ำตาล และร้อยละผลผลิตที่ได้

3.2.3.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธี Air oven method (รายละเอียดดังภาคผนวก ง. 2.1)

3.2.3.2 วิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (Water activity, Aw)

วิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระของแป้งกล้วยหอมด้วยเครื่อง Water activity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (รายละเอียดดังภาคผนวก ง.3.1)

3.2.3.3 วิเคราะห์ค่าสี และค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning index)

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างแป้งกล้วย ด้วยเครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-400 โดยแสดงผลเป็นค่า L*, a* และ b* จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าดัชนีสีน้ำตาลที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kahyaoglu และ Kaya (2005) โดยคำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{Browning Index (BI)} = \frac{100\,(x-0.31)}{0.71} \qquad (3.4)$$

$$\text{เมื่อ } X = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \qquad (3.5)$$

เลือกวิธีและสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการแปรรูปแป้งกล้วย โดยเลือกจากค่าสี และอัตราการทำแห้ง จากนั้นนำไปศึกษาประโยชน์ในการใช้แป้งกล้วยในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วยหอมในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบ

นำแป้งกล้วยหอมจากข้อที่ 3.2.3 ไปศึกษาการนำไปทดแทนในผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ โดยนำตัวอย่างแป้งกล้วยหอมที่ได้ให้เชฟผู้ชำนาญด้านผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับขนมอบ จำนวน 5 ท่าน นำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ ประเมินผลการทดลองด้วยใบประเมินความพึงพอใจในการใช้แป้งกล้วยและผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้ เก็บข้อมูล และบันทึกผลการทดลอง (รายละเอียดการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบแสดงดังภาคผนวก ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปราย

จากการศึกษาผลของระดับความแก่ของกล้วยหอมทองที่ 60, 70, 80 และ 90 วัน หลังการแทงปลี ต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกล้วยหอมทอง สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทอง การศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในการแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอมทอง การศึกษาวิธีการอบแห้งและสภาวะการอบแห้งกล้วยหอมทองที่เหมาะสมเพื่อการแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอมทอง และการใช้แป้งกล้วยหอมทดแทนในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ได้ผลการวิเคราะห์ดังหัวข้อที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ดังนี้

4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทองดิบ และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่แตกต่างกัน

กล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน จะถูกเก็บเกี่ยว ตัด และทำความสะอาดสำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลกล้วยหอมทองดิบ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังหัวข้อ 4.1.1 ดังนี้

4.1.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกล้วยหอมทอง

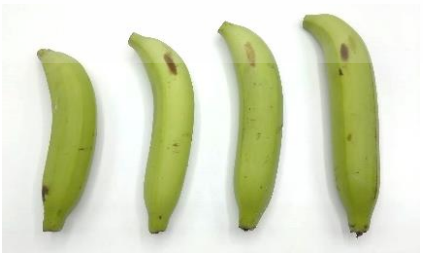
จากการศึกษาผลของระดับความแก่ของกล้วยหอมดิบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของผลกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน ดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าดัชนี L* เป็นค่าที่บ่งบอกความสว่าง และค่าดัชนี b* (ด้านบวก) เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองของเปลือกกล้วยหอมดิบ เมื่อระดับความแก่เพิ่มมากขึ้น ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ระดับความแก่ 80 และ 90 วัน มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองที่มากกว่า และแตกต่างจากที่ระดับความแก่ 60 และ 70 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ค่าดัชนี a* (ด้านติดลบ) ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความเป็นสีเขียวของเปลือกกล้วยทั้ง 4 ระดับความแก่มีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยเมื่อกล้วยหอมทองที่มีระดับความแก่ที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้สีบริเวณเปลือกกล้วยหอมทองดิบมีสีเขียวติดสีเหลืองที่สว่างมากยิ่งขึ้น จากการสลายตัวของเม็ดสีเขียวจำพวกคลอโรฟิลด์ที่พบมากบริเวณเปลือกกล้วยหอมทองดิบ และมีการสร้างสารจำพวกแคโรทีนอยด์ที่เป็นสารสีเหลืองส้มระหว่างการเจริญของผลกล้วย ซึ่งผลมีความสอดคล้องกันกับงานวิจัยของ Moongngarm และคณะ (2014) ที่ได้รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของระดับความแก่ บริเวณเปลือกของผลกล้วยจะมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีเขียวที่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลืองปนมากขึ้น เนื่องจากมีการสลายคลอโรฟิลล์ที่เปลือก และมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ จึงทำให้สีของเปลือกกล้วยมีการเปลี่ยนแปลง ปรากฏสีเหลืองที่ชัดเจนมากขึ้น (จริงแท้, 2549)

จากตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกล้วยทั้ง 4 ระดับความแก่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ระดับความแก่ที่มากขึ้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น และมีผลไปในทิศทางเดียวกันกับผลน้ำหนักของเนื้อกล้วยต่อหนึ่งผลกล้วย คือ เมื่อระดับความแก่เพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณเนื้อกล้วยมากขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักเนื้อเฉลี่ยต่อ 1 ผลของกล้วยที่ระดับความแก่ 80 กับ 90 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ระดับความแก่ 90 วัน จะมีปริมาณเนื้อกล้วย และสัดส่วนของเนื้อกล้วยสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาปริมาณร้อยละผลผลิตของแป้งกล้วยต่อน้ำหนักกล้วยก่อนอบแห้ง พบว่ากล้วยทั้ง 4 ระดับความแก่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\geq0.05$) แสดงให้เห็นว่าระดับความแก่กล้วยหอมทองดิบที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อค่าสีของเปลือกกล้วยหอมที่มีสีมีเขียวปนสีเหลืองที่มากขึ้น สัดส่วนเนื้อกล้วยต่อเปลือกกล้วยและปริมาณเนื้อกล้วยที่เพิ่มมากขึ้น (ดังภาพที่ 4.1)

จากนั้นกล้วยหอมทองแต่ละระดับความแก่จะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกล้วย โดยเตรียมตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างกล้วยที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน นำส่วนของเนื้อกล้วยหอมไปวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของอาหาร ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และใยอาหาร ดังตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณความชื้นของกล้วยที่ระดับความแก่ 60 วัน มีค่าสูงสุด รองลงมาคือที่ระดับความแก่ 90 วัน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เพิ่มขึ้น และพบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน และใยอาหารของกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความแก่เพิ่มขึ้น และจะลดลงที่ระยะ 90 วัน ในขณะที่ปริมาณเถ้าที่มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 ระดับความแก่ ยังพบว่ากล้วยหอมทองสามารถวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ได้ในช่วงระดับความแก่ 90 วัน ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ 0.30 กรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่กล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ที่ 60, 70 และ 80 วัน ตรวจพบน้ำตาลรีดิวส์น้อยกว่า 0.24 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของคาร์โบไฮเดรต ที่มีค่าสูงสุดที่ระดับความแก่ 90 วัน อาจมีสาเหตุเนื่องจากผลกล้วยมีการพัฒนาขยายขนาด มีการสังเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลต่อปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย



ภาพที่ 4.1 กล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน จากซ้ายไปขวาตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าสีของเปลือกกล้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สัดส่วนเนื้อต่อเปลือก น้ำหนักเนื้อเฉลี่ยต่อ 1 ผลของผลกล้วยหอมทอง และผลผลิตแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน

ระดับความแก่	ค่าสี			เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย	สัดส่วนเนื้อต่อ 1 ผล	น้ำหนักเนื้อเฉลี่ย	ผลผลิตแป้งกล้วย[ns]
(วัน)	L*	a*[ns]	b*	(มิลลิเมตร)	(กรัม/กรัม)	ต่อ 1 ผล (กรัม)	(ร้อยละ)
60	54.98[a]±3.12	-16.39±0.85	26.30[a]±2.27	31.79[a]±4.46	65.17[a]±2.17	85.24[a]±2.13	22.68±3.32
70	56.41[a]±4.25	-16.60±0.76	26.83[a]±5.33	33.87[b]±3.27	65.03[a]±0.07	99.80[ab]±9.45	22.92±1.03
80	59.88[b]±5.34	-16.52±0.89	29.15[b]±1.72	35.82[c]±2.74	66.53[a]±0.88	116.69[b]±1.64	23.20±1.92
90	61.89[b]±4.19	-16.77±0.53	34.10[c]±1.93	42.19[d]±8.08	86.34[b]±1.57	276.38[c]±5.84	24.98±2.74

หมายเหตุ : เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 lot (n=10)

[a, b, c] ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), [ns] แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร และปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ของผลกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน

ระดับความแก่	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	ใยอาหาร	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์
(วัน)	(กรัม/100กรัม)	(กรัม/100กรัม)	(กรัม/100กรัม)	(กรัม/100กรัม)	(กรัม/100กรัม)	(กรัม/100กรัม)	(กรัม/100กรัม)
60	74.8	1.75	0.12	0.9	20.12	2.28	พบน้อยกว่า 0.24
70	72.9	1.95	0.16	0.9	21.68	2.42	พบน้อยกว่า 0.24
80	72.1	1.87	0.23	0.85	22.56	2.44	พบน้อยกว่า 0.24
90	74.0	0.91	0.17	0.90	22.85	1.35	0.30

หมายเหตุ : ผลการทดลองจากการทดลอง 1 ซ้ำ

4.1.2 สมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยหอมทอง

จากนั้นเตรียมตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองจากกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน ดังภาคผนวกที่ ก.3 และนำมาวิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ดัชนีการย่อย และค่าดัชนีน้ำตาลดังตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (water activity : a_w) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยหอมทองดิบที่มีระดับความแก่ 60 ถึง 90 วัน มีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยมีค่ากิจกรรมน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.3459 ถึง 0.3581 และ มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ร้อยละ 0.9 ถึง 1.0 บริกซ์ ความใกล้เคียงของกิจกรรมน้ำอิสระและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ อาจเกิดจากตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองได้จากกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่ที่ใกล้เคียงกันและผ่านกระบวนการทำแห้งในสภาวะเดียวกันจนมีความชื้นที่ต่ำที่สุด ทำให้ปริมาณกิจกรรมน้ำอิสระที่ได้มีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อนำมาวัดหาปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ซึ่งอาจบอกได้ในแป้งกล้วยหอมทั้ง 4 ระดับความแก่ มีปริมาณน้ำตาล หรือของแข็งที่ละลายได้ที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อง เนื่องจากเป็นแป้งกล้วยหอมทองที่ได้จากกล้วยหอมทองดิบจึงพบปริมาณน้ำตาลได้เพียงเล็กน้อย

ผลของค่าความเป็นกรดด่างของแป้งกล้วยหอมทองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความแก่ที่เพิ่มขึ้น โดยแป้งกล้วยหอมที่ได้จากระดับความแก่ 60 วัน มีปริมาณกรดด่าง 4.72±0.02 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดและแตกต่างจากตัวอย่างแป้งอื่นที่ได้จากระดับความแก่ทั้ง 4 ระยะ จากผลการศึกษาของ Mustaffa และคณะ (1998) ได้กล่าวไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของกล้วยจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 3 จนถึง สัปดาห์ที่ 12 ของการเจริญของกล้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างอาจเกิดจากปริมาณของกรดมาลิกภายในผลกล้วยมีปริมาณลดลงในช่วงแรกของระดับความสุกกล้วยภายหลังการเก็บเกี่ยว แต่จะปริมาณกรดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อผลกล้วยเริ่มเปลี่ยนแปลงจากกล้วยดิบเป็นกล้วยที่สุกมากยิ่งขึ้น (Wills และคณะ, 1984)

จากตางรางที่ 4.3 ยังพบว่าแป้งกล้วยหอมทองจะมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่มีแนวโน้มลดลง โดยที่ระดับความแก่ 70 วันจะมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่สูงสุดคือ ร้อยละ 77.11±3.04 และที่ระดับความแก่ 90 วัน จะมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่ต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 69.42 ±2.59 โดยการลดลงของปริมาณสตาร์ชมีความสอดคล้องกันกับปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ที่เพิ่มมากขึ้น (ดังตารางที่ 4.2) ซึ่งอาจมีสาเหตุจากโครงสร้างสตาร์ชภายในกล้วยหอมทองได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเมื่อระดับความแก่เพิ่มมากขึ้น จากการวิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ชทนย่อยของแป้งกล้วยหอมทั้ง 4 ระดับความแก่ พบว่าแป้งกล้วยที่ระดับความแก่ 70 วัน มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อระดับความแก่เพิ่มสูงขึ้น โดยสตาร์ชทนย่อยที่พบในคาดว่าเป็นสตาร์ชประเภทที่ 2 ที่เรียกว่า Native starch หรือ เม็ดแป้งดิบ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มักจะพบในกล้วยดิบ และภายในโครงสร้างของแป้งจะมีเม็ดแป้งที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า โครงสร้างผลึก (Crystalline) ซึ่งโครงสร้างผลึกเป็นโครงสร้างที่ทำให้แป้งถูกย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ได้น้อยกว่าบริเวณอสันฐาน (ธนาภร, 2560) เมื่อสตาร์ชทนย่อยในแป้งกล้วยหอมทองมีปริมาณสูงขึ้น ทำให้มีผลต่ออัตราการย่อยที่ช้าลง เนื่องจากเอนไซม์ในร่างกายจะย่อยสตาร์ชได้ช้าลงจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลและสะสมอยู่ในกระแสเลือดได้ช้าลง ค่าดัชนีน้ำตาลจึงมีค่าน้อยลง โดยพบว่าแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 70 และ 80 วัน มีค่าดัชนีการย่อยที่ต่ำที่สุด และมีดัชนีน้ำตาลต่ำสุด ที่แตกต่างจากที่ระยะ 60 และ 90 วัน อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ดัชนีการย่อย และค่าดัชนีน้ำตาลของแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน

ระดับความแก่ (วัน)	ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	ค่าความเป็นกรดด่าง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้^{ns} (%บริกซ์)	ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (ร้อยละ)	ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม^{ns} (ร้อยละ)	ดัชนีการย่อย	ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index)
60	0.3581	4.72±0.02^{a}	0.90±0.00	70.77 ±2.51^{ab}	41.74±0.32	10.01±1.52^{a}	45.77±0.88^{b}
70	0.3487	5.19±0.09^{b}	0.95±0.05	77.11 ±3.04^{b}	46.35±3.20	10.91±2.73^{a}	43.86±0.18^{a}
80	0.3459	5.30±0.09^{b}	0.90±0.00	73.28 ±1.34^{ab}	43.26±0.03	9.83±2.83^{a}	43.43±0.33^{a}
90	0.3532	5.34±0.12^{b}	0.90±0.00	69.42 ±2.59^{a}	40.58±4.16	12.74±0.15^{b}	46.71±0.15^{c}

หมายเหตุ : เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 lot (n=10)

$^{a, b, c}$ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

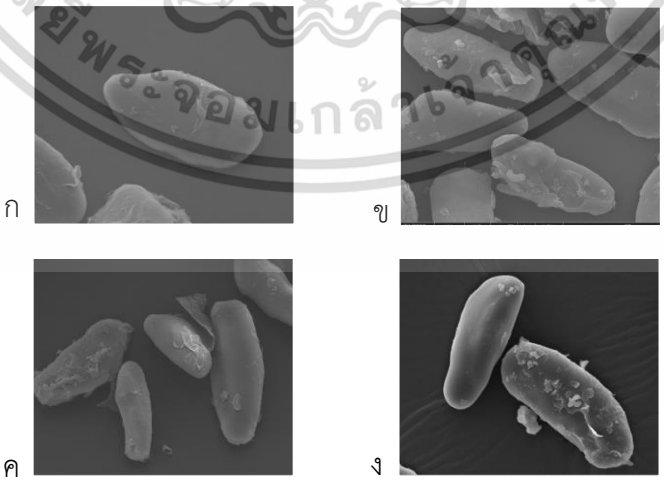
^{ns} แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

4.1.3 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทอง

ตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ทั้ง 4 ระยะ จะถูกนำไปวิเคราะห์หาลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้ง ปริมาณโครงสร้างผลึกของอนุภาคแป้งกล้วยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ กำลังการพองตัวและค่าการละลาย สมบัติด้านความหนืด และสมบัติการเปลี่ยนแปลงด้านความร้อนของแป้งกล้วยหอมทอง ดังหัวข้อที่ 4.1.3.1 ถึง 4.1.3.5 ตามลำดับ

4.1.3.1 ลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้งกล้วยหอมทอง

ตัวอย่างแป้งกล้วยที่ระดับความแก่ตั้งแต่ 60 ถึง 90 วัน นำไปวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้งเพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope, SEM) จะได้ผลดังภาพที่ 4.2 พบว่าแป้งกล้วยหอมที่ได้จากกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ทั้ง 4 ระยะ จะมีลักษณะสัณฐานเม็ดแป้งที่เป็นวงรี มีขนาดแตกต่างกัน โดยกล้วยหอมทองที่มีระดับความแก่ที่ 60 วัน จะมีความยาวเม็ดแป้งเฉลี่ย 24 ไมโครเมตร กล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 70 วัน มีความยาวเม็ดแป้งเฉลี่ย 30 ไมโครเมตร กล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 80 วัน จะมีขนาดเม็ดแป้งเฉลี่ย 31 ไมโครเมตร และกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 90 วัน จะมีความยาวเม็ดแป้งเฉลี่ยอยู่ที่ 33 ไมโครเมตร และบนพื้นผิวของเม็ดแป้งมีสารอื่นมาเกาะอยู่ พบว่าเมื่อกล้วยหอมทองมีระดับความแก่ที่เพิ่มมากขึ้น ขนาดของเม็ดแป้งจะใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากมีการสะสมของแป้งที่มากขึ้น และในบริเวณผิวเม็ดแป้งจะเริ่มมีร่องรอยที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในการเปลี่ยนแปลงสตาร์ชให้กลายเป็นน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lii และคณะ (1982) และสุดาทิพย์ (2545) ที่ศึกษาลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยน้ำว้าที่ความแก่ร้อยละ 70 ถึง 100 พบว่ารูปร่างของเม็ดแป้งมีลักษณะเป็นวงรี มีขนาดเฉลี่ย 27-45 ไมโครเมตร และมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเมื่อระดับความแก่มากขึ้น



