

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนก  
DEVELOPING LOD CHONG PRODUCTION WITH MAHACHACOK  
MANGO



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อความลงซ้ำข้างอึ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
พ.ศ. 2565



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนก  
DEVELOPING LOD CHONG PRODUCTION WITH MAHACHACOK  
MANGO

จัดทำโดย

จิรวัดน์ จุลสำราวล รหัสนักศึกษา 62080175

ญาณพร ทิพยมณฑล รหัสนักศึกษา 62080179

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

(ผศ.ดร.พงษ์เสรีฐ ศรีพรหม)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

26 / พ.ค. / 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลวดช่องมะม่วงมหาชนก	
ชื่อนักศึกษา	จิรวัดน์ จุลสำรวล	รหัสนักศึกษา 62080175
	ญาณพร ทิพยมณฑล	รหัสนักศึกษา 62080179
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร	
พ.ศ.	2566	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ลวดช่องมะม่วงมหาชนก เพื่อเพิ่มความหลากหลายทางด้านรสชาติ สีสัมผัสและความน่าสนใจในผลิตภัณฑ์ลวดช่อง สร้างความแตกต่างจากลวดช่องแบบเดิม และทำให้สามารถเข้าถึงผู้บริโภคได้อย่างหลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตลวดช่องมะม่วงมหาชนกแบบดั้งเดิม และพัฒนาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตลวดช่องมะม่วงมหาชนกให้มีคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสเหมือนลวดช่องในท้องตลาดมากที่สุดจากการศึกษาทั้งหมด 4 สูตร ดังนี้ สูตรที่ 1 มีแป้งข้าวเจ้า 19.19% น้ำปูนใส 20.73% และน้ำมะม่วงมหาชนก 60.08% สูตรที่ 2 มีแป้งข้าวเจ้า 19.19% น้ำปูนใส 20.73% น้ำมะม่วงมหาชนก 60.08% และเพิ่มสีผสมอาหาร สูตรที่ 3 มีแป้งข้าวเจ้า 22.22% น้ำปูนใส 22.22% น้ำมะม่วงมหาชนก 55.56% และเพิ่มกรดซิตริก สูตรที่ 4 มีแป้งข้าวเจ้า 22.22% น้ำปูนใส 22.22% น้ำมะม่วงมหาชนก 55.56% เพิ่มกรดซิตริกและเพิ่มสีผสมอาหาร เมื่อนำไปวัดคุณลักษณะทางกายภาพ พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าความแข็งเท่ากับ 18.20 N ค่าการยืดเกาะในโครงสร้างเท่ากับ 0.33 ค่าความเคี้ยวได้เท่ากับ 318.77 และค่าความเหนียวเท่ากับ 9.88 N.sec มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 57.82% ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.999 และมีค่า ( $L^*a^*b^*$ ) เท่ากับ 59.01, 2.81 และ 39.70 ตามลำดับ พบว่าสูตรที่ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับลวดช่องจากจังหวัดฉะเชิงเทรา จากนั้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพรีเจลาตีไนเซชันแป้งลวดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน จึงทำการศึกษาสภาวะในการแปรรูปทั้งหมด 4 สภาวะ สภาวะที่มีผลลัพธ์ของเส้นลวดช่องที่ดีที่สุดคือ การใช้สภาวะการแปรรูปที่ 4 คือ มีอุณหภูมิบาร์เรล (B1) 40°C, (B2) 90°C, (B3) 80°C, (B4) 70°C, (B5) 70°C และ (B6) 80°C อุณหภูมิรูพิมพ์ (Die) 60°C ความเร็วรอบสกรูที่ 80 rpm อัตราการป้อนแป้ง 10 rpm จากนั้นทำการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพเมื่อถูกทำให้คินตัว โดยมีผลลัพธ์ ดังนี้ ค่าความแข็งเท่ากับ 11.86 N ค่าการยืดเกาะในโครงสร้างเท่ากับ 0.74 ค่าความเคี้ยวได้เท่ากับ 780.59 และค่าความเหนียวเท่ากับ 1.43 N.sec มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 46.02% ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.999 และมีค่า ( $L^*a^*b^*$ ) 56.70, 7.23 และ 24.55 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปโดยไม่ได้รับความยินยอมจากเจ้าของลิขสิทธิ์ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการศึกษาของผลิตภัณฑ์ ของลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการเอ็กซ์ทรูชัน โดยผลิตภัณฑ์จะถูกบรรจุลงในถุงสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บไว้ที่

อุณหภูมิห้อง และในผู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4, 25, 35, และ 45 องศาเซลเซียส หลังจากถอดช่องถูกทำให้คืนตัวพบว่า ค่าความแข็ง ค่าการเคี้ยวได้ และค่าการยึดติดภายในโครงสร้าง นั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความเหนียว มีแนวโน้มที่จะลดลง ในส่วนของการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส แบบ 9-point hedonic scale พบว่า ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมมีคะแนนความชอบโดยรวม 7 จาก 9 คะแนน ในขณะที่ลวดช่องที่ผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชันมีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6 จาก 9 คะแนน

จึงทำการสรุปได้ว่า การใช้วิธีการเอ็กซ์ทรูชันจะช่วยลดการเกิดริโรเกรเดชัน หรือการแข็งตัวของแป้งจากภายใน และเพื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าแบบดั้งเดิมและสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ลวดช่องมหาชนกแบบเส้นแห้งต่อไป

คำสำคัญ: มะม่วงมหาชนก, ปริเจลาตินเซนชัน, เอ็กซ์ทรูชัน, ริโรเกรเดชัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Developing Lod Chong production with Mahachanok mango	
Student name	Jirawat Julsumroun	Student ID 62080175
	Yarnaporn Dibyamandala	Student ID 62080179
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering	
Year	2023	
Advisor	Assist.Prof.Dr.Pongsert Sriprom	

### ABSTRACT

The main purposes on this project were to make a development on Lod Chong production with Mahachanok mango, which leading to study on processing of Mahachanok mango Lod Chong. To develop both texture and physical properties of the product and to bring out a new product made from Mahachanok mango since the conventional Lod Chong are already well known. Results on study 4 formulas of Mahachanok mango Lod Chong to find the suitable ones has percentage of ingredients as follow, formula no.1 contained 18.19% of rice flour, 20.73% of lime water and 60.08% of Mahachanok mango puree, formula no.2 contained 18.19% of rice flour, 20.73% of lime water, 60.08% of Mahachanok mango puree and added food coloring, formula no.3 contained 22.22% of rice flour, 22.22% of lime water, 55.56% of Mahachanok mango puree and added citric acid, formula no.4 contained 22.22% of rice flour, 22.22% of lime water, 55.56% of Mahachanok mango puree and added citric acid and food coloring. Physical properties analysis revealed that formula no.4 has no significant difference ( $p \leq 0.05$ ) to conventional Lod Chong as following results, 18.20N on Hardness, 0.33 on Cohesiveness, 318.77 on Chewiness and 9.88N.sec on Toughness, 57.82% of moisture content,  $a_w$  at 0.999, color value on ( $L^*a^*b^*$ ) was 59.01, 2.81 and 39.70 respectively. Then study on 4 processing conditions with Extrusion to find the suitable conditions of Mahachanok mango Lod Chong flour to be pre-gelatinization and the best and proper product was the result of processing condition no.4 which has barrel temperature at (B1) 40°C, (B2) 90°C, (B3) 80°C, (B4) 70°C, (B5) 70°C, (B6) 80°C, (Die) 60°C, screw speed at 80 rpm and 10 rpm of feeder. Physical properties analysis of extrusion's Mahachanok mango Lod Chong after being dehydrated has 11.86N on Hardness, 0.74 on Cohesiveness, 780.59 on

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตเหนาไปเซประโยชนดานการคา  
ไมวากวณเตฯ พงสน ยกทงท ไมมเหตุดแบสงเนยทาและตองอ ยองเเงเขาของเอกสารทุกครงทมการน เปเซ

Chewiness and 1.43N.sec on Toughness, 46.02% of moisture content,  $a_w$  at 0.999, color value on ( $L^*a^*b^*$ ) was 56.70, 7.23 and 24.55 respectively.

The study on physical change during storage were done by started from put extrusion's Mahachanok mango Lod Chong into each vacuum bags, storage at room temperature and in incubator at 4°C, 25°C, 35°C and 45°C. Physical properties analysis of extrusion's Mahachanok mango Lod Chong after being dehydrated has shows that the number on Hardness, Cohesiveness and Chewiness has been increasing constantly but the number on Toughness has been decreasing. Therefore, bringing this 2 products to further develop in terms of smell, taste and texture each one gives a score differently, the Mahachanok mango Lod Chong got greater than or equal to 7 points out of 9 points and extrusion's Mahachanok mango Lod Chong got greater than or equal to 6 points out of 9 points.

The conclusion of this study can be told that extrusion can decreased the possible of retrogradation, increased the time of storages and can be develop the product into dry Lod Chong the future.

Keywords: Mahachanok mango, Pre-gelatinization, Extrusion, Retrogradation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก จะไม่สามารถสำเร็จได้ถ้าหากไม่ได้ความกรุณาและความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม ที่ให้เกียรติมาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการจัดทำปัญหาพิเศษ ตลอดจนให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานต่างๆ แนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหา ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและตรวจสอบแก้ไขเล่มปัญหาพิเศษให้เสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์ อาจารย์ประจำคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบปัญหาพิเศษ พร้อมทั้งแนะนำแนวทางการดำเนินการที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ชุมชนบ้านหนองบัวชุม ตำบลหนองหิน อำเภอหนองสูง จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่มอบมะม่วงมหาชนก เพื่อสนับสนุนวัตถุดิบหลักในการจัดทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และนักวิทยาศาสตร์ประจำคณะอุตสาหกรรมอาหารทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางการดำเนินงาน และการใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการศึกษาในคณะอุตสาหกรรมอาหารแห่งนี้

ขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้เงินสนับสนุน รวมทั้งอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการจัดทำปัญหาพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวและเพื่อนที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และสนับสนุนงานวิจัยนี้จนสำเร็จ ล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อย หากหนังสือปัญหาพิเศษฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขออภัย เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขและขออภัยมา ณ ที่นี้