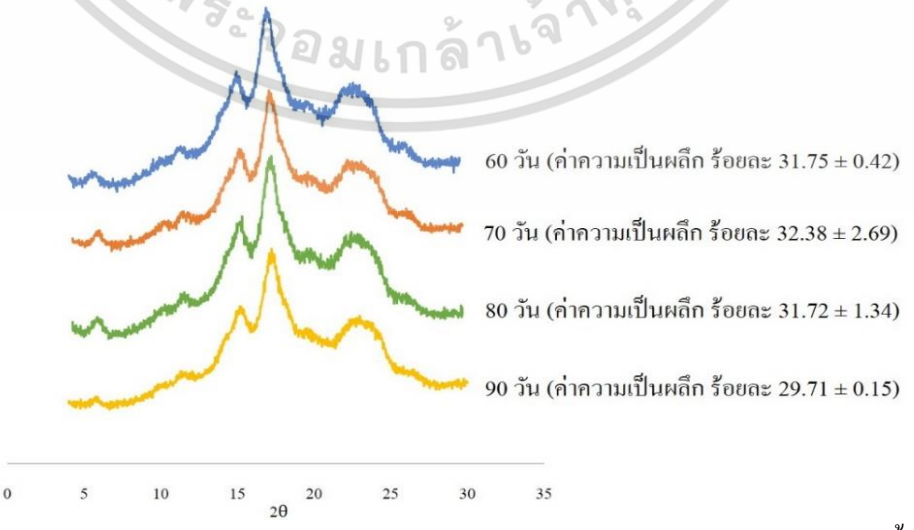
ภาพที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้งกล้วยจากกล้วยหอมทองระดับความแก่ 60 (ก), 70 (ข), 80 (ค) และ 90 วัน (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 โครงสร้างผลึกของอนุภาคแป้งกล้วยหอมทองด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เมื่อนำตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองที่ได้จากกล้วยทั้ง 4 ระดับความแก่มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคแป้งกล้วยหอมทอง ดังภาพที่ 4.3 พบว่าแป้งกล้วยหอมทองทั้ง 4 ระดับความแก่มีลักษณะกราฟโครงร่างผลึกและปริมาณร้อยละความเป็นผลึกที่ใกล้เคียงกัน คือ พบพีคที่ตำแหน่ง 2θ ที่ 5.5°, 15°, 17° และ 23° ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างผลึกเม็ดแป้งแบบ C ที่เป็นการผสมผสานระหว่างโครงสร้างผลึกเม็ดแป้งแบบ A ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกที่มีการเรียงตัวอย่างหนาแน่นและมีปริมาณน้ำต่ำพบมากในแป้งจากธัญพืช และ B ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกที่มีการเรียงตัวแบบหลวม ๆ และมีปริมาณน้ำสูงพบมากในแป้งจากพืชหัว สอดคล้องกันกับงานวิจัยของ Chavez-Salazar และคณะ (2017) ที่ทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงร่างผลึกอนุภาคของแป้งกล้วยที่มีสายพันธุ์จากประเทศโคลัมเบีย โดยที่ได้อธิบายไว้ว่าลักษณะรูปแบบของโครงร่างผลึกจะเปลี่ยนไปตามลักษณะการปลูก สายพันธุ์ และปัจจัยในการเจริญเติบโต และสอดคล้องกับการศึกษาของ Vatanasuchart และคณะ (2012) ที่ศึกษาเปรียบเทียบในกล้วยสายพันธุ์ของไทย 6 สายพันธุ์ ได้แก่ กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุก กล้วยหิน และกล้วยเล็บมือนางที่จะพบพีคของโครงสร้างผลึกที่ตำแหน่ง 5.5°, 15°, 17° และ 23° เช่นเดียวกัน

เมื่อคำนวณหาปริมาณความเป็นผลึก (crystallinity) ในแป้งกล้วย พบว่าแป้งกล้วยหอมทองทั้ง 4 ระดับความแก่มีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยที่แป้งกล้วยหอมจากกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 90 วัน จะมีปริมาณร้อยละความเป็นผลึกที่ต่ำที่สุด (29.71 ± 0.15) ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณในการย่อยสตาร์ชของเอนไซม์ที่มีค่ามากกว่า (Chavez และคณะ, 2017) สอดคล้องกันกับผลดัชนีการย่อยที่มีค่ามากกว่าแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยหอมทองระดับความแก่อื่น ๆ อีก 3 ระดับ ในขณะที่แป้งกล้วยหอมทองจากระดับความแก่ 70 วัน จะมีปริมาณร้อยละความเป็นผลึกที่สูงที่สุด (32.38 ± 2.69) จึงมีดัชนีการย่อยที่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างผลึกและค่าความเป็นผลึกของแป้งกล้วยหอมทองด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.3 กำลังการพองตัวและค่าการละลาย

จากตารางที่ 4.4 เมื่อนำแป้งไปละลายในน้ำและให้อุณหภูมิกับน้ำแป้งพบว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งกล้วยที่ระดับความแก่ทั้ง 4 ระดับความแก่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ซึ่งจะมีค่ากำลังการพองตัวอยู่ในช่วง 3.03 ถึง 3.85 โดยที่ค่ากำลังการพองตัวของแป้งสามารถอธิบายความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดแป้งว่าทั้ง 4 ระดับความแก่มีความใกล้เคียงกัน แต่ผลด้านการละลายของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับความแก่เพิ่มมากขึ้น โดยแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 90 วัน มีค่าสูงที่สุด คือ ร้อยละ 8.31 ± 0.18 และแตกต่างจากอีก 3 ระดับความแก่ที่เหลือ ซึ่งสอดคล้องกันกับผลค่ากำลังการพองตัวที่มีค่าน้อยที่สุด อาจมีสาเหตุจากเมื่อเม็ดแป้งพองตัวจนถึงจุดสูงสุด และแตกออกจะมีปริมาณอะมิโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดแป้งมากกว่า หรือมีการพบปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ ดังตารางที่ 4.3 จึงทำให้แป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 90 วัน มีค่าการละลายมากที่สุด ซึ่งผลมีความสอดคล้องกับการศึกษาสุดาทิพย์ (2545) ที่กล่าวว่าค่าการละลายของแป้งกล้วยจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระดับความแก่ของกล้วยน้ำว้าเพิ่มมากขึ้น และการเพิ่มขึ้นของค่าการละลายอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาล และการลดลงของปริมาณแป้ง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีพบว่าแป้งสาลีมีกำลังการพองตัวประมาณ 21 และมีค่าการละลายที่ร้อยละ 41 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแป้งกล้วยหอมทอง แป้งกล้วยหอมทองจึงมีการละลายในน้ำได้ไม่ดี (กล้าณรงค์, 2542)

ตารางที่ 4.4 กำลังการพองตัว และค่าการละลาย (ร้อยละ) ของแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน

ระดับความแก่ (วัน)	กำลังการพองตัว[ns]	ค่าการละลาย (ร้อยละ)
60	3.50 ± 0.35	7.59 ± 0.71^{a}
70	3.31 ± 0.28	7.04 ± 0.38^{a}
80	3.48 ± 0.33	6.84 ± 0.90^{a}
90	3.24 ± 0.11	8.31 ± 0.18^{b}

หมายเหตุ : เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 lot (n=10)

[a, b, c] ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[ns] แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.4 สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยหอมทอง

จากกราฟสมบัติความหนืด ดังภาคผนวกที่ จ.1 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ความร้อนและแรงกวนกับตัวอย่างน้ำแป้งกล้วยหอมทองจนถึงอุณหภูมิจุดหนึ่ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวสูงสุดและทำให้ความหนืดมีค่ามากที่สุด เมื่อให้อุณหภูมิสูงคงที่พร้อมกับการกวนจะส่งผลต่อความหนืดของน้ำแป้งที่ลดลง เมื่อลดอุณหภูมิลงถึงจุดหนึ่ง ความหนืดของน้ำแป้งจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวของเม็ดแป้งที่อยู่ในโครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินมีการจัดเรียงตัวใหม่ และเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติที่หุ้มน้ำไว้บางส่วน จึงเป็นผลที่ทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง (ผาณิต, 2549)

ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยหอมทองที่มีระดับความแก่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับ ดังตารางที่ 4.5 ผลด้าน Pasting temperature หรือ ค่าที่บ่งบอกอุณหภูมิที่น้ำแป้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด จากผลแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่น้ำแป้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดของทั้ง 4 ระดับความแก่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ซึ่งจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 80.04 ถึง 83.81 องศาเซลเซียส และเมื่อโครงสร้างของเม็ดแป้งได้รับอุณหภูมิจนถึงระดับที่โครงสร้างมีการแตกตัว น้ำแป้งจะเริ่มมีความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่น้ำแป้งมีการพองตัวสูงสุด และทำให้ความหนืดของน้ำแป้งสูงสุด หรือ Peak viscosity และค่า Setback from though ที่บอกค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดต่ำสุดและความหนืดสุดท้าย จากการวิเคราะห์พบว่าแป้งที่ได้จากกล้วยหอมทองทั้ง 4 ระดับความแก่จะมีความหนืดสูงสุดที่และความแตกต่างระหว่างความหนืดต่ำสุดกับความหนืดสุดท้ายที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 5256 ถึง 7434 cP และ 273 ถึง 642 cP ตามลำดับ แต่ผลวิเคราะห์ค่า breakdown ที่เป็นค่าที่บ่งบอกความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของน้ำแป้งกล้วยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่ระดับความแก่ที่ 70 วัน จะมีความแตกต่างระหว่างความหนืดที่ต่ำที่สุด และยังเป็นค่าที่สามารถอธิบายความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนได้ดีที่สุด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน

ระดับความแก่ (วัน)	Pasting Temperature[ns] (°C)	Peak viscosity[ns] (cP)	Breakdown (cP)	Setback from trough [ns] (cP)
60	81.73 ± 0.74	6820 ± 613	2698 ± 53[c]	418.75 ± 75
70	82.01 ± 1.07	5819 ± 77	1452 ± 219[a]	457.60 ± 184
80	82.68 ± 0.46	5923 ± 666	2205 ± 215[b]	462.50 ± 64
90	83.34 ± 0.47	7567 ± 171	3399 ± 194[d]	473.83 ± 18

หมายเหตุ : เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 lot (n=10)

[a, b, c, d] ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[ns] แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

4.1.3.5 สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อน

จากการวิเคราะห์สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของแป้งกล้วยหอมทองที่ได้จากกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ต่าง ๆ 4 ระยะ เพื่อศึกษาอุณหภูมิและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งกล้วยหอมทอง จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้แป้งกล้วยหอมทองเริ่มเกิดการเจลาติไนซ์ (T_o) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนซ์ (T_c) ที่ระดับความแก่ 60 ถึง 80 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) แต่ที่ระดับความแก่ 90 วัน มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งผลมีความสอดคล้องกันกับสมบัติด้านความหนืดดังหัวข้อที่ 4.1.3.4 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งกล้วยที่ระดับความแก่ที่ 60 ถึง 80 วัน มีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) แต่ที่ระยะ 90 วัน จะมีค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์ที่สูงที่สุดที่แตกต่างจากระดับความแก่ 70 และ 80 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องที่ระดับ 90 วัน เริ่มมีการสะสมปริมาณแป้งที่มากขึ้น และมีขนาดของเม็ดแป้งที่ใหญ่มากขึ้น ส่งผลให้มีการใช้พลังงานในการเกิดเจลาติไนซ์เซชั่นที่มากขึ้น การเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้ในการเกิดการเจลาติไนซ์เซชันที่ระดับความแก่ 90 วัน มีความคล้ายคลึงกับผลงานวิจัยของ Oluwatooyin (2009) ที่มีการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้ในการเกิดการเจลาติไนซ์เซชันของแป้งกล้วยที่ได้จากกล้วยสุก

ตารางที่ 4.6 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความร้อนของแป้งกล้วยหอมที่ได้จากกล้วยที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน

ระดับความแก่ (วัน)	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	Gelatinisation Enthalpy (J/g)
60	74.23 ± 0.22^{a}	76.95 ± 0.15^{a}	80.63 ± 0.40^{a}	3.75 ± 0.28^{ab}
70	74.48 ± 0.26^{a}	77.41 ± 0.49^{a}	81.01 ± 0.69^{a}	3.19 ± 0.37^{a}
80	74.45 ± 0.33^{a}	76.53 ± 1.56^{a}	80.61 ± 0.55^{a}	3.06 ± 0.41^{a}
90	76.14 ± 0.09^{b}	79.04 ± 0.09^{b}	83.57 ± 0.10^{b}	4.08 ± 0.14^{b}

หมายเหตุ : เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 lot (n=10)

$^{a, b}$ ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

^{ns} แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกล้วยหอมทอง และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อระดับความแก่กล้วยหอมทองเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลกล้วย ได้แก่ สีเปลือกที่ออกเหลืองมากขึ้น ขนาดขยายใหญ่ สัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อต่อเปลือก และปริมาณเนื้อกล้วยต่อ 1 ผล ที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นยังส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยหอมทอง ได้แก่ ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ค่าดัชนีการย่อย และดัชนีน้ำตาล

แป้งกล้วยหอมที่ได้จากกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60 และ 90 วัน มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่น้อย และมีค่าดัชนีน้ำตาลที่สูงกว่าที่ระดับความแก่ 70 และ 80 วัน อีกทั้งที่ระดับความแก่ 90 วัน ยังตรวจพบปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ จึงไม่เหมาะสมนำไปแปรรูปเป็นแป้งกล้วย ในขณะที่แป้งกล้วยหอมที่ได้จากกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 70 และ 80 วัน มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่สูงกว่า และดัชนีน้ำตาลที่ต่ำกว่า แต่เนื่องจากกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 80 มีสัดส่วนและปริมาณเนื้อที่สูงกว่าที่ระดับ 70 วัน จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของแป้งกล้วยหอมมีค่ามากกว่า จึงคัดเลือกกล้วยหอมที่ระดับความแก่ 80 วัน เพื่อนำไปศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในการแปรรูปแป้งกล้วยหอมทองในหัวข้อที่ 4.2

4.2 การศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในการแปรรูปแป้งกล้วยหอมทอง

เมื่อนำกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 80 วัน ที่คัดเลือกจากการศึกษาในหัวข้อ 4.1 นำมาแช่ในสารละลายกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยมวล และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05 โดยมวล มาทำเป็นแป้งกล้วยโดยเตรียมตัวอย่างกล้วยตามวิธีในภาคผนวก ข และทำการวิเคราะห์ค่าสี ได้ผลดังตารางที่ 4.7

เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของแป้งกล้วยหอมทองที่ใช้สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05 ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอม ดังตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของแป้งกล้วยหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยแป้งกล้วยหอมที่ใช้สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 จะมีค่าความสว่าง 90.77±0.14 ซึ่งมีค่ามากกว่าแป้งกล้วยหอมที่ใช้สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 (89.24±0.04 และ 90.12±0.07 ตามลำดับ) แสดงค่าความเป็นสีเขียว (a* ติดลบ) เล็กน้อย และแสดงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สีของแป้งกล้วยหอมทองที่ได้จากการแช่ในสารละลายกรดซิตริกจึงมีโทนความเป็นสีเหลืองสว่าง (ดังภาพที่ 4.3) และมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tonna และคณะ (2014) ที่มีการใช้สารละลายกรดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกระบวนการทำแป้งกล้วย โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดจะยิ่งมีค่าความสว่างที่สูงขึ้น โดยงานวิจัยของ Alkarkhi และคณะ (2011) กล่าวว่าการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการปอกเปลือก และการทำแห้งกล้วย เกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase, PPO) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ส่งผลให้เกิดการสร้างสารสีน้ำตาล ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการให้พบเจอในผลิตภัณฑ์แป้ง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์จะสามารถเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ที่สภาวะความเป็นกรดด่างประมาณ 5.6 ถึง 7.0 (Arlette และคณะ, 2018) การแช่กล้วยหอมในสารละลายกรดจึงเป็นการลดค่าความเป็นกรดด่างลง ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดอาจส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างไม่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ทำให้สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้

จากตารางที่ 4.7 จะพบว่าแป้งกล้วยหอมทองที่ใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จะแสดงผลค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ในความเข้มข้นที่สูงขึ้น และจะแสดงด้วยดัชนีค่าสีแดง (a* ทางบวก) จึงมีลักษณะสีของแป้งกล้วยจึงมีลักษณะสีเหลืองอมแดงหม่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายกรดซิตริก และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ดังภาพที่ 4.4 พบว่าเมื่อใช้สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เข้มข้นขึ้น แป้งจะมีความสว่างมากขึ้น การใช้สารละลายกรดซิตริกจะได้แป้งกล้วยหอมที่มีลักษณะสีเหลืองสว่างกว่าการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่มีลักษณะสีเหลืองอมส้ม และมีสีเข้มกว่า

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งกล้วยหอมทองที่ได้จากการแช่ในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 จะมีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุดเมื่อเทียบกับสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 แต่เมื่อนำแป้งกล้วยหอมทองที่ใช้สารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 1.5 ไปใช้ทดแทนในผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวจากกรดซิตริกเล็กน้อย จึงปรับลดความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกลง โดยเลือกใช้ความเข้มข้นกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ซึ่งมีค่าความสว่างกว่ารการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ในการนำไปศึกษาสภาวะการทำแห้งต่อในหัวข้อ 4.3

ตารางที่ 4.7 ผลค่าสีของแป้งกล้วยต่อสารละลายกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5 และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	ค่าสี		
		L*	a*	b*
สารละลายกรดซิตริก	0.5	89.24^{d}±0.04	-0.21^{b}±0.20	13.49^{d}±0.15
	1.0	90.12^{e}±0.07	-0.48^{a}±0.01	13.44^{cd}±0.11
	1.5	90.77^{f}±0.14	-0.22^{b}±0.05	13.25^{c}±0.16
สารละลายโซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์	0.01	83.29^{a}±0.35	0.72^{e}±0.01	10.74^{b}±0.18
	0.03	86.46^{c}±0.04	0.13^{c}±0.01	10.24^{a}±0.05
	0.05	86.06^{b}±0.10	0.23^{d}±0.02	10.42^{a}±0.08

หมายเหตุ : เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 2 lot (n = 2), ตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก

ข

ภาพที่ 4.4 ก. แป้งกล้วยหอมทองที่ใช้กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับจากซ้ายไปขวา ข. แป้งกล้วยหอมทองที่ใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05 ตามลำดับจากซ้ายไปขวา

4.3 การศึกษาวิธีการอบแห้งกล้วยหอมที่เหมาะสมเพื่อการแปรรูปเป็นแป้งกล้วย

จากการศึกษาในข้อ 4.1 และ 4.2 ได้คัดเลือกกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 80 วัน นำมาทำแป้งกล้วยหอมทองโดยใช้สภาวะการทำแห้งกล้วยหอมทอง 2 สภาวะ ได้แก่ การทำแห้งกล้วยหอมทองด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที และการทำแห้งกล้วยหอมทองโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (Microwave dryer vacuum) ที่กำลังไฟ 450 600 และ 800 วัตต์ ทำการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 10 นาที นำมาวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ค่าสี และค่าดัชนีความเป็นสีน้ำตาลจะได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมน้ำอิสระของแป้งกล้วยหอมทองระหว่างการทำแห้ง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละความชื้นของกล้วยหอมทองในระหว่างการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ พบว่าในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด เมื่ออบแห้งด้วยการให้ความร้อนเป็นเวลานานขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณร้อยละความชื้นของแป้งซึ่งจะมีค่าลดลง โดยการทำแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นในช่วงแรกจะลดลงอย่างรวดเร็วที่เวลา 240 และ 210 นาที ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจะลดลง โดยการใช้อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นรวดเร็วกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยการทำแห้งกล้วยหอมทองเพื่อให้ได้แป้งที่ความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 12 ตามหลักมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่

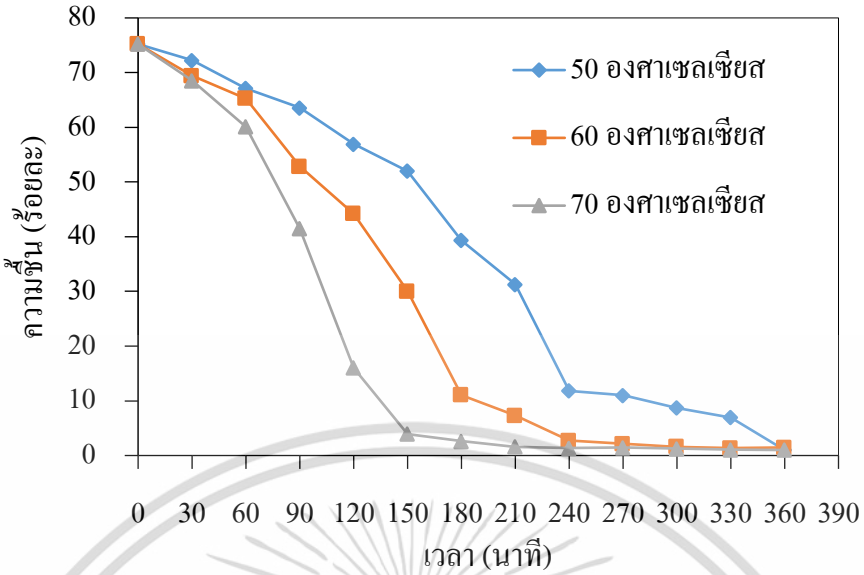
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้แป้งกล้วยมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำแห้งประมาณ 300, 210 และ 150 นาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งจึงทราบได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะใช้เวลาในการอบแห้งแป้งกล้วยน้อยลง เนื่องจากอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าส่งผลให้น้ำสามารถระเหยออกจากเนื้อกล้วยได้รวดเร็วกว่า เนื้อกล้วยจึงมีค่าปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมน้ำอิสระที่ต่ำกว่า (Barbosa และ คณะ, 2008)

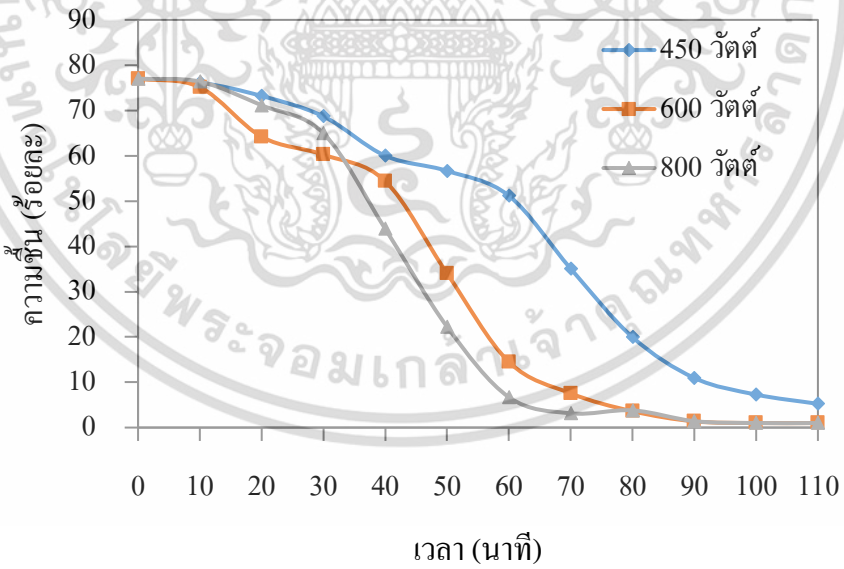
ในขณะที่ดังภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งโดยการใช้เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไฟ 450, 600 และ 800 วัตต์ พบว่าจะมีปริมาณความชื้นของกล้วยหอมทองที่ลดลงอย่างรวดเร็ว และเริ่มคงที่เมื่อมีเวลาการทำแห้งที่ประมาณ 90, 70 และ 60 นาที ตามลำดับ และมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 12 โดยการใช้กำลังไฟที่ 800 วัตต์ จะใช้เวลาในการทำแห้งที่สั้นกว่าการทำแห้งที่ 450 และ 600 วัตต์ ทำให้ทราบว่าเมื่อกำลังไฟที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการทำแห้งที่รวดเร็วมากขึ้น การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศจะใช้เวลาในการทำแห้งที่น้อยกว่าการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด เนื่องจากการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศจะเป็นการให้คลื่นไมโครเวฟเหนี่ยวนำให้ประจุไอออนภายในชิ้นกล้วยเกิดการสั่น หมุน และเสียดสีกัน จนเกิดเป็นความร้อนได้ภายใน และเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศน้ำที่อยู่ภายในเนื้อกล้วยจะสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำลง (ฤทธิชัย, 2554) ซึ่งก่อให้เกิดความร้อนภายในได้รวดเร็วกว่าการเครื่องทำแห้งแบบถาด ที่ใช้ตัวกลางที่เป็นอากาศพาความร้อนไประเหยน้ำในอาหาร

จากภาพที่ 4.7 และ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระของตัวอย่างกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ จะมีความสอดคล้องกับผลปริมาณร้อยละความชื้นในระหว่างการทำแห้งที่จะมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งที่มากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและกำลังไฟในการทำแห้งที่สูงขึ้น จะมีแนวโน้มที่อัตราการลดลงของค่ากิจกรรมน้ำอิสระที่รวดเร็วมากขึ้นด้วย โดยการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไฟ 800 วัตต์จะมีอัตราการลดลงของค่ากิจกรรมน้ำอิสระที่เร็วที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

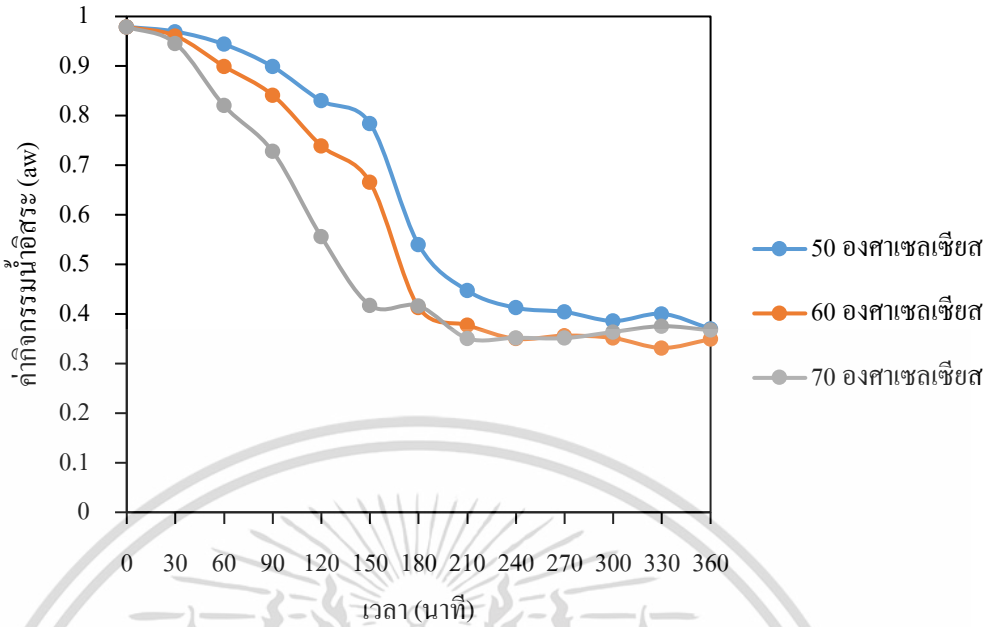


ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละ) และระยะเวลาการอบแห้ง (นาที) กล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

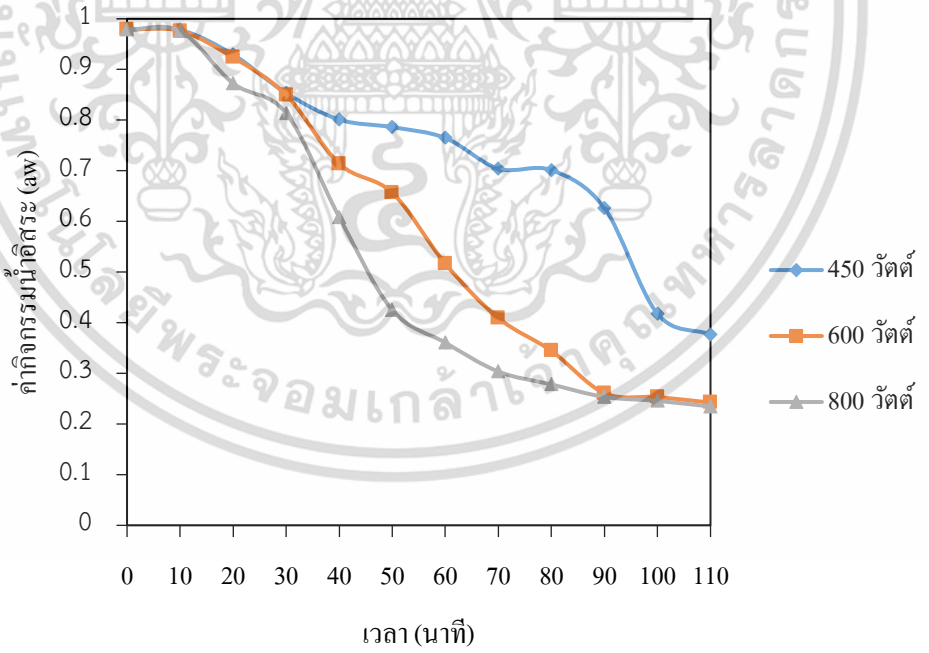


ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละ) และระยะเวลาการอบแห้ง (นาที) กล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังวัตต์ 450 600 และ 800 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมน้ำอิสระและระยะเวลาการอบแห้ง (นาที) ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมน้ำอิสระและระยะเวลาการอบแห้ง (นาที) ด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังวัตต์ 450 600 และ 800 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

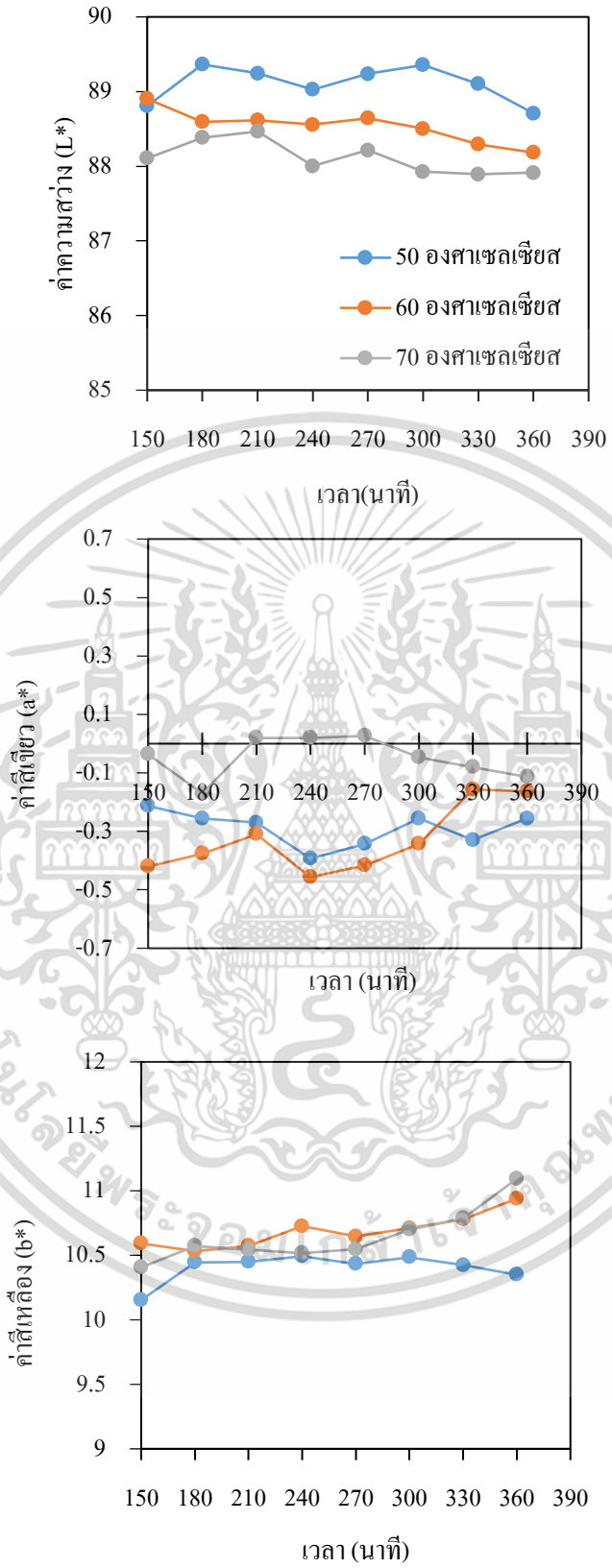
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าดัชนีสีน้ำตาลของแป้งกล้วยหอมทองระหว่างการทำแห้ง

จากภาพที่ 4.9 ที่แสดงผลวิเคราะห์ด้านค่าความสว่าง (L*) ของแป้งกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งตู้อบลมร้อนแบบถาด จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งจะมีผลต่อค่าความสว่างของเนื้อกล้วยหอมทองลดลง โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีแนวโน้มค่าความสว่าง (L*) ของแป้งกล้วยหอมมากที่สุด และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มค่าความสว่าง (L*) น้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าความสว่าง ทำให้ทราบว่าการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลานาน จะส่งผลให้แป้งมีค่าความสว่างน้อยลง โดยค่าความสว่างที่ลดลงอาจมีผลจากการเพิ่มขึ้นของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning) เช่น การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ที่มีสารตั้งต้นคือปริมาณกรดอะมิโนโปรตีนและน้ำตาล ที่ทำให้เกิดรงควัตถุที่มีสีน้ำตาล และส่งผลให้สีของแป้งกล้วยหอมมีค่าความสว่างลดลง (รุ่งทิพย์, 2549)

ผลวิเคราะห์ค่าสีเขียว (a* ทางลบ) ของแป้งกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความเป็นสีเขียวเพียงเล็กน้อย โดยการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แป้งกล้วยหอมมีค่าสีเขียว (a* ทางลบ) มากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องซาเซลเซียส โดยที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แป้งกล้วยจะมีค่าสีเข้าใกล้สีแดง (a* ทางบวก) มากที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าสีเหลือง (b* ทางบวก) พบว่าแป้งกล้วยหอมที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซียลเซส แป้งกล้วยหอมจะมีค่าสีเหลืองน้อยที่สุด ส่วนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส แป้งกล้วยหอมที่ได้มีแนวโน้มค่าสีเหลืองที่มากกว่า