จิรวัดน์ จุลสำรวล

ญาณพร ทิพยมณฑล

14 พฤษภาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ลอดช่อง.....	4
2.2 มะม่วงพันธุ์มหาชนก.....	4
2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบพื้นฐานของแป้ง.....	5
2.4 โครงสร้างของเม็ดแป้ง.....	6
2.5 การเกิดเจลลาตินไนเซชัน.....	7
2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน.....	8
2.7 การแปรรูปอาหารโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน.....	9
2.8 การอบแห้ง (Drying).....	10
2.9 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation).....	10
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	13
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....	13
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	13
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	14
3.3.1 การเตรียมน้ำมะม่วงมหาชนก.....	14
3.3.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมะม่วงมหาชนก.....	14
3.3.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนก.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้สงวนไว้สำหรับเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 การผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีดั้งเดิม.....	14
3.3.5 การตรวจสอบคุณภาพลอดช่องมะม่วงมหาชกด้วยวิธีดั้งเดิม.....	15
3.3.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพรีเจลาตีไนซ์ของแป้งลอดช่องมะม่วง มหาชนด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน.....	16
3.3.7 การอบแห้งเส้นลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยการ Extrusion.....	16
3.3.8 การวัดลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชกที่ผลิตด้วยการ Extrusion.....	16
3.3.9 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนก.....	18
3.3.10 การศึกษาเปลี่ยนระหว่างการเก็บรักษาของลอดช่องมะม่วงมหาชนก.....	18
3.3.11 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	19
4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพของมะม่วงมหา ชนก.....	19
4.2 การพัฒนาส่วนผสมในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนก.....	21
4.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการผลิต แบบดั้งเดิม.....	22
4.4 ผลการศึกษาสภาวะการพรีเจลาตีไนเซชันของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธี เอ็กซ์ทรูชัน.....	25
4.5 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการ พรีเจลาตีไนเซชันด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน.....	27
4.6 การเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วย วิธีการผลิตแบบดั้งเดิมและด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน.....	29
4.7 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาลอดช่องมะม่วงมหาชนก.....	30
4.7.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาลอดช่องมะม่วง มหาชนกผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม.....	30
4.7.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาลอดช่องมะม่วง มหาชนกผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน.....	30
เอกสารนี้ 4.8 ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัส.....	34
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก.....	40
ภาคผนวก ก.....	41
ภาคผนวก ข.....	46
ภาคผนวก ค.....	48
ประวัติผู้เขียน.....	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ปริมาณร้อยละของสูตรส่วนผสมในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนกทั้ง 4 สูตร...	14
3.2	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยเครื่อง เอ็กซ์ทรูเดอร์.....	17
4.1	ปริมาณร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงมหาชนก.....	19
4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสีของมะม่วงมหาชนก....	20
4.3	ลักษณะปรากฏของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิมทั้ง 4 สูตร..	21
4.4	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธี แบบดั้งเดิม.....	23
4.5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสีของลอดช่องมะม่วง มหาชนก.....	24
4.6	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วย วิธีการเอ็กซ์ทรูชัน.....	27
4.7	ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นของลอดช่องมะม่วงมหา ชนกที่ยังไม่ถูกทำให้คั่ว.....	28
4.8	ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น และค่าสีของลอดช่องมะม่วงมหา ชนกที่ถูกทำให้คั่ว.....	28
4.9	ผลวิเคราะห์การเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนก ที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมและด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน.....	29
4.10	ผลการทดสอบอายุการเก็บรักษาของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบ ดั้งเดิม ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส.....	30
4.11	ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลวดช่องจากตลาดบ้านใหม่ จ.ฉะเชิงเทรา.....	4
2.2	มะม่วงพันธุ์มหาชนกจากชุมชนบ้านหนองบัวชุม จ.กาฬสินธุ์.....	4
2.3	โครงสร้างของอะมิโลส.....	5
2.4	โครงสร้างของ amylose-iodine complex.....	6
2.5	โครงสร้างของอะมิโลเพกติน.....	6
2.6	ส่วนประกอบโครงสร้างของเม็ดแป้ง.....	7
2.7	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน.....	8
3.1	ขั้นตอนการผลิตลวดช่องมะม่วงมหาชนก.....	15
4.1	ผลิตภัณฑ์ลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันทั้ง 4 สภาวะ.....	25
4.2	ผลิตภัณฑ์ลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันที่ผ่านการอบไล่ความชื้น.....	27
4.3	ผลิตภัณฑ์ลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันที่ถูกทำให้คืนตัว.....	27
4.4	แสดงแนวโน้มของค่าความแข็ง (Hardness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์.....	31
4.5	แสดงแนวโน้มของค่าการยึดติดภายในโครงสร้าง (Cohesiveness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์.....	31
4.6	แสดงแนวโน้มของค่าความเหนียว (Toughness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์.....	32
4.7	แสดงแนวโน้มของค่าการเคี้ยวได้ (Adhesiveness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์.....	32
4.8	แสดงแนวโน้มของค่าการเคี้ยวได้ (Chewiness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์.....	33
ก.1.1	น้ำมะม่วงมหาชนก.....	41
ก.2.1	น้ำแป้งลวดช่องมะม่วงมหาชนก.....	41
ก.2.2	กวนแป้งลวดช่องมะม่วงมหาชนกเป็นเวลา 20 นาที .....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
ก.2.3	กตลดช่องมะม่วงมหาชนกผ่านแม่พิมพ์ลงในน้ำเย็น.....	42
ก.3.1	แป้งข้าวเจ้าผสมกับน้ำมะม่วงมหาชนก.....	43
ก.3.2	แป้งลดช่องมะม่วงมหาชนก.....	43
ก.3.3	ปรับสภาพให้เหมาะสมกับการผลิตเส้นลดช่องมะม่วงมหาชนก.....	44
ก.3.4	ช่องป้อนแป้งลดช่องมะม่วงมหาชนก.....	44
ก.3.5	เส้นลดช่องตัด.....	44
ก.3.6	ตู้อบแห้งแบบถาด (Tray dryer) .....	45
ข.1	เครื่องวัดค่าความหวาน (Brix Refractometer) .....	46
ข.2	เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer & Colormeter) .....	46
ข.3	เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter) .....	46
ข.4	เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) .....	47
ข.5	เครื่องวัดปริมาณความชื้น (Halogen Moisture Analyzer) .....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ลอดช่อง เป็นขนมไทยโบราณที่เกิดจากการผสมแป้งกับน้ำใบเตย นิยมทั้งสีขาวซึ่งเป็นสีธรรมชาติจากแป้ง และสีเขียวจากน้ำใบเตย ทานคู่กับน้ำกะทิเข้มข้นที่เคี้ยวจากหัวกะทิและน้ำตาลมะพร้าว เป็นของหวานที่เป็นที่นิยมมากในคนไทยและชาวต่างชาติ แต่ส่วนมากจะนิยมรับประทานลอดช่องที่ผสมน้ำใบเตยที่มีสีเขียว จึงยังไม่มีกรรมนำวัตถุดิบอื่นเข้ามาเป็นส่วนผสมหลักในการทำลอดช่อง ดังนั้นการพัฒนารสชาติและสีของลอดช่องให้แตกต่างไปจากเดิมจะเป็นสิ่งที่ทำให้ลอดช่องมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถทำให้เข้าถึงผู้บริโภคได้มากขึ้นกว่าเดิม

ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการนำมะม่วงมหาชนก (*Mangifera indica* L. cv. Mahachanok) ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ มีรสชาติที่มีความเป็นเอกลักษณ์ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำลอดช่องมะม่วงมหาชนก เป็นมะม่วงพันธุ์ใหม่ที่เกิดจากการผสมระหว่างมะม่วงพันธุ์ซันเซทของอเมริกากับมะม่วงพันธุ์หนังกวางวันของไทย ผลแก่จะมีจุดประที่ผิวปานกลาง ผลดิบมีผิวเนียนเรียบ สีเขียวอ่อน เนื้อผลดิบสีขาว เนื้อละเอียด มีเส้นใยน้อย รสชาติเปรี้ยว นิยมรับประทานเนื้อผลสุก ที่มีสีเหลืองอมส้ม เนื้อละเอียดมีเส้นใยน้อยและแน่น รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวและฉุนเมื่อสุกงอม การเกิดโรคระบาดในปี 2019 จนถึงปัจจุบัน ส่งผลเสียต่อเกษตรกรที่ปลูกมะม่วงมหาชนกเป็นอย่างมาก ผลผลิตออกเต็มที่ แต่เกิดปัญหาคือไม่มีพ่อค้าเข้ามารับซื้อเหมือนเก่า ทำให้มะม่วงล้นตลาดและมีราคาถูก ด้วยเหตุนี้ จึงได้นำมะม่วงมหาชนกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนก

การศึกษากระบวนการผลิตเส้นลอดช่องแบบดั้งเดิม พบปัญหาว่าหลังจากแป้งลอดช่องที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำให้สุก ถูกขึ้นรูปและทำให้เย็นทันทีเพื่อเตรียมบรรจุขาย เมื่อเวลาผ่านไปเส้นลอดช่องมีความแข็งกระด้างจากด้านในและเนื้อสัมผัสเปลี่ยนจากเดิม จึงได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุของปัญหาและการเปลี่ยนแปลงของเส้นลอดช่องที่เกิดขึ้น พบว่าในแป้งส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยสตาร์ช ซึ่งมีอะมิโลส และอะมิโลเพกตินอัดอยู่ภายในสตาร์ช เมื่อผ่านการทำสุกหรือผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่มีน้ำเป็นสื่อกลาง จะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเริ่มมีการคลายตัวออกจากกัน สตาร์ชจะดูดน้ำบริเวณโดยรอบและพองตัวขึ้น ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสเพิ่มมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสตาร์ชดูดน้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้บริเวณรอบๆมีปริมาณน้ำน้อยลง สตาร์ชที่พองตัวจึงเคลื่อนที่ได้ยากขึ้นจึงทำให้เกิดความหนืดเรียกว่าการเกิดการเจลาติไนเซชัน และเส้นลอดช่องที่ถูกรีดทำให้เย็นตัวลงจะเกิดริ้วรอยแตกขึ้น เกิดจากการคืนตัวของสตาร์ช หลังจากที่มีสตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชันแล้ว และปล่อยให้แป้งเย็นตัว จึงทำให้อะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่อยู่ห่างกันเข้ามารวมตัวกัน โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสกลับมาเชื่อมต่อกันใหม่อีกครั้งด้วยพันธะไฮโดรเจน และน้ำที่เชื่อมต่อกับโมเลกุลจะหลุดออกไปทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่จากภายในเส้นไม่วาร์ณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำให้เส้นมีความแข็งและกระด้างจากด้านใน จึงทำให้เราต้องทำการเอ็กซ์ทรูชันแป้งเพื่อให้เกิดการพรีเจลาตีไนเซชันก่อนนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ การเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ช่วยให้แป้งสามารถเกิดการพรีเจลาตีไนเซชันได้ หมายความว่าเราสามารถลดการเกิดเจลาตีไนเซชันของแป้งเมื่อนำไปผ่านความร้อนในกระบวนการต่างๆ ดังตัวอย่างการทดลองของ (Garcia-Valle et al., 2021) ในการพรีเจลาตีไนเซชันแป้งมะม่วงเพื่อพัฒนาด้านรสสัมผัสและความหนืด ซึ่งกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันนั้นจะประกอบไปด้วยหน่วยปฏิบัติการต่างๆรวมเข้าด้วยกัน ได้แก่ การผสม การทำให้สุก การนวด การเคี้ยว และการขึ้นรูป โดยการทำให้สุกนั้นแป้งบางส่วนจะถูกทำให้สุกและเกิดการพรีเจลาตีไนเซชัน สตาร์ชจะเกิดการพองตัวขึ้น ส่วนการเคี้ยวจะทำให้ semicrystalline region ของสตาร์ชบางส่วนเกิดการฉีกขาด อะมิโลสและอะมิโลเพกติน ที่อยู่ภายในจะออกมา จะทำให้แป้งไม่สามารถเกิดการเจลาตีไนเซชันได้อีก ผลลัพธ์ที่ได้คือแป้งจะแห้งและสุก แป้งที่ได้จะมีคุณสมบัติละลายในน้ำเย็นได้ เมื่อผสมกับน้ำเย็นจะทำให้มีลักษณะคล้ายกาว เรียกว่า Cold Water Soluble starch (CWS)