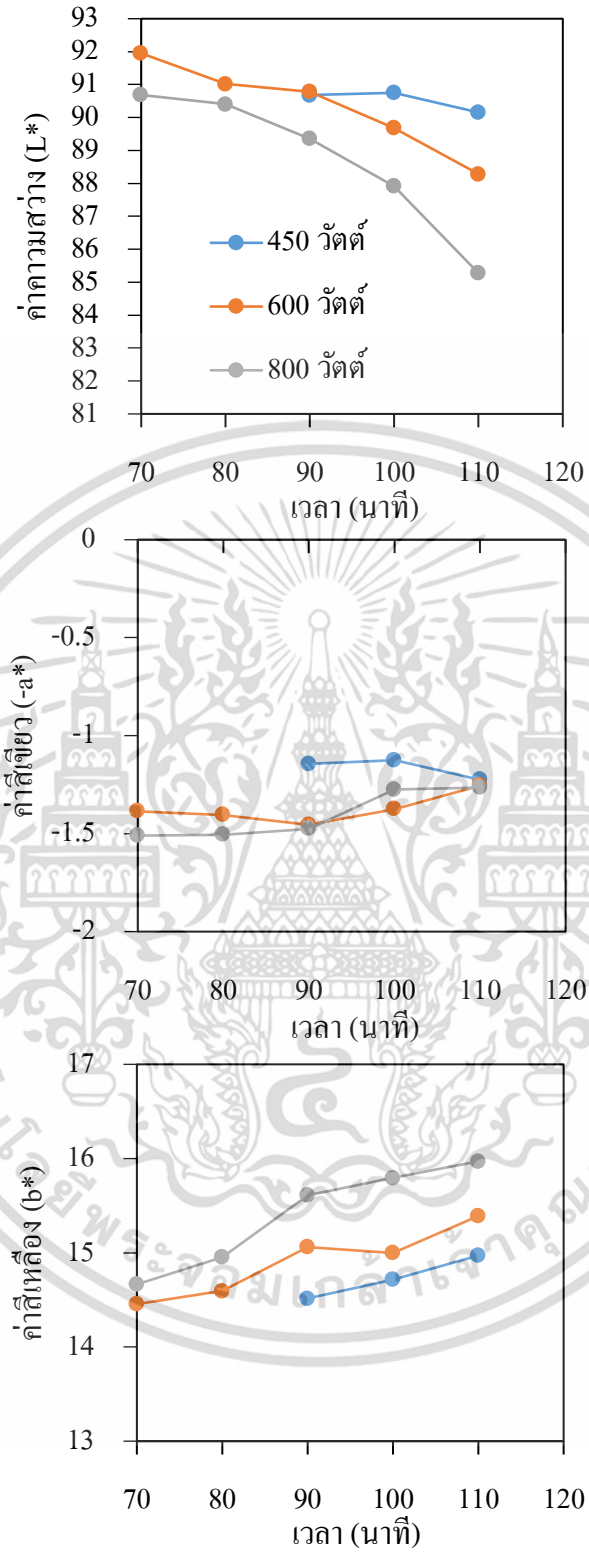
จากภาพที่ 4.10 จะพบว่า เมื่อเพิ่มกำลังไฟในการทำแห้งจะส่งผลต่อค่าความสว่างของแป้งกล้วยที่ลดลงตามไปด้วย โดยการใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไฟ 600 วัตต์ ที่เวลา 70 นาที จะทำให้ค่าความสว่างของแป้งกล้วยหอม (L*) มีค่าสูงสุด และการใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไฟ 800 วัตต์ ที่เวลา 110 นาที แป้งกล้วยหอมที่ได้จะมีค่าความสว่าง (L*) น้อยที่สุด เนื่องจากกำลังไฟที่ 800 วัตต์ อาจมีกำลังไฟที่สูงเกินไปในการทำแห้งแป้งกล้วยหอม จึงส่งผลให้แป้งกล้วยหอมที่ได้มีสีคล้ำขึ้น และการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำแห้ง ยังมีผลต่อค่าความสว่างของแป้งกล้วยหอมอีกด้วย เมื่อแป้งกล้วยหอมใช้เวลาในการทำแห้งที่มากขึ้น สีของแป้งกล้วยจะมีความสว่างที่ลดลง หรือมีสีที่คล้ำมากขึ้น สำหรับค่าสีเขียว (a* ทางลบ) จะพบว่าเมื่อระยะเวลาในการทำแห้งที่เพิ่มขึ้น ที่กำลังไฟ 800 วัตต์ มีแนวโน้มของค่าสีเขียวลดลง และที่กำลังไฟ 450 วัตต์ จะมีค่าสีเขียวน้อยที่สุด สำหรับผลวิเคราะห์ค่าสีเหลืองจะเห็นว่าเมื่อกำลังไฟ และระยะเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มของค่าสีเหลืองที่เพิ่มขึ้น โดยที่กำลังไฟ 800 วัตต์ มีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ 600 และ 450 วัตต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) กับระยะเวลาการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

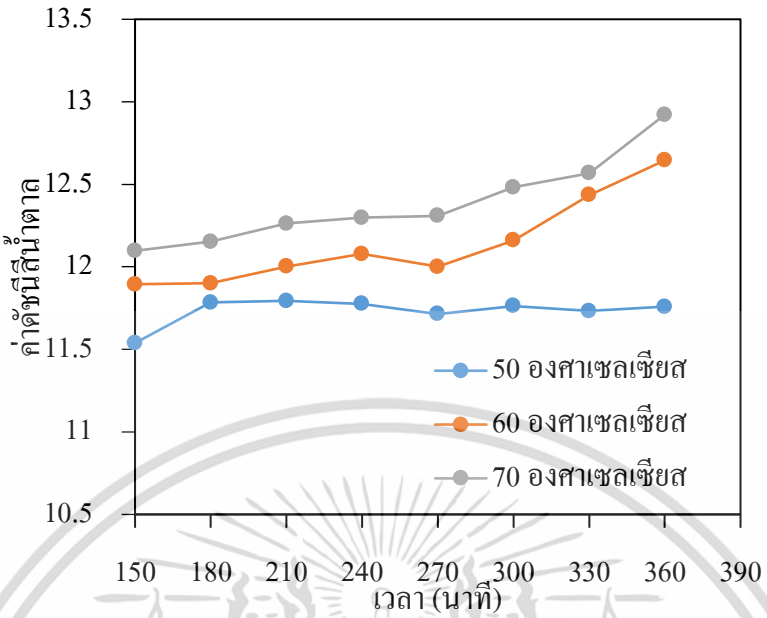
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



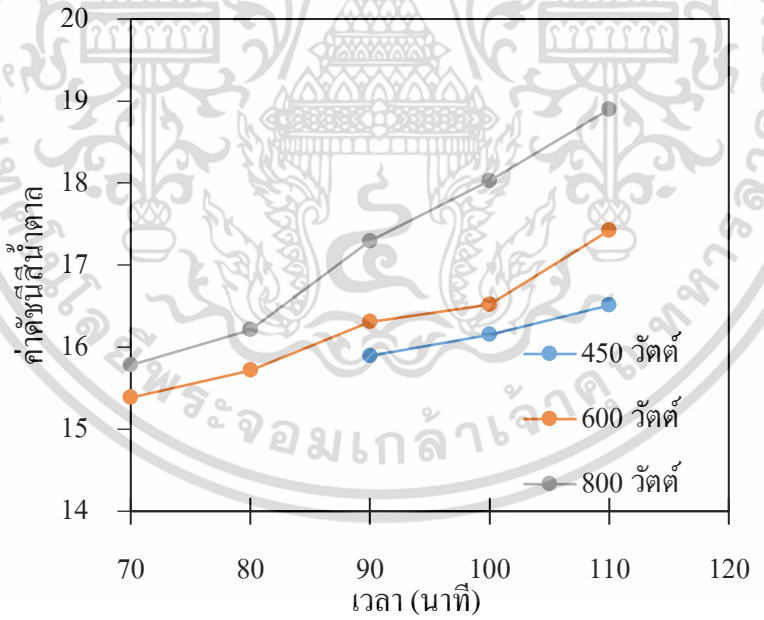
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) กับระยะเวลาการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไฟ 450, 600 และ 800 วัตต์

* หมายเหตุ : ไม่สามารถวัดสีของตัวอย่างแป้งกล้วยที่กำลังไฟ 450 วัตต์ การระหว่างการทำแห้งที่เวลา 70-80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index : BI) และเวลาด้วยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index : BI) และเวลาด้วยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (Microwave dryer vacuum) ที่กำลังวัตต์ 450, 600 และ 800 วัตต์

* หมายเหตุ : ไม่สามารถวัดสีของตัวอย่างแป้งกล้วยที่กำลังไฟ 450 วัตต์ การระหว่างการทำแห้งที่เวลา 70-80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.11 และ 4.12 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีสีน้ำตาลของแป้งกล้วยที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และแป้งกล้วยหอมที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีสีน้ำตาลที่เหมือนกัน คือ ยิ่งใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และใช้กำลังไฟในการทำแห้งที่สูงขึ้น จะส่งผลต่อค่าดัชนีสีน้ำตาลที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกันกับการใช้เวลาในการทำแห้งที่นานขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าดัชนีสีน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งมีผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลืองของแป้งกล้วยหอม

จากการศึกษาดังภาพที่ 4.5 - 4.12 แสดงผลของสภาวะในการทำแห้งกล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ทำให้สามารถใช้ผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปแป้งกล้วยหอม โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแป้งกล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด คือ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที เนื่องจากแป้งกล้วยหอมที่ได้มีค่าความสว่างมากที่สุด มีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 12 และยังใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยที่สุดอีกด้วย ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแป้งกล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ คือ ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 70 นาที เนื่องจากแป้งกล้วยหอมที่ได้ยังคงที่มีสีที่สว่างกว่าที่กำลังไฟ 800 วัตต์ และใช้เวลาในการทำแห้งที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับกำลังไฟที่ 450 วัตต์

เมื่อคำนวณน้ำหนักผลผลิตแป้งที่ได้จากกระบวนแปรรูปด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศจะได้ผลดังตารางที่ 4.8 พบว่า กำลังการผลิตต่อ 1 รอบของการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (ดังภาพที่ ค.1) จะมีปริมาณที่สูงถึง 4,560 กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (ดังภาพที่ ค.2) ซึ่งจะได้ผลผลิตต่อ 1 รอบเท่ากับ 380 กรัม

ตารางที่ 4.8 กำลังการผลิตแป้งกล้วยหอมด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด และไมโครเวฟสุญญากาศ

สภาวะการทำแห้ง	กำลังการผลิตต่อ 1 รอบ	กำลังการผลิตต่อ 1 ชั่วโมง
เครื่องทำแห้งแบบถาด ที่ 70°C เป็นเวลา 150 นาที (เนื้อกล้วยก่อนอบ 1 กก. x 12 ถาด)	ประมาณ 4,560 กรัม	ประมาณ 1,824 กรัม
ไมโครเวฟสุญญากาศ ที่ 600 W เป็นเวลา 70 นาที (เนื้อกล้วยก่อนอบหนัก 1 กก.)	ประมาณ 380 กรัม	ประมาณ 325.7 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการทดแทนแป้งกล้วยหอมทองในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

จากการศึกษาระดับความแก่ของกล้วยหอมทองดิบ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมในการแปรรูปแป้งกล้วยหอมทอง ดังหัวข้อที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ คือ การนำกล้วยหอมทองดิบที่ระดับความแก่ 80 วัน มาผลิตเป็นแป้งกล้วยหอมทอง โดยนำมาแช่สารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 ก่อนนำไปทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที เพื่อนำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แป้งกล้วยหอมทดแทนในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทต่าง ๆ โดยให้เชฟทั้งหมด 5 ท่านเป็นผู้ทดลองและทดสอบการใช้งานแป้งกล้วยหอมในการทำผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องกับขนมอบ (ดังภาคผนวก ฉ) ได้ผลการทดลองดังต่อไป

4.4.1 เค้กเนยสด (Butter cake)

เมื่อนำแป้งกล้วยหอมมาใช้เป็นส่วนประกอบทดแทนแป้งสาลีในการทำเค้กเนยสด (ดังภาคผนวกที่ ฉ.1) ในอัตราส่วนร้อยละ 50 และ 100 นำมาเปรียบเทียบกับเค้กเนยสดสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลี พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแป้งกล้วยหอมที่มากขึ้น ลักษณะส่วนผสมก่อนเข้าอบของเค้กจะมีความหนืดที่เพิ่มขึ้นและมีสีเข้มขึ้น ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของเค้กเนยสดที่ใช้แป้งกล้วยทดแทนร้อยละ 50 มีสีเข้มกว่าและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แห้งและร่วนกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย ในขณะที่เค้กเนยสดที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 มีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อสัมผัสเค้กแห้งและร่วนมาก เนื้อเค้กมีลักษณะเป็นไตเล็กน้อย และมีกลิ่นแป้งกล้วย

ภาพที่ 4.13 เค้กเนยสดสูตรควบคุม (ก), สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (ข) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 เค้กฟองน้ำ (Sponge cake)

เมื่อนำแป้งกล้วยหอมมาใช้เป็นส่วนประกอบทดแทนแป้งสาลีในการทำเค้กฟองน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 50 และ 100 (ดังภาคผนวกที่ ฉ.2) นำมาเปรียบเทียบกับเค้กฟองน้ำสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีร้อยละ 100 พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแป้งกล้วยหอมที่มากขึ้น เนื้อเค้กจะมีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้น โดยเค้กที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยที่ร้อยละ 50 จะมีลักษณะเนื้อเนียนละเอียด แต่การขึ้นฟูน้อยกว่าสูตรควบคุม และมีกลิ่นแป้งกล้วยเล็กน้อย ในขณะที่เค้กที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 มีสีน้ำตาลเข้มกว่าและมีการขึ้นฟูที่น้อยกว่าร้อยละ 50 และมีกลิ่นแป้งกล้วยอย่างชัดเจน

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.14 เค้กฟองน้ำสูตรควบคุม (ก), สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (ข) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ค)

4.4.3 เค้กชิฟฟอน (Chiffon cake)

เมื่อนำแป้งกล้วยหอมใช้เป็นส่วนประกอบทดแทนแป้งสาลีในการทำเค้กชิฟฟอนที่อัตราส่วนร้อยละ 50 และ 100 (ดังภาคผนวกที่ ฉ.3) นำมาเปรียบเทียบกับเค้กชิฟฟอนสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีร้อยละ 100 ดังภาพที่ 4.15 พบว่าเค้กชิฟฟอนที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 มีเนื้อเค้กสีเทาอ่อน เนื้อสัมผัสเค้กนุ่ม แห้ง เล็กน้อย เค้กขึ้นฟูสวย และมีกลิ่นแป้งกล้วย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งกล้วยในการทำเค้กชิฟฟอนขึ้นเป็นร้อยละ 100 เนื้อเค้กที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม แห้งแข็ง เนื้อเค้กมีโพรงอากาศ เค้กมีลักษณะขึ้นฟูได้น้อยและมีกลิ่นแป้งกล้วยอย่างชัดเจน

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.15 เค้กชิฟฟอนสูตรควบคุม (ก), สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (ข) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 เค้กไข่ไต้หวัน

จากภาพที่ 4.16 เค้กไต้หวันสูตรควบคุมจะมีเนื้อเค้กสีเหลืองสว่าง เนื้อนุ่มเนียนละเอียด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ทดแทนแป้งกล้วยร้อยละ 50 จะมีสีที่คล้ำกว่า เนื้อเค้กนุ่ม และร่วนเล็กน้อย โดยเมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนแป้งกล้วยเป็นร้อยละ 100 จะมีสีของเค้กที่เข้มขึ้น มีกลิ่นแป้งกล้วยชัดขึ้น และมีความร่วนของเนื้อเค้กที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนของแป้งกล้วยทำให้ส่วนผสมของแบทเทอร์มีความข้นหนืดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อผสมลงในส่วนของเมอแรงค์จะเกิดการยุบตัวของไข่ขาว ทำให้เค้กหลังอบที่ได้ยุบตัว

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.16 เค้กไข่ไต้หวันสูตรควบคุม (ก), สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (ข) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ค)

4.4.5 ฟินองเชียร์ (Financier)

เมื่อเปรียบเทียบฟินองเชียร์ที่ทำจากแป้งกล้วยหอมทดแทนแป้งสาลีอัตราส่วนร้อยละ 100 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีร้อยละ 100 (ดังภาคผนวกที่ ฉ.5) พบว่าฟินองเชียร์แป้งกล้วยมีลักษณะผิวสัมผัสภายนอกไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม เนื้อสัมผัสของขนมมีความชุ่มฉ่ำกว่า สีเข้มกว่า และมีกลิ่นของแป้งกล้วยเล็กน้อย

ภาพที่ 4.17 ฟินองเชียร์ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 แพนเค้ก

แพนเค้กที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยหอมอัตราส่วนร้อยละ 50 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลี พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของแพนเค้กขึ้นฟูน้อยกว่า มีลักษณะเนื้อที่ฉ่ำและแน่นกว่าใช้สูตรควบคุม แพนเค้กที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นแป้งกล้วยเล็กน้อย

ภาพที่ 4.18 แพนเค้กที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 50

4.4.7 ครัมเบิล

ครัมเบิลที่ใช้แป้งกล้วยหอมทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลี จะเห็นผลด้านสีที่เข้มกว่าสูตรควบคุมอย่างชัดเจน เนื้อสัมผัสของขนมแน่นกว่า มีกลิ่นและรสของแป้งกล้วยอย่างชัดเจน และมีความกรอบที่ไม่ได้ต่างจากสูตรควบคุม

ภาพที่ 4.19 ครัมเบิลที่ใช้แป้งกล้วยหอมทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

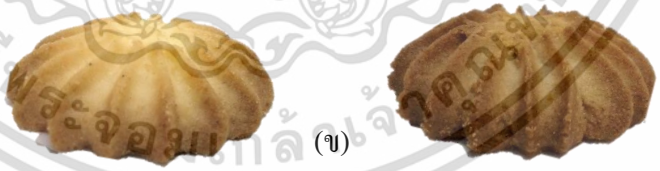
4.4.8 ทาร์ต

จากการทดลองทำทาร์ตที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยในอัตราส่วนร้อยละ 50 พบว่าแป้งทาร์ตที่ผสมก่อนทำไปขึ้นรูปมีลักษณะเนียนเรียบ รีดง่าย ภายหลังอบแล้วทาร์ตมีสีที่เข้มกว่าสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลี มีกลิ่นแป้งกล้วยอย่างชัดเจน ลักษณะเนื้อสัมผัสของทาร์ตมีความร่วนนิ่ม และแตกง่ายกว่าทาร์ตสูตรควบคุม เมื่อเก็บทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีลักษณะที่ชื้นขึ้น และนิ่มเร็วกว่าสูตรควบคุม

ภาพที่ 4.20 ทาร์ตที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 50

4.4.9 คุกกี้เนย

เมื่อใช้แป้งกล้วยหอมทองทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนร้อยละ 50 พบว่าสีของคุกกี้เนยมีสีเข้มกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้สูตรควบคุม แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.21 คุกกี้เนยสูตรควบคุม (ก) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 50 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.10 ครัวซองค์เนยสด และครัวซองค์ช็อคโกแลต

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 50 ลักษณะของโดที่ได้จะมีสีเข้ม โดมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า และใช้เวลาบ่มในตู้หมักนานกว่าสูตรควบคุม ลักษณะเนื้อครัวซองค์หลังอบจะไม่มีการดีดตัว (oven spring) เนื้อมีลักษณะแน่น มีรสชาติและกลิ่นหอมของเนยลดลง และกลิ่นแป้งกล้วยหอมเล็กน้อย

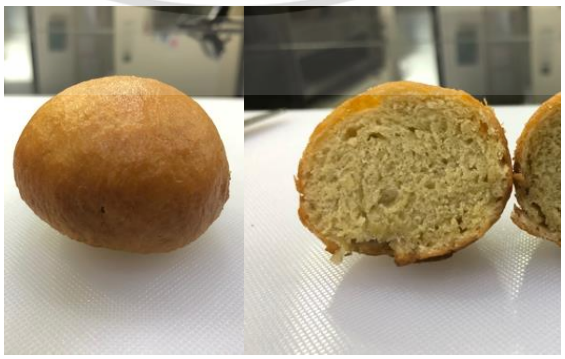
(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.22 ครัวซองค์เนยสด (ก) และครัวซองค์ช็อคโกแลต (ข) ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 50

4.4.11 โดนัท

เมื่อทดแทนแป้งกล้วยในปริมาณร้อยละ 50 โดนัทที่ได้หลังการทอดมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนื้อแน่นกว่าสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีเล็กน้อย และมีกลิ่นของแป้งกล้วยเล็กน้อย



ภาพที่ 4.23 โดนัทที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.12 ขนมปัง

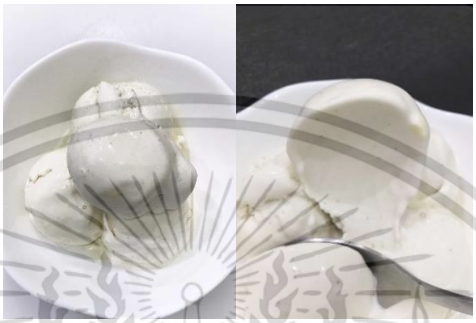
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยหอมในอัตราส่วนร้อยละ 50 ลักษณะของโดจะมีสีที่เข้มขึ้น ความสามารถในการยืดเป็นฟิล์มได้น้อยลง และโดขึ้นระหว่างการบ่มได้ช้ากว่าสูตรควบคุม ภายหลังการอบขนมปังที่ได้จะมีสำคล้ำเล็กน้อย ฟองอากาศมีความละเอียดใกล้เคียงกับสูตรควบคุม และมีกลิ่นแป้งกล้วย เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยหอมทดแทนเป็นร้อยละ 100 โดที่ได้จะมีลักษณะคล้ำลง ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่สามารถยืดเป็นฟิล์มได้ และมีการขยายของโดในระหว่างการบ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ภายหลังการอบขนมปังจะไม่มีการขึ้นฟู และมีเปลือกเหนียว จากการศึกษาของ Amini Khoozani และคณะ (2020) ได้กล่าวว่ากลูเต้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อลักษณะของการทำขนมปัง เมื่อเพิ่มปริมาณทดแทนแป้งกล้วยในสูตรจะทำให้ปริมาณกลูเต้นลดลง ส่งผลให้ปริมาตร และความสูงของขนมปังลดลง เนื่องจากโดมีความยืดหยุ่น และความแข็งแรงในการกักเก็บแก๊สน้อยลง

ภาพที่ 4.24 ขนมปังสูตรควบคุม (ก), สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (ข) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.13 ไอศกรีมวานิลลา

เมื่อใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งข้าวโพดในการทำไอศกรีมวานิลลา ในระหว่างกระบวนการทำไอศกรีมแป้งกล้วยจะมีลักษณะดูดน้ำและพองตัวได้ดี แต่ละลายน้ำได้ไม่ดี จึงเหลือแป้งที่เกาะตัวกันอยู่ก้นกระชอนปริมาณมาก มีกลิ่นแป้งกล้วยเล็กน้อย เนื้อไอศกรีมมีความข้นหนืดไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ใช้แป้งข้าวโพด แต่ละลายรวดเร็วกว่า และเกิดเกล็ดน้ำแข็งได้เร็วกว่า



ภาพที่ 4.25 ไอศกรีมที่ใช้แป้งกล้วยหอมทดแทนแป้งข้าวโพดร้อยละ 100

4.4.14 ไส้เพรสตรี้ครีม

ไส้เพรสตรี้ครีมที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยในอัตราส่วนร้อยละ 50 พบว่าลักษณะเนื้อครีมมีความเนียนละเอียด สีเหลืองสวย มีกลิ่นกล้วยเล็กน้อย คงตัวที่ดี ไม่เป็นก้อน มีลักษณะที่ไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับไส้เพรสตรี้ครีมสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์

ภาพที่ 4.26 ไส้เพรสตรี้ครีมที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.15 ไส้ราสป์เบอร์รี่ (Raspberry Filling)

เมื่อทดสอบการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยหอมปริมาณร้อยละ 100 เพื่อใช้เป็นสารให้ความหนืดในการการทำไส้ราสเบอร์รี่ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลีจะพบว่าการใช้แป้งกล้วยหอมไม่ส่งผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของไส้ราสเบอร์รี่ แต่จะมีความทึบแสงมากกว่าเล็กน้อย ไส้จะมีลักษณะจับตัวเป็นเจลคงตัวมากกว่าสูตรควบคุม ในขณะที่สูตรควบคุมจะมีลักษณะที่ข้นหนืดสามารถไหลได้คล้ายซอส

ภาพที่ 4.27 ไส้ราสเบอร์รี่ที่ใช้แป้งกล้วยหอมทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 100

จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แป้งกล้วยหอมทองทดแทนในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับขนมอบ พบว่าแป้งกล้วยหอมทองมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์ประเภทไส้ขนมที่สูงที่สุด เช่น ไส้เพรสตรี้ครีม และซอสราสเบอร์รี่ รองลงมาคือการใช้ทดแทนในผลิตภัณฑ์ประเภทคุกกี้และทาร์ต และการใช้แป้งกล้วยหอมทดแทนในผลิตภัณฑ์ประเภทเค้กและขนมปังมีความเป็นไปได้ที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับประเภทผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จึงทำให้เห็นว่าแป้งกล้วยหอมทองมีคุณสมบัติเรื่องความข้นหนืดที่เด่นชัดที่สุด แต่มีลักษณะการอุ้มไขมันและน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ประเภทเค้กที่น้อยกว่าแป้งสาลี จึงทำให้เค้กที่ได้มีลักษณะร่วน และแห้งกว่าสูตรที่ใช้แป้งสาลี และเนื่องจากแป้งกล้วยหอมมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำและไม่เหมาะสมในการเกิดโครงสร้างกลูเต้น ลักษณะโดในผลิตภัณฑ์ขนมปังก่อนการอบที่ได้จึงมีความยืดหยุ่นเป็นฟิล์มได้น้อย ทำให้เนื้อขนมปังที่ได้จึงมีลักษณะการขึ้นฟูที่น้อยกว่าสูตรที่ใช้แป้งสาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ระดับความแก่ของกล้วยหอมทองมีผลต่อสมบัติทางกายภาพผลกล้วย ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ค่าดัชนีการย่อย และดัชนีน้ำตาล สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน และค่าการละลายของแป้งกล้วย ซึ่งระดับความแก่ที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นแป้งกล้วยหอม คือ ที่ระดับความแก่ช่วงประมาณ 70 ถึง 80 วัน เนื่องจากมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำที่สุด โดยที่ระดับความแก่ 80 วัน จะมีผลผลิตแป้งกล้วยสูงกว่าที่ระดับความแก่ 70 วัน

5.1.2 แป้งที่ได้จากการใช้สารละลายกรดซิตริกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจะมีโทนสีสว่างกว่าการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 1.5 ทำให้สีแป้งกล้วยสว่างที่สุด แต่เมื่อนำใช้ในผลิตภัณฑ์จะมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย จึงลดปริมาณกรดได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5

5.1.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบถาด คือ 70 °C ใช้เวลา 150 นาที และกำลังไฟที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ คือ 600 วัตต์ ใช้เวลา 70 นาที

5.1.4 ความเป็นไปได้ในการใช้แป้งกล้วยหอมทองเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ประเภทไส้ขนมมีมากที่สุด รองมาคือการใช้ทดแทนในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภททาร์ต คุกกี้ เค้ก และขนมปัง ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณอะมิโลส และอะมิโลเพคติน เพื่อใช้เป็นข้อมูลเชื่อมโยงผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรมีการศึกษาปรับใช้จากเครื่องมือการผลิตในสภาวะจริงมากที่สุด

5.2.3 ควรใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ปราศจากกลูเต้น สำหรับผู้ที่เป็นโรคภูมิแพ้กลูเต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2560. **การแปรรูปกล้วย**. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. **เทคโนโลยีของแป้ง.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิรนาถ บุญคง, ทิพวรรณ บุญมี และ พัชราวรรณ เรือนแก้ว. 2557. การใช้แป้งกล้วยหอมทองดิบที่มีสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์พาสต้า. **วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม.** ปีที่ 10 (ฉบับที่ 1): 19-29.

จุฑามาศ พีรพัชระ. 2558. **กล้วยครบวงจร : ผลงานวิจัยเพื่อสนองพระราชดำริโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.chutamas.info/?p=1212

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยว และการวายของพืช.** นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมการเกษตรแห่งชาติ กำแพงแสน.

ธนาภร รติธรรมธร. 2560. แป้งต้านทานการย่อย. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.** ปีที่ 22 (ฉบับที่ 1): 166-176.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2562. **Enzymatic browning reaction**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0679/enzymatic-browning-reaction. 16 พฤษภาคม 2562.

นภัสรพี เหลืองสกุล และ สวามินี นวลแขกุล. 2559**. Cooking Bible: Bakery**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อมรินทร์.

นิรนาม. 2556. **ความหมายของขนมอบ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.tikybakery.wixsite.com/bake/bakery. 16 พฤษภาคม 2562.

นิรนาม. 2558. **การอบแห้ง (Drying)**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://ienergyguru.com/2015/09/drying/. 16 พฤษภาคม 2562.

นิรนาม. 2558. **ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ในประเทศไทย.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=77. 16 พฤษภาคม 2562.

นิรนาม. 2559. **โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก.และนิทรรศการผลงานนวัตกรรม เกษตรศาสตร์นำไทยสู้ภัยแล้งในงานเกษตรแฟร์ ประจำปี 2559**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www3.rdi.ku.ac.th /?p=24947. 16 พฤษภาคม 2562.

นิรนาม. 2562. **การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (browning)** . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.sc.chula.ac.th/clubs/FoodClub/page_120.htm. 16 พฤษภาคม 2562.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิรนาม. 2562. **การแปรรูปกล้วย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://otop.dss.go.th/index.php/en/2014-10-09-08-12-02/2017-07-04-03-19-03/139-2017-07-04-04-00-8?showall=1 limitstart=. 16 พฤษภาคม 2562.

นวพร หงส์พันธุ์ และจันทรสุดา อดุลยศักดิ์สกุล. 2556. ผลของแป้งกล้วยดัดแปรและสารให้ความคงตัวทางการค้าต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนมสด**.** วิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 44 (ฉบับที่ 2): 217-220.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2558. **กล้วย.** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศสำนักคณะกรรมการอาหารและยา . 2559. **วัตถุเจือปนอาหาร**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.fda.moph.go.th/sites/food/FoodAdditives/P389.pdf. 16 พฤษภาคม 2562.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2549. **องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทาง เคมีกายภาพของแป้งฟลาวร์ และสตาร์ชจากแห้วจีน (*Eleocharisdulcis Trin.*).** รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนส่งเสริมงานวิจัยมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. ISBN 974-677-611-8.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร. 2563. **จะใช้ค่า Glycemic index และ glycemic load อย่างไร**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.asah.co.th/download/file/5f84f12a.pdf. 26 มีนาคม 2563.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2550. **แป้งกล้วย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx. 16 พฤษภาคม 2562.

รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม. **การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกระบวนการอบแห้งลำใยแบบทั้งผล.** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549)

ฤทธิชัย อัศวราชันย์. 2554. การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. **วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**. ปีที่ 1 (ฉบับที่ 2).

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. **พลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=24947. 16 พฤษภาคม 2562.

สมาคมการค้าเกษตรอินทรีย์ไทย. 2562. **ตลาดกล้วยในญี่ปุ่น.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.thaiorganictrade.com/sites/default/files/banana_in_japan.pdf. 30 มิถุนายน 2563.

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น. **การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย.** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุวิมล วัฒนะพันธ์ศักดิ์. 2549. **ผลของการลดการเกิดสีน้ำตาลและการแปลงสภาพบรรยากาศต่ออายุการเก็บรักษาของผักกาดแก้วตัดแต่ง**. สารนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปกร.

วลัย หุตะโกวิท, บุษรา สร้อยระย้า, ดวงแข สุขโข, เฟื่องฟ้า เมฆไกรเกรียง, รัมภา สุวรรณพฤกษ์, จุฑา วิริยะ และ วไลภรณ์ สุทธา. 2543. **ผลิตภัณฑ์จากกล้วย**. หน้า 167-174. การประชุมสัมมนากล้วยนานาชาติครั้งที่ 1 กรมส่งเสริมการเกษตร.

วิไล รังสาดทอง. 2543. **เทคโนโลยีแปรรูปอาหาร.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เท็กซ์แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

Alkarkhi, A.F.M., Ramli S., Yong, Y.S.,and Easa, A.M. 2011. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. **Food Chemistry**. 129: 312–318.

Agama, A. E., Rodriguez, A.S.L., García, S.F.J., Gutierrez, M.F., Pacheco, V.G. and Bello, L.A. 2014. Starch isolation and partial characterization of commercial cooking and dessert banana cultivars growing in Mexico. **Starch-Stärke**. 66: 337–344.

Amir, A.K., Biniam, K., John, B. and Alaa, E.A.B. 2020. The Effect of Bread Fortification with Whole Green Banana Flour on Its Physicochemical, Nutritional and In Vitro Digestibility. **Foods**. 9 (2): 152.

Ana, C., Cristina, M.R. and Fabiola, C. 2018. Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. **Food Chemistry**. 256:11-17.

Anuchita, M., Wanassanun, T., Mai, S., Pimpila, S., Laongdao, P., Rattanapon, P. and Nattipon, H. 2014. Resistant starch and bioactive contents of unripe Banana flour as influenced by harvesting periods and its application. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**. 9 (3): 457-465.

Arlette, A.N.G., Olivier, K. K., and Jean, T.G. 2018. Effect of Chemical and Thermal Treatments on Browning Inhibition of Senescent Plantain (Musa paradisiaca) Puree for Semolinas Preparation. **American Journal of Biochemistry**. 8(4): 75-84.

Barbosa, C.G.V., Fontana, A.J., Schmidt, S.J., and Labuza, T.P. 2008. Water activity in foods: Fundamentals and Appilcations. USA. Blackwell Publishing Ltd.

Chávez, S.A., Bello, P.L.A., Agama, A.E., Castellanos, G.F.J., Álvarez, B.C.I. and Pacheco, V.G. 2017. Isolation and partial characterization of starch from banana cultivars grown in Colombia. **International Journal of Biological Macromolecules.** 98: 240–246.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dadzie, B.K. and Orchard, J.E., 1997. Routine Postharvest Screening of Banana/plantain Hybrids: Criteria and Methods. International Network for Banana and Plantain (Inibap), **Technical Guidelines**. CGIAR, Rome Italy, INIBAP, Montpellier, France, ISBN-10: 2-910810-22-4, pp: 63.

Elizabete, W.M., Carmen, C.T., Tatiana, B.T., Angela, Z., Julieta, B., Nelly, P., Gloria, V., Milana, C.T. D., Andréa, C.B., Beatriz, R.C. and Franco, M.L. 2011. Chemical Composition and Nutritional Value of Unripe Banana Flour (Musa acuminata, var. Nanicão). **Plant Foods Hum Nutr**. 66: 231–237.

Gao, H., Huang, S., Dong, T., Yang, Q., and Yi, G. 2016. Analysis of resistant starch degradation in postharvest ripening of two banana cultivars: Focus on starch structure and amylases. **Postharvest Biology and Technology**. 119: 1–8.

Zuwariah, I. and Noor, A.A.A. 2009. Physicochemical properties of wheat breads substituted with banana flour and modified banana flour. **Journal of tropical agriculture and food science**. 37(1): 33–42.

Goñi, I., Alejandra, G.A. and Fulgencio, S.C. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index**. Nutrition Research**. 17: 427-437.

Kahyaoglu,T. and Kaya, S. 2005. Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. **Food Engineering**. 75: 167-177.

Kainuma, K., Odat, T. and Cuzuki, S. 1967. Study of starch phosphates monoesters. **Journal of Technology Society Starch**. 14: 24 - 28.

Kolawole, O.F. and Samson, A.O. 2014. Color, chemical and functional properties of Plantain cultivars and cooking banana flour as affected by drying method and maturity. **Journal of Food Processing and Preservation**. 36: 816-828.

Leach, H.W., Mc Cowen, L.D. and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granules. In: swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**. 36: 534–544.

Lii, C. Y., Chang, S. M. and Young, Y. L. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. **Journal of Food Science**. 47: 1493–1497.

Moongngarm, A., Tiboonbun, W., Sanpong, M., Sriwong, P., Phiewtong, L., Prakitrum, R., and Huychan, N. 2014. Resistant starch and bioactive contents of unripe banana flour as influenced by harvesting periods and its application. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**. 9 (3): 457-465.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mustaffa, R., Osman, A., Yusof, S. and Mohamed, S. 1998. Physico-chemical changes in Cavendish banana (Musa cavendishiiL var Montel) at different positions within a bunch during development and maturation. **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 78:201-207.

Normah, O. and Ku Hasnah K. A. 2001. Pectin content of selected local fruit by-products. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science.** 28(2): 195–201.

Oluwatooyin, F. O. 2009. Scanning electron microscope study and pasting properties of unripe and ripe plantain. **Journal of Food, Agriculture & Environment.** 7 (3-4): 182-186.

Peroni, O.F.H., Simão, R.A., Cardoso, M.B., Soares, C.A., Lajolo, F.M. and Cordenunsi, B. R. 2010. In vivo degradation of banana starch: structural characterization of the degradation process**. Carbohydrate Polymer.** 81: 291–299.