ดังนั้นปัญหาพิเศษนี้ จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก และได้มีการพัฒนาเส้นลดช่องในเรื่องของคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส เพื่อลดการเกิดริ้วรอยหรือการแข็งตัวและกระด้างจากด้านในของเส้นลดช่องเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน โดยมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของลดช่องมะม่วงมหาชนกและลดช่องที่เป็นที่นิยมในท้องตลาด รวมทั้งทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาและศึกษการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภค เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตลดช่องของไทยให้มีความหลากหลาย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของลดช่องมะม่วงมหาชนก
- 1.2.3 เพื่อศึกษการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก
- 1.2.4 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

### 1.3.1 ศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์

#### 1.3.1.1 สูตรดั้งเดิม

- ตัวแปรต้น: แป้งข้าวเจ้า
- ตัวแปรตาม: ลดช่องใบเตย ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
- ตัวแปรควบคุม: อุณหภูมิ เวลาการให้ความร้อน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ไปยังเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.1.2 ผลิตรสสัมผัสของมหาชนกด้วยวิธีการดั้งเดิม

- ตัวแปรต้น: แป้งข้าวเจ้า
- ตัวแปรตาม: ลอดช่องมะม่วงมหาชนก ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ
- ตัวแปรควบคุม: อัตราส่วนของแป้งต่อมะม่วงมหาชนก ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

### 1.3.1.3 ผลิตรสสัมผัสของมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการเอ็กซ์ทราซัน

- ตัวแปรต้น: แป้งข้าวเจ้า
- ตัวแปรตาม: ลอดช่องมะม่วงมหาชนก ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ
- ตัวแปรควบคุม: อุณหภูมิของบารเรล ความเร็วรอบของสกรู เวลา

### 1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตรสสัมผัส

- วัดค่า  $a_w$
- วัดปริมาณความชื้น
- วัดค่าสี ( $L^*a^*b^*$ )
- วัดลักษณะเนื้อสัมผัส (การยึดติด, ความนุ่ม, ความเหนียว และความยืดหยุ่น)

### 1.3.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

- วัดค่า  $a_w$
- วัดปริมาณความชื้น
- วัดค่าสี ( $L^*a^*b^*$ )
- วัดลักษณะเนื้อสัมผัส (การยึดติด, ความนุ่ม, ความเหนียว และความยืดหยุ่น)

### 1.3.4 ศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัส

- วิธี 9-point Hedonic Scale โดยใช้เกณฑ์การประเมินการยอมรับด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม, ความเหนียว และความหนึบ)

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางการลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นลวดช่อง

1.4.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาสินค้าเพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศ

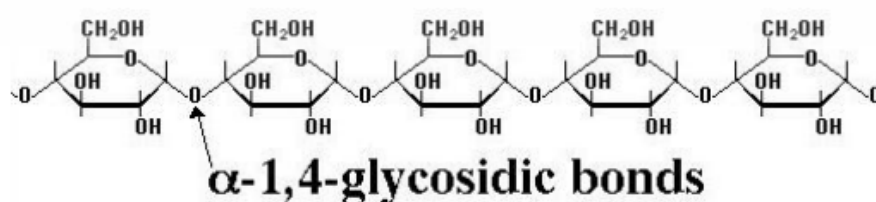
เอกสารนี้เป็น 1.4.3 เป็นการส่งเสริมการใช้มะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตรสสัมผัสต่าง ๆ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบพื้นฐานของแป้ง

แป้ง (starch) เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ในโมเลกุลประกอบด้วย โมโนแซ็กคาไรด์เพียงชนิดเดียวคือ กลูโคส มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เป็นพอลิเมอร์ของหน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกับ พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ มีหน่วยกลูโคสที่มี หมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) มีคุณสมบัติรีดิวซ์ที่เรียกว่า reducing end group (Srirot and Piyachomkwan, 2003) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์หลักสองชนิดคือ อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกติน (amylopectin)

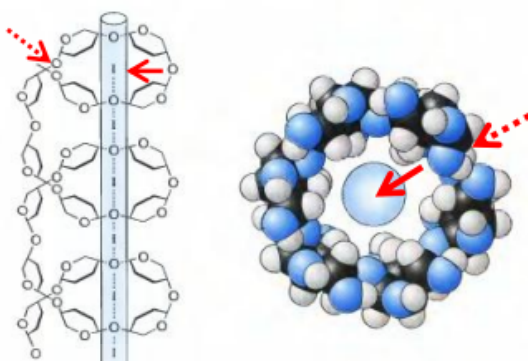
อะมิโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสประมาณ 200-2,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วย พันธะ  $\alpha$ -1,4 glycosidic ดังแสดงในภาพที่ 2.3 แป้งจากพืชต่างชนิดกันมีตำแหน่งการวางตัวของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งที่ต่างกัน อะมิโลสบางส่วนแทรกอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกตินบางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous regions) ซึ่งเป็นส่วนที่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบและส่วนผลึก (crystalline regions) ที่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ อะมิโลสที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่ (double helix) กับอะมิโลเพกตินในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง ส่วนอะมิโลสโมเลกุลขนาดเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง แป้งต่างชนิดกันมีปริมาณอะมิโลสไม่เท่ากันแป้งส่วนใหญ่จะมีอะมิโลสประมาณร้อยละ 25 แป้งบางชนิดมีปริมาณอะมิโลสสูงถึงร้อยละ 70-75 เช่น high amylose corn starch แต่แป้งบางชนิดไม่มีอะมิโลสเลยเรียกว่า waxy starch (Oates, 1996) อะมิโลสสามารถจับกับไอโอดีนโดยจะพันเป็นเกลียวรอบไอโอดีนได้สารประกอบเชิงซ้อน (amylose-iodine complex) สีน้ำเงินดังแสดงในรูปที่ 4 สีที่เกิดขึ้นจะผันแปรตามความยาวและจำนวนเกลียวของสายอะมิโลส ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบและบ่งบอกลักษณะเฉพาะของแป้งที่มีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบได้ แต่วิธีการนี้ก็อาจจะได้ผลที่คลาดเคลื่อนได้เนื่องจากมี ข้อจำกัดจากความไม่คงตัวของสีที่เกิดขึ้นจากการที่อะมิโลเพกตินที่มีความยาวของกิ่งก้านมากๆ ก็สามารถเกิด สารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนได้เช่นเดียวกับอะมิโลส ซึ่งอาจทำให้การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสคลาดเคลื่อนเกินกว่าปริมาณที่มีอยู่จริงในแป้ง Gibson และคณะ (1997) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้น โดยการใช้ concanavalin A เพื่อทำการตกตะกอนอะมิโลเพกตินออกไปก่อน แล้วจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส ที่เหลืออยู่



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะมิโลส

ที่มา: (Wils, 2011)

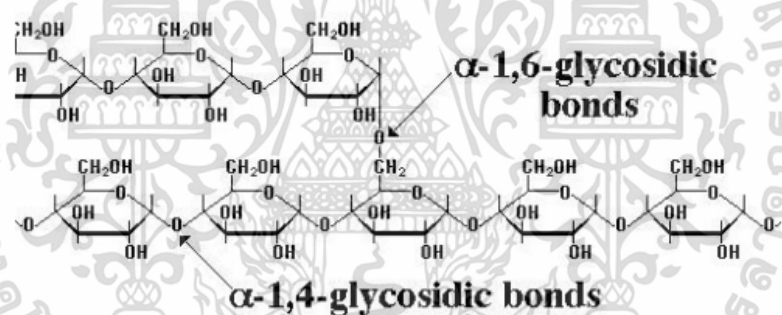
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของ amylose-iodine complex

ที่มา: (Arora, 2012)

อะมิโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสจับกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 Glycosidic และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาของกลูโคสจับกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6 glycosidic ดังแสดงในภาพที่ 2.5



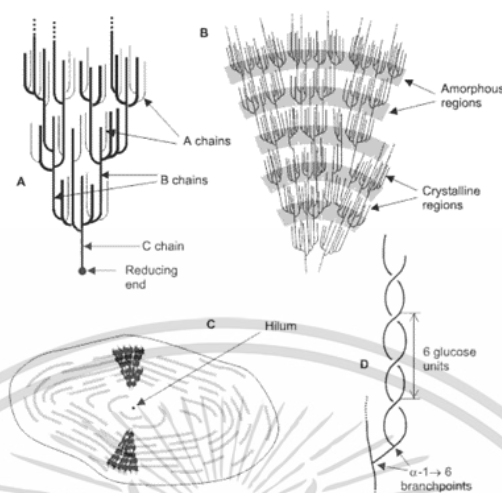
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน

ที่มา: (Wils, 2011)

## 2.4 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

พืชจะเก็บแป้งไว้ในเม็ดแป้ง ขนาดของเม็ดแป้งจะมีค่าประมาณ 1-100  $\mu\text{m}$  ขึ้นกับชนิดของพืช แป้งจากพืชต่างชนิดกันจะมีลักษณะเฉพาะของโครงสร้างทางเคมี ภายภาพ รวมทั้งขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน การใช้เทคนิค X-ray diffraction ในการวิเคราะห์เม็ดแป้ง พบว่ามีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) ประกอบด้วยส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก โครงสร้างทั้งสองนี้จะมีการเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นในแนวรัศมี โดยมีจุดเริ่มต้นที่จุดศูนย์กลางของเม็ดแป้งเรียกว่า ไฮลัม (hilum) (Tester, 1997) ความเป็นผลึกเกิดจากการเรียงตัวของอะมิโลสเพกตินเป็นกลุ่มในรูปคลัสเตอร์ (clusters) แต่ละคลัสเตอร์ประกอบด้วยส่วนโครงสร้างของจุดแตกกิ่งที่มีการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบเป็นส่วนอสัณฐาน และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่มีสายของอะมิโลเพกตินที่จัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบแบบเกลียวคู่ (double helix) รวมกันเป็นผลึกด้วยพันธะ ไฮโดรเจนเกิดเป็นส่วนผลึกแข็ง (Donald et al.,1997) ดังแสดงภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบโครงสร้างของเม็ดแป้ง  
ที่มา: (Chaplin, 2014)

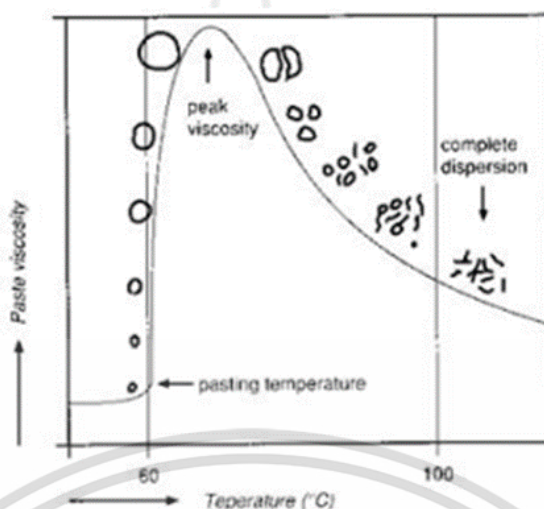
## 2.5 การเกิดเจลาตินในเซชัน

เมื่อให้ความร้อนกับแป้งอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาตินส์ และเมื่อแป้งได้รับความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิแป้งสุกจนเม็ดแป้งเกิดการพองตัว จนแตกและโมเลกุลของอะมิโลส หลุดออกจากเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อปล่อยให้แป้ง เย็นลงโมเลกุลของแป้ง จะจับตัวกันและมีผลึกเกิดขึ้นซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากโมเลกุลของอะมิโลส เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลเพกติน จับตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้จับตัวกันได้ยาก การจับตัวกันจะเกิดขึ้นทั้งในเม็ดแป้งที่ยังไม่แตกตัวและนอกเม็ดแป้ง ทำให้แป้งเปียกทั้งหมดยึดเหนี่ยวกันเหมือนโครงสร้างของฟองน้ำโดยมีเม็ดแป้งแทรกอยู่ในช่องว่างโดยทั่วไป ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เจล และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ (ภาพที่ 2.7) คือ