Pragati, S., Genitha, I. and Ravish, K. 2014. Comparative study of ripe and unripe banana flour during storage. **Journal of Food Processing and Technology**. 5: 11.

Sunitha, V.B, Krishnaveni, R., Lavanya, A. and Vyshnavi, T. 2017. Study on effect of quality of green banana flour using different drying techniques**. Pharma Innovation Journal**. 6(10): 01-07.

Surendra, B.A., Mahalakshmi, M. and Parimalavalli, R. 2014. Comparative study on properties of banana flour, starch and autoclaved starch. Trends in carbohydrate research. 6(1): 38-44.

Swittra, B., Nantawan T., and Pisit D. 2011. Characterization of microwave vacuum-dried durian chips. **Journal of Food Engineering**. 104: 114–122.

Tapre, A.R. and Jain, R.K. 2012. Study of advanced maturity stages of banana. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies**. 272-274.

Tonna, A. A., Afam I.O. J., and Godwin R.A. M. 2014. Effect of organic acid pretreatment on some physical, functional and antioxidant properties of flour obtained from three unripe banana cultivars. **Food Chemistry**. 172: 515-522.

United States Department of Agriculture. 2019. **Nutrition information**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.ars.usda.gov/. 16 พฤษภาคม 2562.

Vatanasuchart, N., Niyomwit, B. and Wongkrajan, K. 2012. Resistant starch content, in vitro starch digestibility and physico-chemical properties of flour and starch from Thai bananas. **Maejo International Journal of Science and Technology**. 6(2): 259-271.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Weerayuth, S. and Supranee, M. 2010. Potential application of ascorbic acid, citric acid and oxalic acid for browning inhibition in fresh-cut fruits and vegetables. **Walailak Journal and technology**. 7(1): 5-14.

Wills, R. B. H., Lim J. S. K. and Greenfield H. 1984. Changes in chemical composition of 'Cavendish' banana (*Musa acuminata*) during ripening. **Journal of Food Biochemistry**. 8: 69-77.

Yingqiang, W., Min, Z. and Arun, S. M. 2012. Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition, color, texture and sensory quality in two types of snacks. **Food Science and Technology**. 47: 175-182.

Zuwariah, I. and Noor, A. 2009. Physicochemical properties of wheat breads substituted with banana flour and modified banana flour. **Journal of tropical agricultural and Foodscience**. 63-66.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ขั้นตอนในการเตรียมกล้วย

ก.1 ขั้นตอนการเตรียมกล้วยสำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลกล้วย

ตัดกล้วยออกจากหวีโดยคัดเลือกลูกที่ไม่มีแผล และมีขนาดใกล้เคียงกัน จากนั้นนำไปล้างทำความสะอาด และเช็ดให้แห้ง และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ภาพที่ ก.1 ตัวอย่างกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 60, 70, 80 และ 90 วัน หลังการแทงปลี จากซ้ายไปขวาตามลำดับ

ก.2 ขั้นตอนการเตรียมกล้วยสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเนื้อกล้วย

1. คัดเลือกกล้วยที่มีไม่มีแผล และมีขนาดใกล้เคียงกัน ตัดกล้วยออกจากหวีทีละลูก และล้างทำความสะอาดกล้วย

2. ปอกเปลือกกล้วยโดยการใช้มีดปอกเปลือกหรือมีดหั่น หั่นเนื้อกล้วยเป็นชิ้นหนาประมาณ 5±0.5 มิลลิเมตร และนำเนื้อกล้วยไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ก.3 ขั้นตอนการเตรียมแป้งกล้วยสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย

1. คัดเลือกกล้วยที่มีไม่มีแผล และมีขนาดใกล้เคียงกัน ตัดกล้วยออกจากหวีทีละลูก และล้างทำความสะอาดกล้วย

2. ปอกเปลือกกล้วยหอมทองดิบ ปริมาณ 1 กิโลกรัม แล้วนำมาแช่ในสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที

3. นำเนื้อกล้วยมาหั่นเป็นแผ่นตามขวาง ความหนา 5±0.5 มิลลิเมตร ปริมาณ 1 กิโลกรัม และแช่ในสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยมวล ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นนำเนื้อกล้วยมาเรียงบนถาด แล้วนำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อน (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 60 ± 1 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

5. บดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบด (Pin mill รุ่น ZM200) และร่อนแป้งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 ไมโครเมตร เก็บในภาชนะปิดสนิทในโถดูดความชื้น

ภาพที่ ก.2 การปอกเปลือกกล้วยหอม

ภาพที่ ก.3 การแช่กล้วยในสารละลายกรดซิตริก

ภาพที่ ก.4 การหั่นสไลด์ด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร (Food processer) และใบมีดหั่นสไลด์ รุ่น MCM64060 บริษัท Bosch, ประเทศเยอรมนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.5 การจัดเรียงเนื้อกล้วยบนถาดอบ

ภาพที่ ก.6 เครื่องบด Pin mill รุ่น ZM200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายซิตริก สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และวิธีการแช่กล้วยเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล

ข.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายกรดซิตริก และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยทำการชั่งกรดซิตริก 5, 10 และ 15 กรัม ละลายในน้ำ 1000 มิลลิตร ผสมจนสารละลายเข้ากัน และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.01, 0.03 และ 0.05 โดยชั่งสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1, 0.3 และ 0.5 กรัม ละลายในน้ำ 1000 มิลลิลิตร นำสารละลายที่เตรียมได้ทำต่อในข้อ ข.2

ข.2 วิธีการแช่กล้วยเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล

นำกล้วยมาปอกเปลือกแล้วแช่ในสารลายกรดซิตริก และสารสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่เตรียมไว้ดังข้อ ข.1 เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นหั่นเนื้อกล้วยตามขวางขนาด 5±0.5 มิลลิเมตร แล้วแช่ในสารละลายที่ความเข้มข้นเดิม เป็นเวลา 10 นาที นำกล้วยขึ้นมาพักบนตะแกรง แล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด นำไปบดเป็นผงและร่อน ดังภาคผนวกที่ ก.3 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลค่าสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
วิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray drying) และ การทำแห้งแบบใช้เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (Microwave vacuum drying)

ค.1 วิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray drying)

เตรียมกล้วยตามข้อ ก.3 โดยทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างกล้วยที่อบทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 360 นาที จากนั้นนำกล้วยที่ได้ไปบด และ ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 ไมครอน เก็บแป้งที่ได้ในภาชนะปิดและเก็บในโถดูดความชื้น นำตัวอย่างแป้งไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ค่าสี และค่าดัชนีสีน้ำตาล

ภาพที่ ค.1 เครื่องทำแห้งแบบถาด
ที่มา : Progress electronic.co.,ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 วิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ (Microwave vacuum drying)

เตรียมกล้วยตามข้อ ก.3 โดยทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไฟ 450, 600 และ 800 วัตต์ และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างกล้วยที่อบทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 110 นาที จากนั้นนำกล้วยที่ได้ไปบด และ ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 ไมครอน เก็บแป้งที่ได้ในภาชนะปิด และเก็บในโถดูดความชื้น นำตัวอย่างแป้งไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ค่าสี และค่าดัชนีสีน้ำตาล

ภาพที่ ค.2 เครื่องทำแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ
ที่มา : บริษัท มาร์ช คูล อินดัสทรี จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
วิธีการวิเคราะห์

ง.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลกล้วยหอมทอง

ง.1.1 การวิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR300 ที่แสดงค่าสีด้วยระบบ CIE L*, a* และ b* โดยใช้หัววัดแบบเปิดวางให้หัววัดแนบสนิทกับตัวอย่างผลกล้วยบริเวณที่ไม่มีรอยแผล บันทึกผลที่อ่านได้

ค่า L* คือ ค่าแสดงความเข้ม และความสว่างของสี ซึ่งค่า L มีค่า 0-100 ถ้า ค่า L สูง หมายถึง มีความสว่างมาก แต่ถ้าค่า L* ต่ำแสดงว่าสีเข้มมาก

ค่า a* ที่เป็นลบจะรายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเขียว ในกรณีที่ ค่า a* เป็นบวกจะรายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีแดง

ค่า b* ที่เป็นลบจะรายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีน้ำเงินในกรณีที่ ค่า b* เป็นบวกจะรายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงสีเหลือง

ง.1.2 การวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลกล้วย

วิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่องวัดขนาด Vernier caliper โดยนำผลกล้วยมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลกล้วยที่บริเวณปลาย 2 ด้าน และบริเวณกึ่งกลางผล ทำการวัดซ้ำเป็นจำนวน 20 ลูก ต่อ 1 ระดับความแก่ และหาค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง

ง.1.3 วิเคราะห์สัดส่วนปริมาณเนื้อกล้วยต่อกล้วยทั้งผล (ร้อยละโดยมวล)

นำผลกล้วยแต่ละระดับความแก่มาชั่งน้ำหนักทั้งลูก จากนั้นนำมาปอกเปลือก นำมาชั่งน้ำหนักเนื้อที่ได้ หาเป็นร้อยละน้ำหนักเนื้อต่อ 1 ผล

$$\text{ปริมาณเนื้อกล้วย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อ}}{\text{น้ำหนักกล้วยทั้งผล}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.1.4 วิเคราะห์ปริมาณร้อยละของผลผลิตแป้งกล้วยหอมที่ได้

นำกล้วยแต่ละระดับความแก่ไปผ่านกระบวนการทำแป้งดังภาคผนวกที่ ก.3 แล้วชั่งน้ำหนักแป้งที่ได้ คำนวณเป็นร้อยละน้ำหนักแป้งที่ได้ต่อน้ำหนักเนื้อกล้วย 1 ถาดอบ ก่อนนำไปอบแห้ง

$$\text{ปริมาณผลผลิตแป้ง (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง 1 ถาดอบ}}{\text{น้ำหนักเนื้อกล้วยก่อนอบใน 1 ถาดอบ}} \times 100$$

ง.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเนื้อกล้วยหอมดิบ

ง.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น Air oven method (AOAC., 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิภาชนะลดจนเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำอีกครั้งเช่นเดียวกับข้อ 1 จนผลได้น้ำหนักคงที่
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม (ความละเอียด ±0.0001 กรัม) ใส่ลงในภาชนะสำหรับหาความชื้นที่รู้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส 4-5 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น จนอุณหภูมิภาชนะลดลงจนเท่าอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง
4. อบซ้ำจนน้ำหนักที่ได้คงที่

การคำนวณปริมาณความชื้น (%)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ง.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl (AOAC., 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. จากนั้นเติม $CuSO_4$ 0.1 กรัม, $NaSO_4$ 2 กรัม และ conc.H_2SO_4 25 กรัม
3. นำหลอดย่อยโปรตีนประกอบเข้าเครื่องย่อย โดยใช้อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 380-400 องศาเซลเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส และตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เย็น

5. จากนั้นนำหลอดตัวอย่างที่ย่อยแล้วต่อเข้ากับเครื่องกลั่นโปรตีน ใส่กรดบอริก 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย และหยดอินดิเคเตอร์ จะได้สารละลายสีชมพูม่วง

6. วาง Erlenmeyer flask ลงในชุดกลั่น

7. นำสารละลายที่กลั่นได้ทั้งหมดไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จนได้จุดยุติเป็นสีชมพูม่วง แล้วบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง และไตเตรท blank ควบคู่กันด้วย

การคำนวณหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{14.01\times(V_1-V_2)\times N}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}\times 10}$$

V_1 = ปริมาณกรดที่ใช้กับตัวอย่าง

V_2 = ปริมาณกรดที่ใช้กับ blank

N = ความเข้มข้นของกรด

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน} \times 6.25$$

ง.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ด้วยวิธี soxhlet (AOAC., 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. นำขวดกลมสำหรับหาปริมาณไขมันไปอบแห้ง และทิ้งไว้ในเย็นในโถดูดความชื้น บันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน

2. เตรียมตัวอย่างที่หาความชื้นแล้วประมาณ 3 กรัม ใส่บนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด แล้วนำตัวอย่างใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง

3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน Soxhlet เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดกลั่นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 150 มิลลิลิตร ประกอบชุดกลั่นเข้าด้วยกัน เปิดการทำงานของเครื่อง

4. ให้ความร้อนทำการสกัดไขมันโดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจาก อุปกรณ์ควบแน่นในอัตรา 150 หยดต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

5. กลั่นเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมัน นำขวดกลั่นและไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้ง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และบันทึกน้ำหนัก

6. อบซ้ำนานครั้งละ30 นาทีและชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ง.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (AOAC., 1995)

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 สกัดแยกสตาร์ชและโปรตีนออก

1. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งและบดเป็นผงปริมาณ 1.000±0.005 กรัม จากนั้นเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.0 จำนวน 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง

2. เติมเอนไซม์ α-amylase ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนพร้อมกับเขย่าในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3. ทำให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และปรับค่ากรดด่างให้ได้ 7.5±0.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 โมลาร์

4. เติมเอนไซม์ protease ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส โดยกวนตลอดเวลา เป็นเวลา 30 นาที

5. ทำให้เย็นแล้วปรับค่ากรดด่างเป็น 4.5±0.2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.352 โมลาร์

6. เติมเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส โดยกวนจลอดเวลา เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนที่ 2 หาปริมาณ Insoluble Fiber

1. กรองแยกกากและส่วนน้ำออกจากกัน ล้างกากด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง แล้วนำไปรวมกับส่วนน้ำที่แยกออก

2. นำส่วนกากไปล้างด้วยเอทานอล 95 % 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และล้างกากด้วยอะซิโตน 10 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้ง

3. จากนั้นนำส่วนกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักของกากที่เหลือ

4. นำกากที่เหลือ 1 ตัวอย่างไปหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และนำตัวอย่างกากที่เหลืออีก 1 ตัวอย่างไปหาเถ้า จากนั้นคำนวณหาปริมาณโปรตีนและเถ้า แล้วนำไปหักออกจากค่าน้ำหนักกาก จะได้เป็นค่า Insoluble Fiber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 หาปริมาณ Soluble Fiber

1. นำส่วนน้ำจากขั้นตอนที่ 2 มาตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% จำนวน 4 เท่า ของปริมาณสารละลายที่ได้ ให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. กรองแยกตะกอน แล้วล้างตะกอนด้วยเอทานอล 78% ปริมาณ 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง
3. ล้างตะกอนด้วยเอทานอล 90% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร 3 ครั้ง
4. ล้างตะกอนด้วยอะซิโตน ปริมาณ 10 มิลลิลิตร 3 ครั้ง
5. จากนั้นนำส่วนกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักของกากที่เหลือ
6. นำกากที่เหลือ 1 ตัวอย่างไปหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และนำตัวอย่างกากที่เหลืออีก 1 ตัวอย่างไปหาเถ้า จากนั้นคำนวณหาปริมาณโปรตีนและเถ้า แล้วนำไปหักออกจากค่าน้ำหนักกาก จะได้เป็นค่า Soluble Fiber

การคำนวณปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด = Insoluble Fiber + Soluble Fiber

ง.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC., 2000)

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล (W)
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3-5 กรัม (±0.0001 กรัม) แล้วบันทึกผล (S1)
3. นำตัวอย่างไปเผาจนไม่มีควันดำ จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักหาปริมาณเถ้าที่ได้ (S2)

การคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(S2 - W)}{S1} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

โดยการคำนวณจากการหักลบค่า เมื่อทราบปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย จากนั้นนำค่าดังกล่าวมาคำนวณตามสมการดังนี้

การคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) = 100 - (%ความชื้น + %โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า + %เส้นใย)

ง.2.7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ดัดแปลงจาก AOAC. 1995 และ Miller 1956)

1. นำเนื้อกล้วยมาบดให้ละเอียด นำมาชั่งน้ำหนัก 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร $Zn(OAC)_2$ 1 มิลลิลิตร และ $K_4Fe(CN)_6$ 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วกรองเอาเฉพาะส่วนที่ใสด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4
2. จากนั้นแล้วใส่ 25 มิลลิลิตรของของผสมที่มีน้ำ 200 มิลลิลิตร ผสม $Zn(OAC)_2$ 1 มิลลิลิตร และ $K_4Fe(CN)_6$ 1 มิลลิลิตร เขย่าเป็นครั้งคราว แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. กรองด้วยแผ่นกระดาษกรองแผ่นเดิม แล้วแยกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นส่วนใส ใช้สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ส่วนใสนำไปปรับปริมาตรจนครบ 250 มิลลิลิตร แล้วปิเปตมา 1 มิลลิลิตร ผสมกับ DNS 4 มิลลิลิตร
4. นำไปต้มใน water bath อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วปรับปริมาตร ให้ครบ 100 มิลลิลิตร
5. ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว นำไปวัดค่า OD ที่ แอลฟา = 575 นาโนเมตร และเทียบกับกราฟกลูโคสมาตรฐาน

การทำกราฟมาตรฐานกลูโคส

1. ปิเปตสารละลายกลูโคสมาตรฐานจำนวน 0, 2, 4 และ 6 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เติม DNS reagent 4 มิลลิลิตร
2. เขย่าแล้วทำให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส (ในอ่างปรับอุณหภูมิ) เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำให้ได้ปริมาณทั้งหมด 30 มิลลิลิตร โดยทำอย่างรวดเร็ว แล้วนำไปวัดค่า การดูดกลืนแสงที่ 575 นาโนเมตร
3. ใช้น้ำกลั่นเป็น blank แทนตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร แล้วเติม DNS reagent 4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 30 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ) = K1 × B × 100 × dilution / 1000 × A

เมื่อ K1 = Slope x I

B = ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ใช้ (ในส่วนใส)

A = น้ำหนักของตัวอย่าง

Dilution = ระดับการเจือจาง

ง.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย

ง.3.1 การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (Water activity)

วิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระของเค้กกล้วยหอมด้วยเครื่อง Water activity meter รุ่น 4TE ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยบดตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ลงในตลับAw จากนั้นนำเข้าเครื่อง Water activity meter ดังภาพที่ ง.1

ภาพที่ ง.1 เครื่องวิเคราะห์ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น 4TE

ง.3.2 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) (ดัดแปลงจากวิธี Suntharand Ravindran, 1993)

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.8 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2. นำน้ำแป้งที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บส่วนใสที่กรองได้ไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่องวัด (pH meter) และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วย Hand refractrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (Resistant starch) และปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch)

วิธีการวิเคราะห์

1. ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant starch)

1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ใส่ลงในหลอด centrifuge เติมสารละลาย Pancreatic $\propto$ -amylase 4 มิลลิลิตร และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

1.2 เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 99 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ทำการผสม และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที และเทส่วนใสออก

1.3 ล้างตะกอนโดยเติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ทำการผสม และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที และเทส่วนใสรวมกับส่วนใสในข้อที่ 2

1.4 ล้างตะกอนซ้ำอีกครั้งตามขั้นตอนที่ 3 และนำส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนนี้ ไปรวมกับส่วนใสในขั้นตอนที่ 3 (เก็บส่วนใสไว้ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ไม่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ Non-resistant starch)

1.5 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีตะกอน และนำหลอดทดลองไปแช่ในอ่างที่เย็นเป็นเวลา 20 นาที โดยทำการกวนตลอดเวลา

1.6 เติม Sodium acetate buffer pH 3.8 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

1.7 เติม Dilute AMG 3 มิลลิลิตร ทันที ผสมให้เข้ากัน และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

1.8 นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย GOPOD ปริมาตร 3 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร

คำนวณปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากสูตร

ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (กรัม/100กรัม) = $\Delta E \times F/W \times 90$

เมื่อ ΔE = ค่าการดูดกลืนแสง

F = ส่วนกลับของค่าการดูดกลืนแสงจาก 100 ไมโครกรัม ของ D-glucose ซึ่งใน GOPOD ให้ประมาณค่าได้ว่า F = 100

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่วิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณสตาร์ชที่ไม่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Non-resistant starch)

2.1 นำส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงในข้อ 4 ของการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant starch) มาปรับปริมาตรด้วย Sodium acetate buffer pH 4.5 และปิเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตร

2.2 เติมสารละลาย Dilute AMG ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

2.3 เติม GOPOD Reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร

<u>คำนวณปริมาณสตาร์ชที่ไม่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากสูตร</u>

ปริมาณสตาร์ชที่ไม่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (กรัม/100กรัม) = $\Delta E \times F/W \times 90$

เมื่อ ΔE = ค่าการดูดกลืนแสง

F = ส่วนกลับของค่าการดูดกลืนแสงจาก 100 ไมโครกรัม ของ D-glucose ซึ่งใน GOPOD ให้ประมาณค่าได้ว่า F = 100

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่วิเคราะห์

3. ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch)

<u>คำนวณปริมาณสตาร์ชทั้งหมดจากสูตร</u>

ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (กรัม/100กรัม) = ปริมาณสตาร์ชที่ทนย่อย + ปริมาณสตาร์ชที่ไม่ทนย่อย

ง.3.4 การวิเคราะห์ค่าดัชนีการย่อย (Hydrolysis index) และดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI)

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 กรัม ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายระหว่างเอนไซม์ pancreatic α-amylase (ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และ amyloglucosidase เจือจาง (ความเข้มข้น 3.3 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) จำนวน 4 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างในหลอดหมุนเหวี่ยงไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเขย่าตลอดเวลา โดยใช้เวลาบ่ม 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำตัวอย่างออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิแล้วเติมเอทานอลร้อยละ 99 ปริมาตร 4 มิลลิลิตรลงในหลอดเพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นนำตัวอย่างไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,500 กรัม เป็นเวลา 10 นาที และเทส่วนใสลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. ล้างตะกอนอีกครั้งด้วยเอทานอลร้อยละ 50 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ลงในหลอด นำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสรวมกับส่วนใสส่วนแรก

6. ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์พีเอช 4.5

7. ดูดสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม amyloglucosidase (ความเข้มข้น 300 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร นำไปบ่มทันทีในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

8. เติมสารละลาย glucose oxidase peroxidase (GOPOD reagent) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และบ่มทันทีอีกครั้งที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

9. นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และคำนวณหาค่าดัชนีน้ำตาล (GI) จากกราฟความสัมพันธ์การย่อยของสตาร์ชกับเวลา โดยจะได้ค่า C_∞ , C และ t แทนค่าในสมการ (1) หาค่า k

$$C = C_\infty (1-e^{-kt}) \qquad (1)$$

เมื่อ C = ปริมาณการย่อยสตาร์ชที่เวลานั้น ๆ

C_∞ = ค่าสมดุลของปริมาณการย่อยสตาร์ช

k = ค่าคงที่ของจลนศาสตร์

t = เวลา (นาที)

10. นำค่า k มาแทนที่ในสมการ (2) เพื่อใช้หาพื้นที่ใต้กราฟการย่อย (AUC)

$$AUC = C_\infty(t_1-t_0)-(C_\infty/k)[1-\exp[-k(t_1-t_0)]] \qquad (2)$$

เมื่อ C_∞ = ค่าสมดุลของปริมาณการย่อยสตาร์ช

t_0 = เวลาเริ่มต้น (0 นาที)

t_1 = เวลาสุดท้าย (180 นาที)

k = ค่าคงที่ของจลนศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. หาดัชนีการย่อย (hydrolysis index, HI) โดยนำพื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่างหารพื้นที่ใต้กราฟตัวอย่างอ้างอิง (ขนมปังขาว) ดังสมการที่ (3)

$$HI = (\text{AUC ตัวอย่าง} / \text{AUC ตัวอย่างอ้างอิง}) \times 100 \quad (3)$$

12. คำนวณหาดัชนีน้ำตาล (GI) ของตัวอย่างได้จากสมการของ Goñi และคณะ (1997) ดังสมการที่ (4) โดยใช้ค่า HI จากสมการที่ (3)

$$GI = 39.71 + (0.549 \times HI) \quad (4)$$

ง.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของเม็ดแป้งกล้วยหอมทอง

เตรียมตัวอย่างแป้งกล้วยหอมในแต่ละระดับความแก่ โดยการโปรยลงบบเทปกาวบาง ๆ จากนั้นนำไปเคลือบทองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำหนดค่ากำลังไฟ 15 kV (ดังภาพที่ ง.2)

ภาพที่ ง.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, FEI รุ่น QUANTA 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3.6 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคแป้งกล้วยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

1. นำตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองในแต่ละระดับความแก่มาบรรจุบนแผ่นใส่ตัวอย่างแล้วเกลี่ยให้เรียบเสมอ

2. วางตัวอย่างบนแท่นของเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกซ์โตรมิเตอร์ (X-Ray Diffraction – XRD) ของบริษัท BRUKER รุ่น D8 DISCOVER ดังภาพที่ ง.3

3. วิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยกำหนดสภาวะการทดสอบแบบเป้าหมายคือทองแดง ($CuK\alpha$) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลดวลต์ และกระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์ เริ่มทำการวิเคราะห์ที่ 2θ = 4-60° ด้วยอัตราเร็ว 0.04° เป็นเวลา 17.7 วินาที

4. คำนวณค่าดีกรีของผลึก (Degree of crystallinity) ดังสมการดังนี้

ดีกรีของผลึก (ร้อยละ) = $100 \times A_c/(A_c+A_a)$

เมื่อ A_c = พื้นที่ใต้กราฟของพีคส่วนที่เป็นผลึก

A_a = พื้นที่ใต้กราฟของพีคส่วนที่เป็นอสัณฐาน

ภาพที่ ง.3 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกซ์โตรมิเตอร์ (XRD) บริษัท BRUKER รุ่น D8 DISCOVER
ที่มา : บริษัท Bruker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3.7 วิเคราะห์กำลังการพองตัว (Swelling power) (ดัดแปลงจาก Leach และคณะ, 1959)

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
2. นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm เป็นเวลา 15 นาที
3. ชั่งน้ำหนักส่วนตะกอน คำนวณหาค่ากำลังพองตัวตามสมการ ดังนี้

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักชั้นตะกอน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ง.3.8 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืด

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 3.0 กรัม ใส่ในกระบอกอลูมิเนียม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 ± 0.1 มิลลิลิตร
2. กวนด้วยใบพัดให้ตัวอย่างกระจายตัว แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดความหนืด
3. ตั้งค่าโปรแกรมให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3.42 นาที และคงอุณหภูมิไว้ 2.30 นาที ลดอุณหภูมิลงจนถึง 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3.48 นาทีและคงอุณหภูมิไว้ 3 นาที โดยใช้เวลารวมในการวิเคราะห์ทั้งหมด 13 นาที

ภาพที่ ง.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดของแป้ง (Rapid Visco analyzer, RVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3.9 การวิเคราะห์สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 2 มิลลิกรัม ในแพนอลูมิเนียม จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออน (DI) ปริมาตร 7 ไมโครลิตร แล้วปิดผนึกตั้ง

2. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง เพื่อให้ภายในมีความชื้นที่สมดุล

3. จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC กับตัวอย่างอ้างอิง คือ แพนอลูมิเนียมที่ไม่มีตัวอย่าง ตั้งค่าให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 10 ถึง 120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

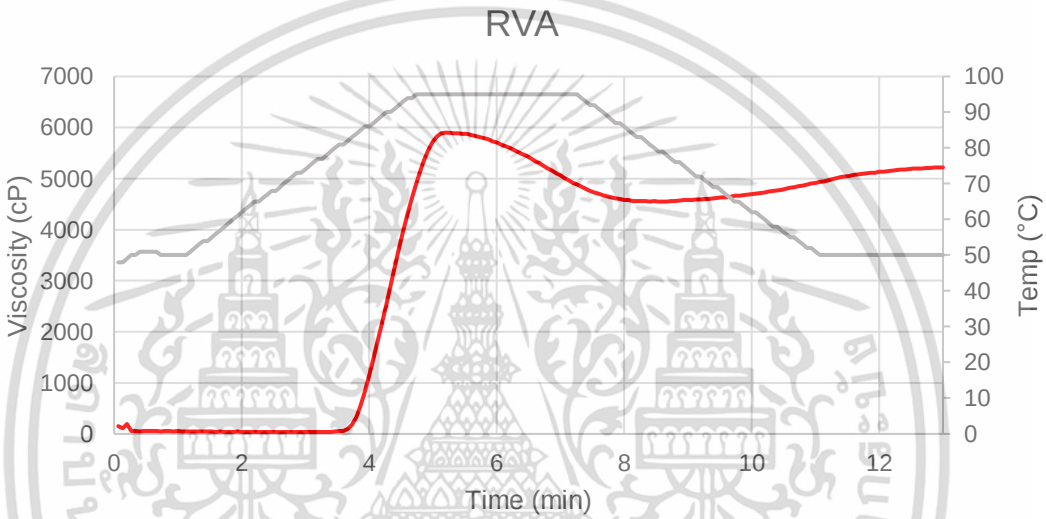
ภาพที่ ง.5 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

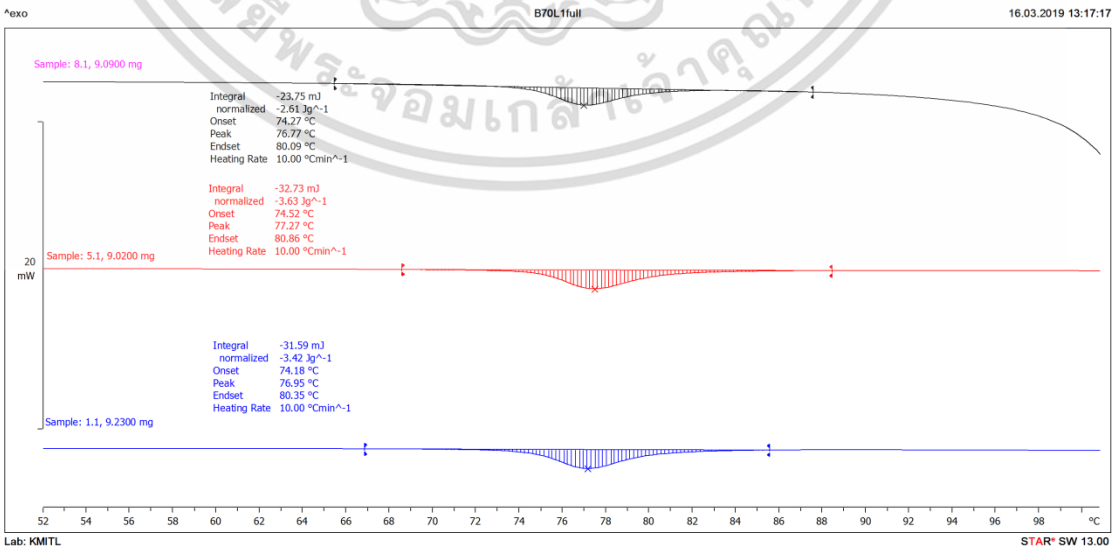
กราฟโครงร่างผลึกอนุภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ สมบัติทางความหนืด และสมบัติทางความร้อนของแป้งกล้วยหอมทอง

จ.1 ตัวอย่างกราฟสมบัติทางความหนืดของแป้งกล้วยหอม



ภาพที่ จ.1 สมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 70 วัน

จ.2 ตัวอย่างกราฟสมบัติทางความร้อนของแป้งกล้วยหอมทอง



ภาพที่ จ.2 สมบัติทางความร้อนของตัวอย่างแป้งกล้วยหอมทองที่ระดับความแก่ 70 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
การทำผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอม

ฉ.1 เค้กเนยสด (Butter cake)

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.1 ส่วนผสมและปริมาณในการทำเค้กเนยสดสูตรควบคุม สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 และร้อยละ 100

ส่วนผสม	สูตรควบคุม (กรัม)	สูตรทดแทนแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กรัม)	สูตรทดแทนแป้งกล้วยร้อยละ 100 (กรัม)
เนยสดเค็ม	67.5	67.5	67.5
น้ำตาลทราย	25	25	25
น้ำตาลไอซิ่ง	25	25	25
ไข่ไก่(เบอร์1)	1 ฟอง	1 ฟอง	1 ฟอง
นมสด	50	50	50
แป้งเค้ก	68	34	-
แป้งกล้วย	-	34	68
นมผง	17.5	17.5	17.5
ผงฟู	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา

ขั้นตอนการทำเค้กเนยสด

1. อุ่นเตาอบ 150 องศาเซลเซียส ไฟบนล่าง
2. ร่อนแป้งเค้ก ผงฟู นมผง เข้าด้วยกันแล้วพักไว้
3. นำเนยสด น้ำตาล น้ำตาลไอซิ่ง ตีเข้าด้วยกัน ด้วยความเร็วสูงสุด 1 นาที
4. นำไข่ไก่ตีผสมกับนมข้นจืด แบ่งใส่สลับกับของแห้งที่ร่อนไว้ แบ่งใส่ของแห้ง 3 รอบ สลับกับของเหลว 2 รอบ
5. นำส่วนผสมเทใส่พิมพ์ลงไป นำเข้าอบ 150 องศาเซลเซียส 30 ถึง 40 นาที หรือจนกว่าจะสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ฉ.1 ส่วนผสมของเค้กก่อนอบสูตรควบคุม (ซ้าย) สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กลาง) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ขวา)

ฉ.2 เค้กฟองน้ำ (Sponge cake)

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.2 ส่วนผสมและปริมาณในการทำเค้กฟองน้ำสูตรควบคุม สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 และร้อยละ 100

ส่วนผสม	สูตรควบคุม	สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กรัม)	สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (กรัม)
ไข่ไก่ (เบอร์1)	2 ฟอง	2 ฟอง	2 ฟอง
น้ำตาลทราย	40	40	40
นมข้นจืด	30	30	30
สารเสริมSP	5	5	5
แป้งเค้ก	50	25	-
แป้งกล้วย	-	25	50
ผงฟู	½ ช้อนชา	½ ช้อนชา	½ ช้อนชา
กลิ่นวานิลลา	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา
แป้งข้าวโพด	½ ช้อนโต๊ะ	½ ช้อนโต๊ะ	½ ช้อนโต๊ะ
เนยเค็ม	40	40	40

ขั้นตอนการทำเค้กฟองน้ำ

1. อุ่นเตาอบ 170 องศาเซลเซียส ไฟบนล่าง
2. ผสมไข่ไก่ น้ำตาลทราย และสารเสริม SP ใส่ลงในโถตี ตีความเร็วสูงสุด 5 นาที
3. ร่อนแป้งเค้ก แป้งข้าวโพด ผงฟู ใส่ลงไป ตีความเร็วกลาง 2 นาที
4. ใส่กลิ่นวานิลลา ตีด้วยความเร็วกลาง 1 นาที จนเข้ากัน
5. ค่อย ๆ ใส่เนยละลายลงไป แบ่งใส่ 3 รอบ ตีให้เข้ากัน และตีด้วยความเร็วต่ำ 30 วินาที
6. ใส่พิมพ์ นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 30 ถึง 35 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ฉ.2 ส่วนผสมของเค้กฟองน้ำก่อนอบสูตรควบคุม (ซ้าย) สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กลาง) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ขวา)

ฉ.3 เค้กชิฟฟอน (Chiffon cake)

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.3 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำเค้กชิฟฟอนสูตรควบคุม สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 และร้อยละ 100

ส่วนผสม	สูตรควบคุม	สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กรัม)	สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (กรัม)
ไข่แดง (เบอร์1)	2 ฟอง	2 ฟอง	2 ฟอง
น้ำตาลทราย (ส่วน 1)	16	16	16
น้ำมัน	25	25	25
นมข้นจืด	50	50	50
แป้งเค้ก	65	32.5	-
แป้งกล้วย	-	32.5	65
ผงฟู	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา
ไข่ขาว (เบอร์1)	2	2	2
น้ำตาลทราย (ส่วน 2)	40	40	40
ครีมออฟทาร์ทาร์	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา	¼ ช้อนชา