ระยะที่ 1 ระยะนี้เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างโมเลกุลยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดไม่เพิ่มขึ้น เม็ดแป้งยังคงรักษาโครงสร้างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้

ระยะที่ 2 เม็ดแป้งเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งเกิดการดูดน้ำมากเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า เกิดการเจลาตินในเซชัน เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง ความหนืดของสารละลายแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้ง ที่ละลายช้าจะเริ่มละลายออกมา

ระยะที่ 3 การเพิ่มของอุณหภูมิจนถึงระยะนี้ รูปร่างแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำไปทำให้เย็นจะทำให้เกิดเจล (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) โยชนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน  
ที่มา: (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

## 2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) และซินเนอเรซิส (Syneresis) คือเมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อ เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายออกในสารละลาย ทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็น โมเลกุลของอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นร่างแหสามมิติ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและความหนืดที่คงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเป็นเจลเหนียว เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัว (Setback) เมื่ออุณหภูมิต่ำลง การเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลน้ำอิสระที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้ง 2 นี้ จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลของน้ำจะถูกบีบออกมานอกเจล การคืนตัวของแป้งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และเกิดการตกตะกอน ถ้าเกิดอย่างรวดเร็วจะทำให้เจลขุ่น

ปัจจัยที่มีผลต่อการคืนตัวของแป้ง คือ ชนิดแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง การให้ความร้อน อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรดต่างของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เช่น ถ้าโมเลกุลของอะมิโลสมีขนาดเล็ก โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอและค่อนข้างเร็ว การจับตัวของโมเลกุลจะไม่เกิดขึ้น แต่ถ้าโมเลกุลของอะมิโลสมีขนาดใหญ่ขึ้น จะเคลื่อนไหวได้ช้า การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลจะเกิดขึ้นได้ดี และถ้าโมเลกุลของอะมิโลสมีขนาดใหญ่มาก การเคลื่อนตัวจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก การคืนตัวก็จะเกิดขึ้นได้ช้า นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและสารอินทรีย์อื่นๆก็มีผล คือ การเกิดรีโทรเกรเดชันจะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำและในสภาพที่มีพีเอชเท่ากับ 7 ถ้าความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูงหรือต่ำกว่านี้ การเกิดรีโทรเกรเดชันจะเกิดได้ช้า เนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเล็ก ส่วนสารอินทรีย์อื่นๆมี

ผลต่อการดูดซับน้ำของแป้ง ทำให้แป้งดูดซับน้ำได้น้อยลง ทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชันช้าลง เป็นต้น (ณรงค์ นิยมวิทย์ และอัญชัญย์ อุทัยพัฒนาชีพ, 2535; ณรงค์ นิยมวิทย์, 2540)

การทดสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งแต่ละชนิดนอกจากจะประมาณได้จากผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback from peak) หรือ ความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) หรือที่เรียกว่าค่าการคืนตัวของแป้ง ที่วัดด้วยเครื่อง Brabender หรือ Rapid visco-analyser แล้วยังสามารถวัดได้ด้วยเครื่อง DSC โดย นำแป้งดิบไปหาพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชัน แล้วนำแป้งที่ผ่านเจลลาติโนเซชันนี้ไปบ่มไว้ในสภาวะที่กำหนดให้เกิดรีโทรเกรเดชัน โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

## 2.7 การแปรรูปอาหารโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการแปรรูปที่ผสมผสานกันระหว่างแรงกลและแรงเฉือน เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่าง ๆ ได้แก่ การผลิตอาหารขบเคี้ยวประเภทพองตัวทันทีอาหารขบเคี้ยวประเภทที่ต้องผ่านกระบวนการเพื่อทำให้เกิดการพองตัวในภายหลัง อาหารเข้าธัญชาติพาสต้า เป็นต้น เป็นกระบวนการที่รวมหลาย ๆ กรรมวิธีเข้าด้วยกัน เช่น การผสม การต้ม การนวด การเฉือน การขึ้นรูป ซึ่งในการผลิตอาหารด้วย กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมีข้อดีมากมาย ทำให้กระบวนการแปรรูปอาหารง่ายขึ้น (วิลโล รังสาดทอง, 2547) เพิ่มความหลากหลายของอาหาร โดยเพิ่มชนิดของอาหารจากส่วนผสมพื้นฐานให้มีรูปร่าง เนื้อสัมผัส สีกลิ่น รส แบบต่าง ๆ เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ ประหยัดเวลา พลังงานและแรงงาน รวมถึง พื้นที่สำหรับการผลิต ให้อัตราการผลิตสูง นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องที่ใช้ อุณหภูมิสูง เวลาสั้น (HTST) ซึ่งสามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้อีกด้วย (Harper, 1981)

### 2.7.1 หลักการทำงานของเอ็กซ์ทรูเดอร์

หลักการทำงานของเอ็กซ์ทรูเดอร์ คือ วัตถุดิบจะถูกส่งไปที่ส่วนรับวัตถุดิบ (feed hopper) จากนั้นส่งผ่านไปที่ตัวเอ็กซ์ทรูเดอร์ วัตถุดิบจะหลอมเหลวอยู่ในรูปคล้ายพลาสติก เนื่องจากความดันสูง อุณหภูมิสูง และแรงเฉือน (shear force) ที่เกิดขึ้นในบาร์เรลจากนั้นวัตถุดิบจะอยู่ในรูปของโดและเคลื่อนที่ไปตามทิศทางการหมุนของสกรูช่วงระยะที่ผ่านตัวเอ็กซ์ทรูเดอร์นี้ โดจะถูกทำให้สุกเนื่องจากเกิดการเจลลาติโนเซชัน และทำให้เกิดรูปร่างโดยผ่านหน้าแปลน (die) ซึ่งเป็นรูเปิดหรือช่องอยู่ส่วนสุดท้ายของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (กมลวรรณ แจ้งชัด, 2541)

### 2.7.2 ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอ็กซ์ทรูด

2.7.2.1 ผลิตภัณฑ์กรอบพองสุกทันที (direct expanded products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันทีเมื่อออกจากหน้าแปลนของเครื่องอัดพองและไม่ต้องแปรรูปอื่นนอกจากการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.7.2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่พองสุกทันที (indirect expanded products) หรือเรียกว่า ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (half products หรือ intermediate products) ค่าจำกัดความชื้นของผลิตภัณฑ์กึ่ง

สำเร็จรูปหมายถึงผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการทำแป้งให้ขึ้นร้อนเหนียวจนกระทั่งกลายเป็นเจล (แป้งสุก) ได้อย่างสมบูรณ์แล้วอัดผ่านรูเปิดของหน้าแปลนหรือรีดให้เป็นแผ่นออกมาแล้วตัด เป็นชิ้นหรือแผ่นบาง ๆ จากนั้น นำไปอบไล่ความชื้นจนกระทั่งเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนักหรือน้อยกว่า เพื่อให้เก็บไว้ได้นานแต่เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปดังนั้นจึง ต้องมีขั้นตอนของกระบวนการผลิตเพิ่มเข้ามาอีกจึงจะรับประทานได้ซึ่งขั้นตอนการผลิตที่เพิ่มเข้ามานี้เป็นตัวทำให้เกิดรูปร่างปรากฏขึ้นหรือเกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นจริงตามสภาพของผลิตภัณฑ์ นั้น ๆ ตามแบบชนิดของขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตที่เพิ่มเข้ามาซึ่งอาจประกอบด้วย การทอดในน้ำมัน การอบด้วยความร้อนสูง หรือการต้มสุก (ประชา บุญศิริกุล, 2537)

2.7.3 ประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ แบ่งประเภทของเครื่องอัดพองตามจำนวนสกรูแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

2.7.3.1 เครื่องอัดพองแบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) เป็นเครื่องอัดพองแบบที่มีสกรู 1 อันวางตลอดภายในตัวเครื่อง

2.7.3.2 เครื่องอัดพองแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) เป็นเครื่องอัดพองที่ประกอบด้วยสกรู 2 อันมีความยาวเท่ากันอยู่ในบารเรลเดียวกันเครื่องอัดพองแบบสกรูคู่ยังแบ่งได้หลายชนิดขึ้นกับแบบของสกรู (screw configuration) โดยขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของสกรูทั้งคู่ (แบบหมุนตามกันและแบบหมุนตรงข้ามกัน) และลักษณะของสกรูที่ซ้อนกัน (สกรูซ้อนกัน และสกรูไม่ซ้อนกัน)

## 2.8 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้ง คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งเพื่อไล่ความชื้นออก โดยการระเหยน้ำ ในการอบแห้งวัสดุทั่วไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยความร้อนจะมีการถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุความร้อนส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการระเหยน้ำ โดยไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิววัสดุมายังกระแสอากาศและถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่มากอุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำ ที่ผิวจะคงที่ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ ด้วยถ้าอุณหภูมิความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิววัสดุมีปริมาณน้ำลดลง เหลือน้อยอุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิของ วัสดุจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำจะลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลงและความชื้นที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงจากอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่า ความชื้นวิกฤต

## 2.9 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัสมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการผู้บริโภค ซึ่งไฟโรจน์ วิริยจารี (2545) ได้กล่าวว่า การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) เป็นกฎเกณฑ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัดค่า วิเคราะห์ผลและสรุปผลจากปฏิกิริยาต่าง ๆ

ที่ได้รับจากความรู้สึกของคนต่อผลิตภัณฑ์ในด้านการมองเห็น การได้รับกลิ่น รสชาติ การสัมผัส และการได้ยิน โดยมีวิธีการทดสอบที่ใช้ในการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส 3 วิธี คือ

2.9.1 การทดสอบความพอใจหรือการยอมรับ (preference/acceptance test) เป็นการทดสอบเพื่อหาความพอใจของผู้ทดสอบชิมโดยใช้ความรู้สึกของผู้ทดสอบชิมโดยตรง เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์

2.9.2 การทดสอบความแตกต่าง (discriminatory tests) เป็นการทดสอบเพื่อวัดความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง

2.9.3 การทดสอบเชิงพรรณนา (descriptive test) เป็นการทดสอบเพื่อวัดลักษณะและความเข้มข้นของความแตกต่าง

การทดสอบการยอมรับ (acceptance test) หรือการทดสอบระดับความพอใจของผู้บริโภคสามารถทำได้หลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับผู้บริโภค เช่น สเกลความพอใจ (hedonic scale) สเกลรอยยิ้ม (smiley scale) สเกลพอดี (just about right scale) ซึ่งการใช้สเกลความพอใจ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า degree of liking scale การใช้สเกลความพอใจใช้หลักการที่ว่าความชอบของผู้บริโภคนั้นสามารถจัดจำแนกได้โดยค่าของการตอบสนอง (ความชอบและไม่ชอบ) ที่เกิดขึ้น มีสเกลทั้งแบบตัวเลข (numerical hedonic scale) และแบบตัวหนังสือ (verbal hedonic scale) ซึ่งมีหลายระดับ เช่น 3 จุด 5 จุด 7 จุด และ 9 จุด การประยุกต์ใช้การทดสอบการยอมรับ สามารถนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ผู้บริโภคและนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ และการประเมินศักยภาพของการตลาด (ไพโรจน์ วิริยาริ, 2545)

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุนันทา และธนาวิทย์ (2555) ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการละลายของสตาร์ชซีเตรท พบว่าสตาร์ชซีเตรทที่ได้จากทุกสภาวะมีค่าความสามารถในการพองต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังดิบ ซึ่งอาจเกิดจากสตาร์ชมันสำปะหลังดิบมีโครงสร้างแกรนูลที่แข็งแรง เนื่องจาก แกรนูลของสตาร์ชดิบไม่ได้ถูกทำลายด้วยเอนไซม์หรือกรดจึงทำให้น้ำ เข้าไปในแกรนูลของสตาร์ชดิบได้ยากกว่า แกรนูลของสตาร์ชซีเตรทที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์แต่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริก ซึ่งกรดซิตริกที่มี pH ต่ำ (3.5) สามารถไฮโดรไลซ์สตาร์ชทำให้เกิดการแตกหักของสตาร์ชได้ ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของแกรนูลสตาร์ช และสตาร์ชมันสำปะหลังที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์จะเกิดรูที่ผิวของแกรนูลและโครงสร้างแกรนูลถูกทำลายไปบางแกรนูลหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์ จึงทำให้น้ำ เข้าไปภายในแกรนูลสตาร์ชของสตาร์ชซีเตรท

วาสนา นาราตี (2562) การนำแป้งที่แช่ในสารละลายเบสต่างๆ มาเป็นส่วนผสมในอาหารจะมีผลต่อคุณภาพอาหาร ทั้งคุณภาพ ด้านสีและเนื้อสัมผัส มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของแป้ง และคุณสมบัติทางเคมีเชิงกายภาพของแป้ง เช่น การใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความ

เข้มข้น 0.2-2.0 เปอร์เซ็นต์ (0.03-0.30 M) ในกระบวนการผลิตแป้งข้าวโพด พบว่า  $\text{OH}^-$  ของสารละลายชนิดนี้สามารถแทรกซึมเข้าไปในเม็ดแป้งข้าวโพดได้ง่าย ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งข้าวโพดถูกทำลาย แป้งข้าวโพดจึงเกิดการพองตัวได้มาก และเริ่มกระบวนการเจลาติไนซ์เซชันได้เร็ว (Santiago et al., 2015) จึงมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ำ นอกจากนี้การใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.67 เปอร์เซ็นต์ (0.09 M) ในการผลิตแป้งข้าวโพด พบว่า  $\text{Ca}^{2+}$  ของสารละลายเข้าไปในเม็ดแป้งข้าวโพด ทำให้แป้งข้าวโพดมีปริมาณแคลเซียม และค่าความหนืดสูงสุดสูงขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงต่างๆ จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายเบส ความเข้มข้น ระยะเวลาในการแช่และชนิดของแป้ง

กมลทิพย์ และวันเพ็ญ (2544) นี้การให้ความร้อนกับเนื้อปลา ทำให้เกิดโครงสร้างของเจลโปรตีนเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่จับน้ำหรือสารอื่น ๆ ไว้ภายใน การลวกบะหมี่เป็นเวลานาน เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวมากขึ้นเนื่องจากดูดน้ำมากขึ้น และเมื่อนำบะหมี่มาอบแห้ง จะทำให้น้ำระเหยออกจากบะหมี่ โครงสร้างของบะหมี่ปลาเกิดการยุบตัวและ เกาะกันแน่น การดูดน้ำกลับในช่วงการคั้นรูปทำได้ไม่สมบูรณ์ อาจทำให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่บริเวณ ใจกลางของบะหมี่ปลาได้ต้องใช้เวลาในการต้มคั้นรูปเป็นเวลานาน จนทำให้บริเวณด้านนอกของบะหมี่ปลา อาจนิ่มละ แต่บริเวณใจกลางยังคงแข็งอยู่ โครงสร้างของบะหมี่จึงไม่แข็งแรง ทำให้ค่าความแข็งของบะหมี่ปลา เพิ่มขึ้น แต่ค่าความเหนียวลดลง

กิตติ สุวรรณบรรดิษฐ์ (2559) ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ตัวลวดช่องยังคงลักษณะที่ดี คือ มีความคงตัวไม่ละลาย การเปลี่ยนแปลงเริ่มปรากฏเมื่อชั่วโมงที่ 49 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเริ่มมากขึ้นตามลำดับ จนถึงชั่วโมงที่ 60 เมื่อใช้ช้อนตักเส้นลวดช่องเพื่อจะมาทำการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของลวดช่องจะละลาย และติดช้อนเนื่องจากมีใยอาหารจากแป้งข้าวกลิ้งสังข์หยดขัดขวางการเกิดกระบวนการเกิดเจลในขั้นตอนการกวนลวดช่องผู้วิจัยจึงยุติการเก็บรักษา โดยสรุปว่าการเก็บรักษาที่ยังคงสภาพที่ดีของลวดช่องไทยแป้งข้าวกลิ้งสังข์หยด โดยเก็บที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ระยะเวลาควรอยู่ที่ 48 ชั่วโมง

วิจิตรา เหลียวตระกูล และวชิรญา เหลียวตระกูล (2563) แป้งกระจับ ปริเจลาติไนซ์มีค่ากำลังการพองตัวและการละลายน้ำ สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (11.23 g gel/g และร้อยละ 9.44 ตามลำดับ) เนื่องจากแป้งปริเจลาติไนซ์เป็นแป้งที่ได้รับความร้อน จากกระบวนการผลิตมาแล้วทำให้แป้งมีค่ากำลังการพองตัวและการละลายน้ำมากกว่าแป้งดัดแปรชนิดอื่น นอกจากนี้ขนาดอนุภาคแป้งยังมีผลต่อการละลายน้ำและกำลังการพองตัว โดยแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะ อุ่มน้ำได้ดีกว่าขนาดอนุภาคเล็กโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การละลายน้ำและการพองตัวของแป้งจะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

- วัตถุดิบ

แป้งข้าวเจ้า

มะม่วงพันธุ์มหาชนก จาก จังหวัดกาฬสินธุ์

- สารเคมี

Calcium Hydroxide (Chemrich, Food grade, Thailand)

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

หม้อผสมแป้ง

เครื่องปั่น

หม้อต้ม 28 เซนติเมตร

ไม้พาย

แม่พิมพ์ลอดช่อง

ผ้าขาวบาง

เตาแก๊สเตนเลสหัวคู่

แก๊สหุงต้ม

Twin-Screw Extruder (CTE-D22L32, Chareon TUT Co., LTD., Thailand)

Tray dryer (PROGRESS ELECTRONIC, Thailand)

Spectrophotometer & Colormeter (XE, HunterLab, USA)

Texture Analyzer (TA-HD plus, Stable Micro Systems, England)

Brix refractometer (Atago, Japan)

Water activity meter (4TE, AQUA LAB, USA)

Halogen Moisture Analyzer (HX204, Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมน้ำมะม่วงมหาชนกผสมเนื้อ

นำมะม่วงพันธุ์มหาชนกมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด ปอกเปลือกและหั่นแยกเนื้อกับเมล็ดมะม่วง นำเนื้อมะม่วงที่ได้มาปั่นรวมกันด้วยเครื่องปั่น ที่ความเร็ว 20,000 รอบต่อนาที จะได้น้ำมะม่วงที่มีลักษณะเป็น puree จากนั้นนำน้ำมะม่วงที่ได้มาวัดปริมาณความหวานด้วยเครื่อง Refractometer (Brix Refractometer, Atago, Japan)

#### 3.3.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมะม่วงมหาชนก

นำตัวอย่างน้ำมะม่วงมหาชนกผสมเนื้อมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพด้วยวิธี Proximate analysis ตาม AOAC, 2000 โดยทำการวัด ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเส้นใยอาหาร

#### 3.3.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนก

วัตถุดิบหลักในการผลิตลอดช่องมหาชนกประกอบไปด้วยแป้งข้าวเจ้า น้ำมะม่วงมหาชนก และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (น้ำปูนใส) โดยในการทดลองจะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้าต่อน้ำมะม่วงมหาชนกต่อสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณร้อยละของสูตรส่วนผสมในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนกทั้ง 4 สูตร

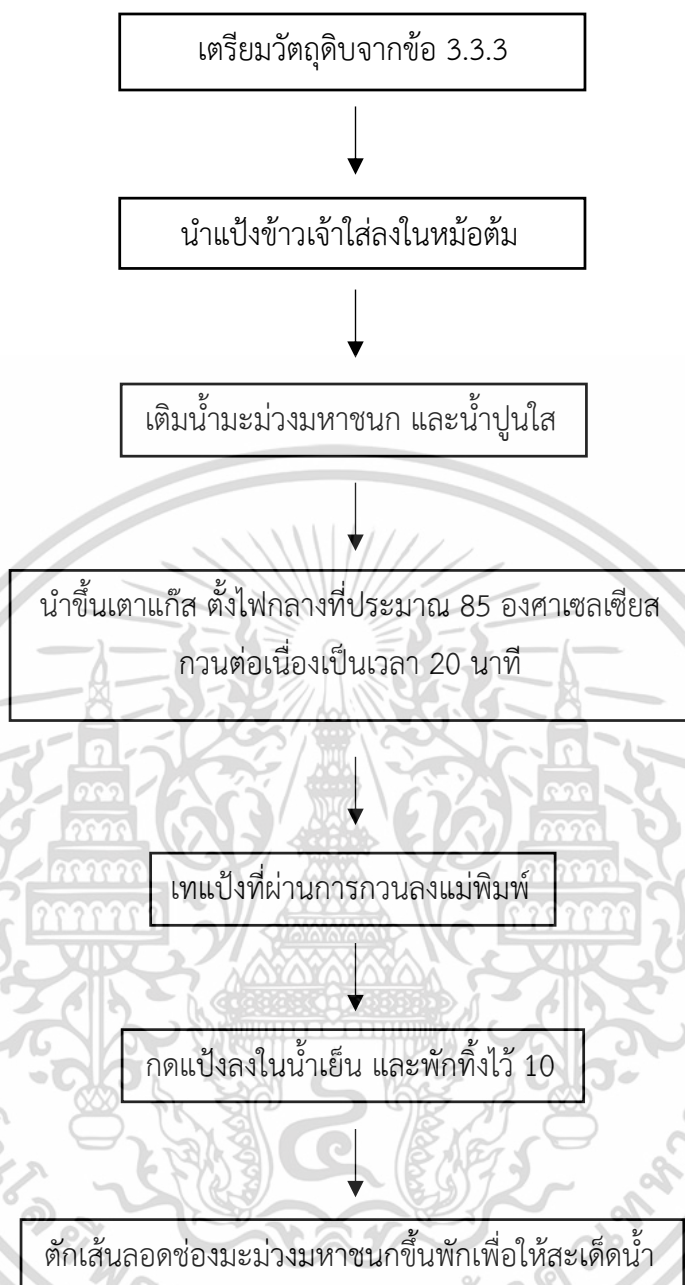
สูตรที่	% แป้งข้าวเจ้า	% น้ำปูนใส	% น้ำมะม่วงมหาชนก
1	19.19	20.73	60.08
2	19.19	20.73	60.08
3	22.22	22.22	55.56
4	22.22	22.22	55.56