ขั้นตอนการทำเค้กชิฟฟอน

1. อุ่นเตาอบ 170 องศาเซลเซียส ไฟบนล่าง
2. ร่อนแป้งเค้ก ผงฟู เข้าด้วยกัน พักไว้
3. ตีไข่แดงกับน้ำตาลทราย (ส่วน 1) จนสีอ่อนลง เติมน้ำมัน และนมข้นจืด ผสมให้เข้ากัน
4. ใส่ส่วนผสมของแห้งที่ร่อนไว้ลงไป ผสมให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตีเมอแรงค์โดยตีไข่ขาวกับครีมออฟทาร์ทาร์จนเป็นฟองหยาบๆ ทยอยใส่น้ำตาลทรายลงไป ตีจนตั้งยอดปานกลาง
6. นำเมอแรงค์ไปตะล่อมในส่วนผสมของไข่แดง โดยแบ่งใส่ 3 รอบ
7. เทใส่พิมพ์ นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ภาพที่ ฉ.3 ส่วนผสมของเค้กชิฟฟอนก่อนอบสูตรควบคุม (ซ้าย) สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กลาง) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ขวา)

ฉ.4 เค้กไข่ไต้หวัน

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.4 ส่วนผสมและปริมาณในการทำเค้กไข่ไต้หวันสูตรควบคุม สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 และร้อยละ 100

ส่วนผสม	สูตรควบคุม	สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กรัม)	สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (กรัม)
ไข่แดง	2	2	2
แป้งเค้ก	50	25	-
แป้งกล้วย	-	25	50
น้ำมันพืช	35	35	35
นมจืด	50	50	50
เกลือป่น	2	2	2
กลิ่นวานิลลา	3	3	3
ไข่ขาว	2	2	2
น้ำตาลทราย	35	35	35
แป้งข้าวโพด	2	2	2
ครีมออฟทาร์ทาร์	2	2	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำเค้กไข่ไต้หวัน

ร่อนแป้งเค้ก ผงฟู และเกลือเข้าด้วยกัน เทน้ำมันข้าวโพดอุ่นลงไปในแป้งที่ร้อนไว้ ตีให้เข้ากัน

ใส่นมสด กลิ่นวานิลลา และไข่แดงลงไปตีให้เข้ากัน

ใส่ไข่ขาวและครีมออฟทาร์ทาร์ลงชามผสม ตีด้วยความเร็วปานกลาง แบ่งใส่น้ำตาลทรายลงไป ตีจนตั้งยอดอ่อน

ผสมส่วนผสมทั้ง 2 เข้าด้วยกัน แล้วตะล่อมให้เข้ากันอย่างเบามือ จนเป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่พิมพ์ที่เตรียมไว้ ปาดหน้าให้เรียบ

นำเค้กที่จะเข้าอบ อบรองน้ำ จากนั้นนำเข้าเตาอบ อุณหภูมิ 150 - 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

ภาพที่ ฉ.4 ขั้นตอนการทำเค้กไข่ไต้หวัน

ภาพที่ ฉ.5 ส่วนผสมของเค้กไข่ไต้หวันก่อนอบสูตรควบคุม (ซ้าย) สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กลาง) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.5 ฟินองเซียร์ (Financier)

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.5 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมของฟินองเซียร์ที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยหอมร้อยละ 100

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
อัลมอนด์ป่น	140
แป้งกล้วย	45
เกลือ	1/2 ช้อนชา
น้ำตาลทราย	180
ไข่ขาว	120
กลิ่นวานิลลา	1/2 ช้อนโต๊ะ
บราวน์บัตเตอร์	75

ขั้นตอนการทำฟินองเซียร์

1. ร่อนส่วนผสมของแห้งทั้งหมด เข้าด้วยกันในชามผสมแล้วพักไว้
2. ใส่ไข่ขาวและผสมให้เข้ากัน
3. เติมบราวน์บัตเตอร์ แล้วคนให้เข้ากัน
4. บีบใส่พิมพ์ที่ทาเนยหรือไขมันไว้ อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 10 ถึง 15 นาที หรือจนผิวสีเหลืองทอง ข้างในไม่เหลว เคาะออกจากพิมพ์ พักไว้ให้เย็นตัวบนตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.6 แพนเค้ก

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.6 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำแพนเค้กที่ทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
แป้งอเนกประสงค์	85
แป้งกล้วย	85
ผงฟู	3 ½ ช้อนชา
เกลือ	1 ช้อนชา
น้ำตาลทราย	1 ช้อนโต๊ะ
นมสด	300 มิลลิลิตร
ไข่ไก่ เบอร์ 2	2 ฟอง
เนยจืดละลาย	3 ช้อนโต๊ะ

ขั้นตอนการทำแพนเค้ก

1. ร่อนส่วนผสมของแห้งทั้งหมด เข้าด้วยกันในชามผสมแล้วพักไว้
2. ผสมนม ไข่ และเนยจืดละลายเข้าด้วยกัน
3. เทส่วนผสมของเหลวลงในของแห้ง คนส่วนผสมเข้าด้วยกัน แล้วพักส่วนผสมไว้อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 30 นาที
4. ใช้กระทะก้นแบน ใส่เนย ยกตั้งไฟกลาง พอเนยละลายหมด ตักส่วนผสมแพนเค้ก เทลงบนกลางกระทะ รอจนขอบแพนเค้กมีฟองอากาศผุดขึ้นมาโดยรอบแล้วจึงกลับด้านแพนเค้ก แล้วรอจนตรงกลางสุกดี ตักแพนเค้กวางพักบนตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.7 ครัมเบิล

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.7 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำครัมเบิล

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
แป้งอเนกประสงค์	50
แป้งกล้วย	50
น้ำตาลทราย	100
เกลือ	5
เนยจืด	100

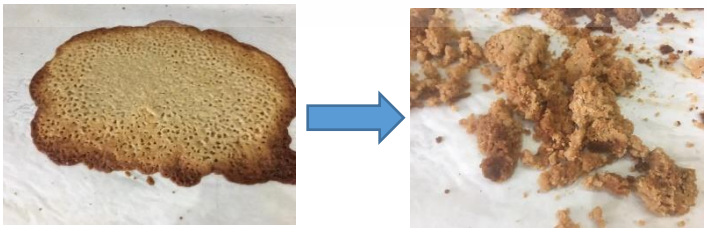
ขั้นตอนการทำครัมเบิล

1. ผสม น้ำตาล แป้งทั้งสองชนิด และเกลือเข้าด้วยกัน
2. คลุกเนยในส่วนผสมแห้ง จนเข้ากัน
3. เกลี่ยใส่ถาด อบอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 ถึง 15 นาที นำออกจากเตาอบ แล้วเอาส้อมยีให้แตกออกจากกัน พักให้เย็นแล้วเก็บในภาชนะกันอากาศเข้า

ผสมน้ำตาล แป้งทั้งสองชนิด และเกลือเข้าด้วยกัน

คลุกเนยในส่วนผสมแห้ง จนเข้ากัน

นำมาเกลี่ยใส่ถาด



อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 10-15 นาที

ยีเนื้อแป้งหลังอบด้วยส้อม

ภาพที่ ฉ.6 ขั้นตอนการทำครัมเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.8 ทาร์ต

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.8 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำทาร์ต

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
แป้งอเนกประสงค์	60
แป้งกล้วย	60
แอลม่อนป่น	20
เกลือ	1/8 ช้อนชา
เนยจืด	65
น้ำตาลไอซิ่ง	30
ไข่ไก่	30

ขั้นตอนการทำทาร์ต

1. ร่อนแป้งทั้งสองชนิด อัลมอนด์ป่น เกลือ ไอซิ่ง รวมกัน
2. จากนั้นบี้เนยให้ผสมกับแป้ง จนแป้งมีลักษณะร่วนคล้ายทราย
3. ใส่ไข่ลงไป ตีผสมจนเข้ากัน และสามารถรวมเป็นก้อนได้
4. จากนั้นรีดเป็นแผ่น หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
5. ใช้ตัดแป้งให้ขนาดใหญ่กว่าพิมพ์แล้วนำไปกรุลงบนพิมพ์
6. นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที

ฉ.9 คุกกี้เนย

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.9 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำคุกกี้เนย

ส่วนผสม	สูตรควบคุม (กรัม)	สูตรทดแทนแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กรัม)
แป้งอเนกประสงค์	300	150
แป้งกล้วย	-	150
ผงฟู	3	3
เนยเค็ม	270	270
น้ำตาลไอซิ่ง	140	140
กลิ่นวานิลลา	5	5
ไข่ไก่	2 ฟอง	2 ฟอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำคุกกี้เนย

1. ตีผสมเนยเค็มและน้ำตาลไอซิ่งเข้าด้วยกันจนเนยขึ้นฟูและมีสีอ่อนลง
2. จากนั้นใส่ไข่และกลิ่นวานิลลา ตีผสมให้เข้ากัน
3. ร่อนแป้งและผงฟูใส่ลงไป และตีผสมต่อจนเข้ากัน
4. บีบขึ้นรูปบนถาดอบ และนำไปเข้าอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ด้วยไฟบนและไฟล่าง เป็นเวลา 15-20 นาที

ฉ.10 ครัวซองค์เนยสด และครัวซองค์ช็อคโกแลต

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.10 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำครัวซองค์เนยสด และครัวซองค์ช็อคโกแลต

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
แป้งโปรตีนสูง (โปรตีน 12.5 - 13.5%)	260
แป้งกล้วย	260
น้ำตาลทราย	60
เกลือป่น	12
น้ำ	245
ยีสต์แห้ง	15
เนยจืด	100
เนยแผ่น	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำครัวซองค์

ผสมส่วนผสมทั้งหมดใน เครื่องผสม ใช้ความเร็วต่ำ ผสมประมาณ 4 นาที และต่อด้วยความเร็วสูง 8 นาที

พักแป้ง 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง แช่ตู้เย็น 1 คืน เพื่อให้แป้งขยายตัว

นำเนยแผ่นที่เตรียมไว้วางบนแป้งใน อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อเนย เท่ากับ 2 : 1

รีดแป้ง 2 ครั้ง จากนั้นขยายแป้ง ให้ได้ขนาดประมาณ 30x30 เซนติเมตร และมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร

ตัดครัวซองต์ตามขนาดที่ต้องการอบ โดยครัวซองต์เนยสดจะมีขนาด 8 x 24 เซนติเมตร และครัวซองต์ช็อคโกแลตจะมีขนาด

นำแป้งที่ได้ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิไฟบนเท่ากับ 210 องศาเซลเซียส และไฟล่าง 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

ภาพที่ ฉ.7 ขั้นตอนการทำครัวซองค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.11 โดนัท

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.11 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำโดนัท

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
ส่วนผสมที่ 1	
นมสด	140
ยีสต์แห้ง	6
แป้งเค้ก	85
ส่วนผสมที่ 2	
แป้งโปรตีนสูง	165
แป้งกล้วย	85
เกลือ	6
น้ำตาล	18
ไข่แดง	65
เนยจืด	65

ขั้นตอนการทำโดนัท

1. ผสมส่วนผสมส่วนที่ 1 ทั้งหมดเข้าด้วยกัน และนำพักไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ผสมส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นเนยจืดนำมาตีรวมกับโดส่วนที่ 1 ด้วยสปีดต่ำ จนกระทั่งส่วนผสมไม่ติดกับโถผสม
3. เติมเนย และตีผสมให้เข้ากันกับโด ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที
4. ตั้งโดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง เพื่อให้โดขยายขึ้นเป็น 2 เท่าของขนาดเดิม
5. นวดเล็กน้อยเพื่อดันให้แก๊สออกจากแป้งโด และแช่ในตู้เย็น เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้น ขนาดชิ้นละ 35 กรัม แล้วนำมาปั้นเป็นก้อนกลม
6. นำเข้าตู้บ่ม (proofer) ที่อุณหภูมิ 28-29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
7. นำออกมา เพื่อทอดในน้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิน้ำมันประมาณ 165 - 170 องศาเซลเซียส กลับให้ทั่วทั้ง 2 ด้าน ใช้เวลารวมประมาณ 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.12 ขนมปังซอฟโรล

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.12 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำขนมปังซอฟโรล

ส่วนผสม	สูตรควบคุม (กรัม)	สูตรทดแทนแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กรัม)	สูตรทดแทนแป้งกล้วยร้อยละ 100 (กรัม)
แป้งขนมปัง	250	125	-
แป้งกล้วย	-	125	250
น้ำตาลทราย	40	40	40
ยีสต์	5	5	5
เกลือ	2	2	2
ไข่ไก่	35	35	35
น้ำ	75	75	75
วิปปิ้งครีม	50	50	50
เนยสด	30	30	30

ขั้นตอนการทำขนมปังซอฟโรล

ผสมส่วนผสมทั้งหมด ยกเว้นเนยสด เข้าด้วยกัน

ตีผสมด้วยหัวตะขอ ต่อเนื่อง 15 นาที หรือจนส่วนผสมเข้ากันดี สามารถขึงเป็นฟิลล์บางๆได้

เมื่อส่วนผสมได้ที่ จึงเติมเนยสด และตีต่อจนส่วนผสมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

นำมาตัดแบ่ง เป็นลูกละ 50 กรัม แล้วบ่มประมาณ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45 องศา

นำเข้าอบ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ฉ.8 ขั้นตอนการทำขนมปังซอฟโรล

ภาพที่ ฉ.9 ขนมปังซอฟโรลสูตรควบคุม (ซ้าย) สูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 50 (กลาง) และสูตรทดแทนด้วยแป้งกล้วยร้อยละ 100 (ขวา) หลังอบ

ฉ.13 ไอศกรีมวานิลลา

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.13 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำไอศกรีมวานิลลา

ส่วนผสม	ปริมาณ
นมสด	525 มิลลิลิตร
ครีม	300 มิลลิลิตร
คอร์นไซรัป	2 ช้อนโต๊ะ
แป้งกล้วย	3 ช้อนโต๊ะ
น้ำตาลทราย	140 กรัม
เกลือ	1/2 ช้อนชา
วานิลลาเพสต์	1 ช้อนชา

ขั้นตอนการทำไอศกรีมวานิลลา

1. แบ่งนม 50 มิลลิลิตร นำมาละลายแป้งกล้วย
2. จากนั้นนำนมที่เหลือ ครีม คอร์นไซรัป น้ำตาลทราย และเกลือ ผสมเข้าด้วยกันในหม้อ ยกขึ้นตั้งไฟกลาง คนสม่ำเสมอจนส่วนผสมเดือด
3. เมื่อส่วนผสมเดือด เทน้ำแป้งกล้วยลงไป คนจนส่วนผสมข้นขึ้นแล้วยกลงจากเตา จากนั้นนำมากรองแล้วนำชามผสมแช่ลงในชามผสมที่มีน้ำเย็น เพื่ทำให้ส่วนผสมเย็นลงเร็วที่สุด
4. เมื่อส่วนผสมเย็นตัวลง นำไปแช่ตู้เย็นช่องธรรมดาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อทำการบ่ม
5. จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องทำไอศครีม แล้วจึงตักใส่ภาชนะเข้าช่องแช่เข็งให้ไอศครีมคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.14 ไส้เพรสตรี้ครีม

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.14 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำไส้เพรสตรี้ครีม

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
นมจืด	240 มิลลิลิตร
น้ำตาลทรายขาว (1)	20
ไข่แดง เบอร์ 2	2 ฟอง
น้ำตาลทรายขาว (2)	30
แป้งอเนกประสงค์	7
แป้งกล้วย	7
เนยจืด	30

ขั้นตอนการทำไส้เพรสตรี้ครีม

1. นำนม และน้ำตาลทราย (1) ใส่หม้อ ขึ้นตั้งไฟกลาง ต้มแค่ให้ส่วนผสมร้อน
2. จากนั้นตีไข่แดงกับน้ำตาลทราย (2) เข้าด้วยกันเป็นเนื้อเนียน
3. ใส่แป้งอเนกประสงค์และแป้งกล้วยลงไป แล้วผสมให้เข้ากัน
4. จากนั้นค่อย ๆ เทนมร้อนลงไป ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อปรับอุณหภูมิของไข่ไม่ให้ไข่สุก แล้วเทส่วนผสมกลับลงหม้อ และนำขึ้นตั้งไฟกลางอีกครั้ง
5. คนส่วนผสมจนเนื้อข้นขึ้น และมีอุณหภูมิประมาณ 84 องศาเซลเซียส จากนั้นยกลงจากเตา เมื่อส่วนผสมเริ่มเย็นตัวลงเล็กน้อยให้ใส่เนยลงไปและผสมให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.15 ไส้ราสป์เบอร์รี่

ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสม

ตารางที่ ฉ.15 ส่วนผสมและปริมาณส่วนผสมในการทำไส้ราสป์เบอร์รี่

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
ราสป์เบอร์รี่แช่แข็ง	500
แป้งกล้วย	2 ช้อนโต๊ะ
น้ำตาลทราย	152
น้ำเปล่า	3 ช้อนโต๊ะ
น้ำมะนาว	1 ช้อนชา

ขั้นตอนการทำไส้ราสป์เบอร์รี่

1. ผสมผลไม้กับน้ำตาลทรายเข้าด้วยกัน แล้วพักไว้อย่างน้อย 30 นาที
2. นำส่วนผสมผลไม้ขึ้นตั้งไฟกลาง คนเป็นระยะ เพื่อให้น้ำตาลละลาย และตั้งต่อจนเดือด
3. ผสมแป้งกล้วยกับน้ำเปล่า คนให้ละลาย แล้วเทใส่ส่วนผสมผลไม้ในขณะที่คนไปด้วยเพื่อไม่ให้แป้งจับตัวเป็นก้อน ควนบนไฟต่อจนส่วนผสมข้นขึ้น และยกลงจากเตาพักไว้ให้เย็นก่อนบรรจุภาชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปฏิญญา วิรุฬห์ชาตะพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	7 พฤษภาคม พ.ศ.2539
ที่อยู่	42/648 หมู่บ้านจามจุรี ซอย 17 ถนนกิ่งแก้ว ตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	- พ.ศ. 2561 จบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - พ.ศ.2561 ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
การนำเสนอผลงาน	นำเสนอผลงานเรื่อง Effect of harvesting period on physicochemical properties and *in vitro* digestibility of banana flour ในงานประชุมวิชาการ International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development ครั้งที่ 8 (พ.ศ. 2562) และตีพิมพ์ผลงานลงในวารสาร International Journal of Agricultural Technology 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้