โดยสูตรที่ 2 จะเพิ่มส่วนผสมอาหารร้อยละ 0.22 ของปริมาณน้ำมะม่วง สูตรที่ 3 จะเพิ่มกรดซิตริก ร้อยละ 0.3 ของปริมาณแป้ง และสูตรที่ 4 จะเพิ่มส่วนผสมอาหารร้อยละ 0.22 ของปริมาณน้ำมะม่วง และกรดซิตริกร้อยละ 0.3 ของปริมาณแป้ง

#### 3.3.4 การผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีดั้งเดิม

นำวัตถุดิบจากข้อ 3.1 ในแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนที่ต่างกัน มาผลิตมาลอดช่องมะม่วงมหาชนก โดยขั้นตอนการผลิตสามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนก

3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม  
นำลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิมมาตรวจคุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

#### 3.3.5.1 การวิเคราะห์ค่าสี

ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (XE, HunterLab, USA) โดยการนำลอดช่องมะม่วงมหาชนกใส่ลงในคิวเวทซ์ขนาด 100 มิลลิตร ประมาณ 3 ใน 4 ของภาชนะ นำตัวอย่างวางไว้บนฐาน ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
3.3.5.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีเหตุใดก็ตามที่ส่งผลเสียและต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-HD plus, Stable Micro Systems, England) โดยคัดเลือกหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิม จำนวน 5 เส้น ที่มีขนาดใกล้เคียงกันนำมาตัดให้ได้ขนาด 2 เซนติเมตร นำมาวางบนฐานเรียบเพื่อทดสอบทำการวัดค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยการทดสอบแรงกด (Compression Test) วัดค่าความเหนียว (Toughness) และค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) จากนั้นนำเส้นหลอดช่องใบเตยที่ขายตามท้องตลาดมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส และนำมาเปรียบเทียบกับหลอดช่องมะม่วงมหาชนกทั้ง 4 สูตร เพื่อคัดเลือกสูตรที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับหลอดช่องใบเตยที่ขายตามท้องตลาดมากที่สุด

### 3.3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ทำการวัดปริมาณน้ำอิสระในหลอดช่องมะม่วงมหาชนก โดยการบดตัวอย่างหลอดช่องใส่ภาชนะ เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วภาชนะ จากนั้นนำใส่เครื่อง ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ผล

### 3.3.5.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ทำการวัดปริมาณความชื้นในหลอดช่องมะม่วงมหาชนก โดยนำตัวอย่างหลอดช่องใส่ถาดฮาโลเจน จากนั้นนำใส่เครื่อง ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ผล

3.3.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพรีเจลาตีในเซชันของแป้งหลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน

นำแป้งหลอดช่องผสมกับน้ำมะม่วงมหาชนก ซึ่งจะทำให้แป้งมีความชื้นเล็กน้อย ป้อนส่วนผสมเข้าเครื่อง และปรับตัวแปรตามแต่ละสภาวะ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหลอดช่องมะม่วงมหาชนก โดยในตารางจะมีทั้งหมด 4 สภาวะ แสดงดังตารางที่ 3.2

### 3.3.7 การอบแห้งเส้นหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ถูกผลิตด้วยการเอ็กซ์ทรูชัน

นำหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เข้าเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

### 3.3.8 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน

นำหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชันมาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านต่างๆ ดังนี้

#### 3.3.8.1 การวิเคราะห์ค่าสี

ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (XE, HunterLab, USA) โดยการนำหลอดช่องมะม่วงมหาชนกใส่ลงในคิวเวทซ์ขนาด 100 มิลลิเมตร ประมาณ 3 ใน 4 ของภาชนะ นำตัวอย่างวางไว้บนฐาน ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหลอดข้อมะม่วงมหาชนกด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

Condition	Screw Speed (rpm)	Torque (%)	อัตราการป้อนแป้ง (rpm)	อัตราการป้อนของเหลว		Extrusion Temperature							Melt Temp. (°C)	Melt Pres. (bar)
				Stroke	Freq	B1(°C)	B2(°C)	B3(°C)	B4(°C)	B5(°C)	B6(°C)	Die (7) (°C)		
1	80	56	10	10	50	90	90	90	100	100	90	60	69	0
2	80	54	10	10	50	40	90	90	80	80	90	60	67	0
3	80	52	10	10	50	40	90	90	70	70	80	60	69	0
4	80	52	10	10	50	40	90	80	70	70	80	60	69	0

### 3.3.8.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส

ทำการวัดคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-HD plus, Stable Micro Systems, England) โดยคัดเลือกหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิมจำนวน 5 เส้น ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน นำมาตัดให้ได้ขนาด 2 เซนติเมตร นำมาวางบนฐานเรียบเพื่อทดสอบทำการวัดค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยการทดสอบแรงกด (Compression Test) วัดค่าความเหนียว (Toughness) และค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness)

### 3.3.8.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ทำการวัดปริมาณน้ำอิสระในหลอดช่องมะม่วงมหาชนก โดยการบดตัวอย่างหลอดช่องใส่ภาชนะ เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วภาชนะ จากนั้นนำใส่เครื่อง ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ผล

### 3.3.8.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ทำการวัดปริมาณความชื้นในหลอดช่องมะม่วงมหาชนก โดยนำตัวอย่างหลอดช่องใส่ภาชนะ เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วภาชนะ จากนั้นนำใส่เครื่อง ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ผล

### 3.3.9 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของหลอดช่องมะม่วงมหาชนก

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสหลอดช่องมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม และเอ็กซ์ทราซัน ด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale ใช้เกณฑ์การประเมินการยอมรับด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม และความเหนียว) โดยใช้จำนวนผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

### 3.3.10 การศึกษาเปลี่ยนระหว่างการเก็บรักษาของหลอดช่องมะม่วงมหาชนก

#### 3.3.10.1 การศึกษาเปลี่ยนระหว่างการเก็บรักษาของหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

นำหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิม เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพด้วยสวดยตา

#### 3.3.10.2 การเปลี่ยนระหว่างการเก็บรักษาของหลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทราซัน

หลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทราซัน (หลอดช่องที่ผ่านการต้ม) เข้าตู้บ่มทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4, 25, 35, 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง จากนั้นสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงทุก 1 สัปดาห์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างหลอดช่องมาวัดลักษณะทางกายภาพ ดังข้อ

3.3.8

### 3.3.11 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การวัดค่าสี การวัดปริมาณน้ำอิสระ และการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก ได้นำวัตถุดิบหลักอย่างมะม่วงมหาชนก มาทำการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม และผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการผลิตแบบผ่านการเอ็กซ์ทราซัน เพื่อลดการเกิดริโทเกรเดชันในแปงลดช่องมะม่วงมหาชนก โดยแสดงการทดลองดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพของมะม่วงมหาชนก

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก ได้มีการนำมะม่วงมหาชนกจาก ชุมชนบ้านหนองบัวชุม อำเภอนองบุรี จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งจะนำมาทำการตรวจวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพ โดยแสดงผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงมหาชนก

องค์ประกอบทางเคมี	(%) ต่อเนื้อมะม่วง 100 กรัม
ปริมาณน้ำ	80.51
คาร์โบไฮเดรต	18.94
เถ้า	0.34
ไขมัน	0.15
ใยอาหาร	0.05
โปรตีน	0.01

##### 4.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงมหาชนกแสดงดังตารางที่ 4.1 คิดจากส่วนที่เป็นเนื้อมะม่วงปริมาณ 100 กรัม พบว่ามีปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำ, คาร์โบไฮเดรต, เถ้า, ไขมัน, ใยอาหาร และโปรตีน ร้อยละ 80.51, 18.94, 0.34, 0.15, 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละค่ามีความสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงแก้วเมื่อสุก อ้างอิงจาก นุชนาถ และคณะ (2547) คือ ปริมาณความชื้น, คาร์โบไฮเดรต, เถ้า, ไขมัน, ใยอาหาร และโปรตีน ร้อยละ 83.71, 15.35, 0.30, 0.09, 0.49 และ 0.52 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 คุณลักษณะทางกายภาพของมะม่วงมหาชนก

**ตารางที่ 4.2** ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสีของมะม่วงมหาชนก

	ค่าความหวาน (°Brix)	ค่า $a_w$	ค่าสี			$\Delta E$
			$L^*$	$a^*$	$b^*$	
มะม่วง มหาชนก	18.5±0.36	0.98±0.00	48.54±0.01	12.34±0.02	51.43±0.03	71.46±0.57

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

##### 4.1.2.1 ค่าความหวาน (°Brix)

ผลการวิเคราะห์ค่าความหวานของมะม่วงมหาชนกมีค่าเฉลี่ยจากการวัดจำนวน 3 ซ้ำ จะได้ค่าเท่ากับ 18.5 องศาบริกซ์ ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ ธีระรัตน์ และคณะ (2564) ที่ได้ศึกษาผลผลิตมะม่วงมหาชนกที่ได้มีความหวานประมาณ 16 องศาบริกซ์ ในมะม่วงมีปริมาณน้ำตาลและกรดต่างกันมากตามพันธุ์และความแก่ของผล น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ ในมะม่วงสุก มอลโตสก็มีอยู่เช่นกัน (นุชนาถ และคณะ, 2547)

##### 4.1.2.2 ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ )

ผลการวัดปริมาณน้ำอิสระในมะม่วงมหาชนก ค่าความหวาน และค่าสีแสดงดังตารางที่ 4.2 โดยปริมาณน้ำอิสระ หรือวอเตอร์แอกทีวิตี (Water activity) สามารถเขียนย่อว่า  $a_w$  เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร ในตัวอย่างมะม่วงมหาชนกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.98 เมื่ออ้างอิงจาก ศูนย์วัฒนธรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546 สามารถจัดได้ว่าตัวอย่างมะม่วงมหาชนกอยู่ในประเภทอาหารสด (fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย (Perishable food) ที่มีค่า Water activity มากกว่า 0.85

##### 4.1.2.3 ค่าสี ( $L^*a^*b^*$ )

จากการวัดค่าสีของมะม่วงมหาชนกที่สุกแล้ว ได้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ 48.54 ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ได้เท่ากับ 12.34 และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) เท่ากับ 51.43 เนื่องจากมะม่วงมหาชนกเมื่อสุกเต็มที่ เนื้อจะมีสีเหลือง เหลืองส้ม หรือสีเหลืองส้มปนแดง (รวี และเปรมปรี, 2542 อ้างใน วชิรี และคณะ, 2558) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การพัฒนาส่วนผสมในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนก

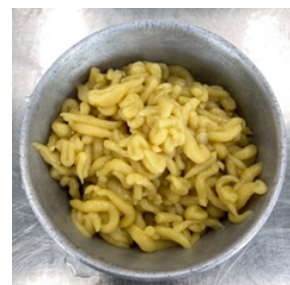
จากการศึกษาวิธีการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีแบบดั้งเดิม พบว่าลอดช่องทั้ง 4 สูตร มีลักษณะปรากฏที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.3 โดยที่สูตรที่ 1 เส้นลอดช่องมะม่วงมหาชนกมีลักษณะแป้งจับตัวกันเป็นเส้น ไม่ขาดง่าย มีสีซีด เส้นมีลักษณะหยาบ ผิวด้านนอกไม่เนียน คาดว่าเกิดจากเส้นใยของเนื้อมะม่วงที่มีอยู่ในน้ำมะม่วง ด้วยเหตุนี้จึงมีการเพิ่มสีผสมอาหารเพื่อปรับสีของเส้นลอดช่อง ซึ่งได้แก่สูตรที่ 2 เส้นลอดช่องมีลักษณะภายนอกอื่น ๆ มีความเหมือนสูตรแรก เส้นที่ได้มีสีเหลืองสดมากขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปไม่นาน สีของเส้นเริ่มมีลักษณะที่จางลง จนซีดใกล้เคียงกับสูตรแรก ทำให้มีการเพิ่มกรดซิตริกในสูตรที่ 3 เมื่อเติมกรดซิตริกแล้ว เส้นมีลักษณะเนียน จับกันเป็นเส้น แต่ขาดง่ายกว่าสองสูตรแรก เล็กน้อย เส้นมีสีเหลืองที่สดขึ้นแต่ไม่เท่าสูตรที่เพิ่มสีผสมอาหาร สีไม่ซีดเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากกรดซิตริกจะช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) โดยการปรับ pH เท่ากับหรือต่ำกว่า 3 จะเป็นการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, ม.ป.ป.ก) ในสูตรที่ 4 จึงทำการเพิ่มทั้งสีผสมอาหารและกรดซิตริก เส้นที่ได้มีลักษณะเนียน จับตัวกันเป็นเส้นได้ดี เส้นมีสีเหลืองสดไม่ซีดจางเมื่อเวลาผ่านไป

ตารางที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิมทั้ง 4 สูตร

สูตรที่	ส่วนผสม	ลักษณะปรากฏ
1	แป้งข้าวเจ้า 19.19%, น้ำปูนใส 20.73% และ น้ำมะม่วงมหาชนก 60.08%	
2	แป้งข้าวเจ้า 19.19%, น้ำปูนใส 20.73% และ น้ำมะม่วงมหาชนก 60.08% เพิ่มสีผสมอาหาร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3 แป้งข้าวเจ้า 22.22%, น้ำปูนใส 22.22% และ น้ำ  
มะม่วงมหาชนก 55.56% เพิ่มกรดซิตริก



- 4 แป้งข้าวเจ้า 22.22%, น้ำปูนใส 22.22% และ น้ำ  
มะม่วงมหาชนก 55.56% เพิ่มกรดซิตริกและสีผสม  
อาหาร



### 4.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม

#### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนก

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีผลิตแบบดั้งเดิม แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า hardness ของสูตร Control สูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 13.94, 31.11, 23.47, 17.41 และ 18.20 N ตามลำดับ สังเกตได้ว่า สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของค่า Hardness มากที่สุด เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากสูตร Control และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่าค่า Cohesiveness ของสูตร Control สูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 0.49, 0.48, 0.50, 0.31 และ 0.33 ตามลำดับ สังเกตได้ว่า สูตร Control สูตรที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดและค่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่าค่า Chewiness ของสูตร Control สูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 544.90, 1235.07, 981.93, 265.73 และ 318.77 สังเกตได้ว่า สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ย Chewiness สูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่าค่า Toughness ของสูตร Control สูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 11.58, 17.13, 16.79, 5.14 และ 9.88 N.sec สังเกตได้ว่า สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ย Toughness สูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากใยอาหารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช โดยทำให้เจลสตาร์ชมีความแข็งเพิ่มขึ้น ใยอาหารที่มีอะมิโลสสูง จึงช่วยสตาร์ชในการจับน้ำที่มืออย่างจำกัดในระบบได้มากขึ้น ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น (จานิณี, 2560)

พบว่าค่า Adhesiveness ของสูตร Control สูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ -13.78, -211.83, -99.85, -78.04 และ -32.55 ตามลำดับ สังเกตได้ว่า สูตร Control มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับ

สูตรอื่น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากลอดช่องมะม่วงมหาชนกมีการผสมเนื้อซึ่งประกอบไปด้วยกากใยอาหารมีผลทำให้ค่าความเกาะติดผิววัสดุของเจลสตาร์เปลี่ยนไป โดยมีแนวโน้มที่จะมีค่าลดลง อาจเกิดจากเส้นใยมีส่วนทำให้แบ่งเกิดการพองตัวตัวได้มากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้ในโครงสร้างภายในยึดเกาะกันได้ดี จึงใช้ต้องใช้แรงมากในการดึงหัววัดออกมา

พบว่าค่า Toughness ของสูตร Control สูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 11.58, 17.13, 16.79, 5.14 และ 9.88 N.sec สันเกตได้ว่า สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ย Toughness สูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.4** ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

สูตรที่	Hardness (N)	Adhesiveness	Cohesiveness	Chewiness	Toughness (N.sec)
Control	13.94±2.35 <sup>c</sup>	-13.78±5.78 <sup>a</sup>	0.49±0.03 <sup>a</sup>	544.90±98.13 <sup>c</sup>	11.58±1.79 <sup>b</sup>
1	31.11±3.43 <sup>a</sup>	-211.83±48.35 <sup>d</sup>	0.48±0.06 <sup>a</sup>	1235.07±257.05 <sup>a</sup>	17.13±2.05 <sup>a</sup>
2	23.47±0.96 <sup>b</sup>	-99.85±41.46 <sup>c</sup>	0.50±0.04 <sup>a</sup>	981.93±71.64 <sup>b</sup>	16.79±1.39 <sup>a</sup>
3	17.41±2.15 <sup>c</sup>	-78.04±8.86 <sup>c</sup>	0.31±0.01 <sup>b</sup>	265.73±40.12 <sup>d</sup>	5.14±1.01 <sup>c</sup>
4	18.20±2.77 <sup>c</sup>	-15.55±5.88 <sup>a</sup>	0.33±0.00 <sup>b</sup>	318.77±64.24 <sup>c</sup>	9.88±2.32 <sup>b</sup>

หมายเหตุ <sup>a, b, c, ...</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนกแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า ลอดช่องมะม่วงมหาชนกสูตรที่ 4 มีค่า Hardness, Adhesiveness, Chewiness และ Toughness ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับลอดช่องจากจังหวัดฉะเชิงเทรา มากที่สุด จึงจะนำสูตรที่ 4 ไปศึกษาการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมและด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน และการสังเกตการเปลี่ยนแปลงระหว่างอายุการเก็บรักษา

#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสีของลอดช่องมะม่วงมหาชนก

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าความชื้น มีค่าเท่ากับร้อยละ 57.82 และมีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.999 ซึ่งมากกว่า 0.85 จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหารสด ที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ง่าย และมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ 59.01 ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) เท่ากับ 2.81 ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) เท่ากับ 39.70 และค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เท่ากับ 71.18 โดยค่าการวัดสีบ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ของเพียวร่เริ่มม่วงที่เป็นวัตถุดิบเมื่อโดนความร้อน ทำให้สีของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์มีความสว่าง ( $L^*$ ) น้อยลง ค่าความเป็นสีแดงหรือสีส้ม ( $a^*$ ) ลดลง มีความเป็นสีเขียวมากขึ้น และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ลดลง มีค่าความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น

#### ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสีของลอดช่องมะม่วงมหาชนก

	ค่า	ค่า $a_w$	ค่าสี			$\Delta E$
	Moisture		$L^*$	$a^*$	$b^*$	
สูตรที่ 4	57.82±2.29	0.999±0.00	59.01±0.02	2.81±0.03	39.70±0.07	71.18±0.04

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

##### 4.3.2.1 ค่าความชื้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของลอดช่องมะม่วงมหาชนก มีค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง เท่ากับร้อยละ 57.82 แสดงดังตารางที่ 4.5 สามารถบอกได้ว่าเส้นลอดช่องมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับอาหารสด (fresh food) เนื่องจากเส้นลอดช่องมีส่วนผสมของน้ำมะม่วงมหาชนกและน้ำปูนใสอยู่ อีกทั้งในกระบวนการผลิตเส้นลอดช่องมีการใช้น้ำเพื่อแช่ให้แป้งจับตัวกัน จึงทำให้มีปริมาณน้ำภายในเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณความชื้นที่วัดได้จริงมีค่ามาก

##### 4.3.2.2 ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ )

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของลอดช่องมะม่วงมหาชนก มีค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง เท่ากับ 0.999 แสดงดังตารางที่ 4.5 สามารถจัดได้ว่าลอดช่องมะม่วงมหาชนกอยู่ในประเภทอาหารสด (fresh food) ที่มีค่า Water activity มากกว่า 0.85 เนื่องจากเส้นลอดช่องมีส่วนผสมของน้ำมะม่วงมหาชนกและน้ำปูนใสอยู่ จึงทำให้มีปริมาณน้ำมากภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณความชื้น

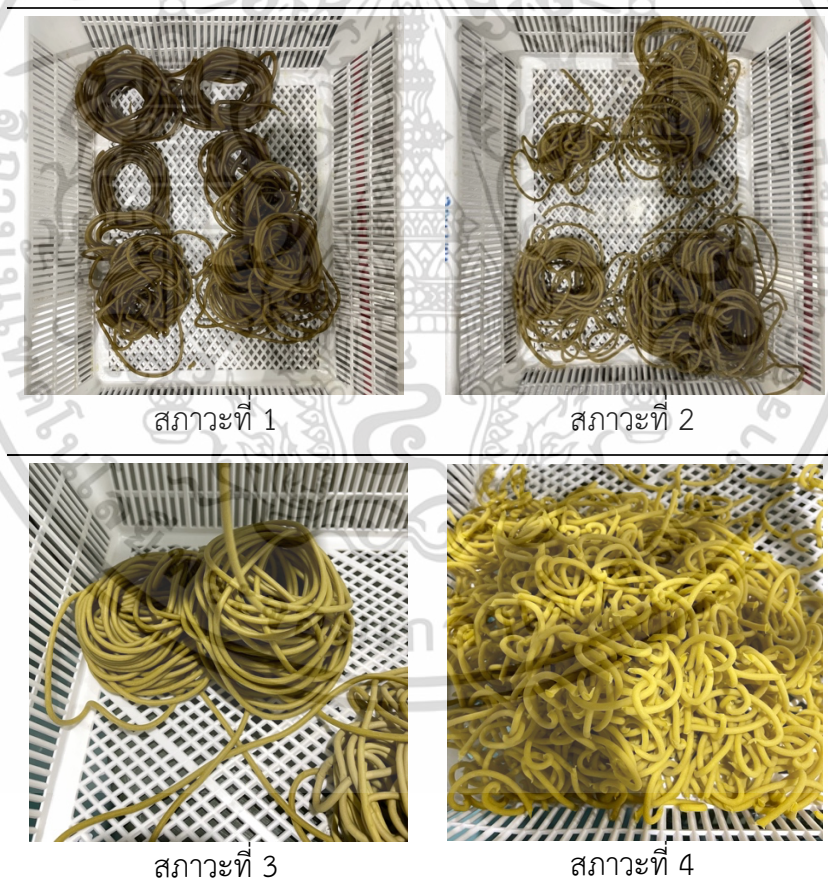
##### 4.3.3.3 ค่าสี ( $L^*a^*b^*$ )

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของลอดช่องมะม่วงมหาชนกมะม่วงมหาชนก มีค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.5 ได้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ 59.01 ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) 2.81 และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) เท่ากับ 39.70 ซึ่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่า ( $a^*$ ) และ ( $b^*$ ) ของน้ำมะม่วงมหาชนก จากตารางที่ 4.2 เนื่องจากน้ำมะม่วงเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, ม.ป.ป.ก) หลังจากโดนความร้อนจากกระบวนการผลิต ค่าสีทั้งสองจึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการศึกษาสภาวะการพรีเจลาตีไนเซชันของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

จากการศึกษาสภาวะการพรีเจลาตีไนเซชันด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันของลอดช่องมะม่วงมหาชนก โดยการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ (Twin screw extruder) มีการกำหนดสภาวะการแปรรูปเริ่มต้น ที่ อุณหภูมิบาร์เรล (B1) 40°C, (B2) 90°C, (B3) 90°C, (B4) 70°C, (B5) 70°C และ (B6) 70°C อุณหภูมิรูพิมพ์ (Die) 60°C ความเร็วรอบสกรูที่ 80 rpm อัตราการป้อนแป้ง 10 -15 rpm อัตราการป้อนของเหลว 20% ความถี่ที่ 50% แรงบิด (%Torque) ไม่เกิน 63% ซึ่งเป็นสภาวะในการผลิตเส้นสปาเก็ตตี้ เส้นที่ได้จากการผลิตในครั้งแรกนั้น พบว่าผิวภายนอกสุกแต่ภายในแกนกลางของเส้นยังไม่สุก หมายความว่า อุณหภูมิที่ใช้ยังไม่สูงพอที่จะทำให้แป้งเกิดการพรีเจลาตีไนเซชัน และสุกเข้าไปถึงด้านในแกนกลางเส้น จึงมีการปรับเปลี่ยนสภาวะการแปรรูป ดังภาพที่ 4.1 เพื่อให้เส้นที่ออกมาสุกอย่างทั่วถึงทั้งผิวด้านนอกและด้านในแกนกลางเส้น



ภาพที่ 4.1 ผลิตภัณ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันทั้ง 4 สภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสภาวะการพรีเจลาติโนเซชันของลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน พบว่า ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการพรีเจลาติโนเซชันมีลักษณะคล้ายเส้นพาสต้า แต่ยังมีความชื้นมากกว่า และมีลักษณะอื่นๆที่มีความแตกต่างกัน ดังภาพที่ 4.1

ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ถูกผลิตด้วยสภาวะการแปรรูปที่ 1 มีอุณหภูมิบาร์เรล (B1) 90°C, (B2) 90°C, (B3) 90°C, (B4) 100°C, (B5) 100°C และ (B6) 90°C อุณหภูมิรูทิมพ์ (Die) 60°C ความเร็วรอบสกรู ที่ 80 rpm อัตราการป้อนแป้ง 10 rpm อัตราการป้อนของเหลว 10% ความถี่ที่ 50% แรงบิด (%Torque) อยู่ที่ 56% ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจะมีสีคล้ำ ค่อนข้างดำ แป้งสุกมากเกินไป ทำให้แป้งเหลวจากข้างในเครื่อง เนื้อสัมผัสที่ออกมาจึงคล้ายยาง ไม่มีกลิ่นของมะม่วงมหาชนก และไม่สามารถต้มให้คืนตัวได้ จากการวิเคราะห์ สามารถสรุปได้ว่าในสภาวะนี้ อุณหภูมิของบาร์เรลเริ่มต้นและตอนท้ายสูงเกินไป เนื่องจากน้ำมะม่วงซึ่งเป็นวัตถุดิบ โดนความร้อนสูง จึงเกิด Browning reaction และออกซิไดซ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาสีเข้มมาก

สภาวะการแปรรูปที่ 2 ได้ทำการปรับลดอุณหภูมิบาร์เรลที่ (B1) 40°C, (B4) 80°C และ (B5) 80°C และแรงบิด (%Torque) อยู่ที่ 54% เพื่อลดอุณหภูมิภายในเครื่อง และเพื่อไม่ให้แป้งสุกเกินไปจนเหลว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีอ่อนลง แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งยังคงคล้ายกับผลิตภัณฑ์จากสภาวะการแปรรูปที่ 1 คือคล้ายยาง ไม่มีกลิ่นของมะม่วงมหาชนก และไม่สามารถต้มให้คืนตัวได้

สภาวะการแปรรูปที่ 3 ทำการปรับลดอุณหภูมิบาร์เรลที่ (B4) 70°C, (B5) 70°C และ (B6) 80°C และแรงบิด (%Torque) อยู่ที่ 52% ผลิตภัณฑ์ที่ได้เริ่มมีสีใกล้เคียงกับน้ำมะม่วง แป้งยังมีลักษณะคล้ายยาง อยู่เล็กน้อย มีกลิ่นตามธรรมชาติของมะม่วงมหาชนก และสามารถต้มให้คืนตัวได้แต่ยังไม่สามารถทำให้ แกนกลางของเส้นลอดช่องสุกได้

ในสภาวะสุดท้าย ทำการปรับลดอุณหภูมิบาร์เรลที่ (B3) 80°C และแรงบิด (%Torque) อยู่ที่ 52% ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ได้มีสีเหลืองเข้ม และมีกลิ่นธรรมชาติจากมะม่วงมหาชนก เส้นที่ได้มีความใส มันวาว ไม่ละเมือจับและไม่แห้งกรอบ แป้งจับตัวกันเป็นเส้นเรียงตัวกันสวยงาม มีความสุกเท่ากันตั้งแต่ผิวด้านนอกไปจนถึงแกนกลางของเส้น และสามารถต้มให้คืนตัวได้สุกจนถึงแกนกลางเส้น ดังภาพที่ 4.3 หมายความว่า แป้งได้ผ่านการพรีเจลาติโนเซชันภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แล้ว

หลังจากนั้นลอดช่องมะม่วงมหาชนกจะถูกนำไปปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที หรือ จนกว่าผลิตภัณฑ์จะแห้ง และเมื่อทำการตรวจสอบ ผลิตภัณฑ์จะต้องมีปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ต่ำกว่า 0.6 หลังจากนั้นจึงให้ลอดช่องมะม่วงมหาชนกเย็นตัวลง แล้วจึงจะสามารถเก็บใส่ถุงบรรจุได้ ดังภาพที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันที่ผ่านการอบไล่ความชื้น



ภาพที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันที่ถูกทำให้คืนตัว

#### 4.5 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการรพรีเจลาตีไนเซชันด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการรพรีเจลาตีไนเซชันด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของลอดช่องมะม่วงมหาชนกวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน

	Hardness (N)	Adhesiveness	Cohesiveness	Chewiness	Toughness (N.sec)
Extrusion	11.86±0.96	-26.58±3.46	0.74±0.04	780.59±64.96	1.43±0.34

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการพรีเจลาตีโนเซชันด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน มีค่าความแข็ง (Hardness) เท่ากับ 11.86 N ค่าการยึดเกาะในโครงสร้าง (Cohesiveness) เท่ากับ 0.74 ค่าความเคี้ยว (Chewiness) ได้เท่ากับ 780.59 และค่าความเหนียว (Toughness) เท่ากับ 1.43 N.sec

4.5.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ยังไม่ถูกทำให้คั่ว

**ตารางที่ 4.7** ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ยังไม่ถูกทำให้คั่ว

	ค่า Moisture	ค่า $a_w$
ลอดช่องที่ยังไม่คั่ว	0.91±0.05	0.5410±0.0000

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ยังไม่ถูกทำให้คั่ว มีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 0.91 ซึ่งถือว่าต่ำกว่าร้อยละ 15 มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.5410 ซึ่งน้อยกว่า 0.60 จึงบ่งบอกได้ว่าลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันจัดเป็นอาหารแห้ง มีอายุการเก็บรักษาได้นาน เนื่องจากมีระดับความชื้นในอาหารต่ำนั้นช่วยระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

4.5.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และค่าสีของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ถูกทำให้คั่ว

**ตารางที่ 4.8** ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น และค่าสีของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ถูกทำให้คั่ว

	ค่า Moisture	ค่า $a_w$	ค่าสี			
			$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
ลอดช่องที่คั่ว	46.02±2.35	1.00±0.00	56.70±0.01	7.23±0.01	24.55±0.01	61.79±0.01

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 พบว่าลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ถูกทำให้คืนตัวมีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 46.02 และมีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 1.00 ซึ่งมากกว่า 0.85 จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหารสด ที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ง่าย และมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ 56.70 ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) เท่ากับ 7.23 ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) เท่ากับ 24.55 และค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เท่ากับ 61.79

#### 4.6 การเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมและด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

ตารางที่ 4.9 ผลวิเคราะห์การเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมและด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

วิธีการผลิต	Hardness (N)	Adhesiveness	Cohesiveness	Chewiness	Toughness (N.sec)
สูตรดั้งเดิม	18.20±2.77	-15.55±5.88	0.33±0.00	318.77±64.24	9.88±2.32
Extrusion	11.86±0.96	-26.58±3.46	0.74±0.04	780.59±64.96	1.43±0.34

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลจากการศึกษาการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมและด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.9 พบว่าลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม มีค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการยึดติดกับวัตถุ (Adhesiveness) ค่าความเหนียว (Toughness) ได้ค่าเท่ากับ 18.20, -15.55 และ 9.88 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน เนื่องจากผ่านกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน และลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมมีน้ำปูนใสเป็นส่วนผสม ซึ่งน้ำปูนใสสามารถซึมเข้าไปในเม็ดแป้งได้ง่าย ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งถูกทำลาย แป้งจึงพองตัวได้มาก เกิดการเจลาติไนเซชันได้เร็ว (Santiago et al., 2015) และช่วยให้แป้งมีลักษณะที่เหนียว ยืดหยุ่น และคงตัว (สุปราณี, 2553) และพบว่าลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชันมีค่าเฉลี่ยการยึดติดกันในโครงสร้าง (Cohesiveness) และค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) ได้ค่าเท่ากับ 0.74 และ 780.59 ซึ่งมากกว่าลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม เนื่องจากในกระบวนการผลิต มีการใช้ปริมาณน้ำน้อย มีการอัดรีด มีแรงเฉือนในบาร์เรล และไม่มีส่วนประกอบของน้ำปูนใสทำให้แป้งที่ออกมา มีลักษณะเนื้อแน่นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.7 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาลอดช่องมะม่วงมหาชนก

4.7.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาลอดช่องมะม่วงมหาชนกผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม

ในการศึกษาจะทำการนำลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิม บรรจุลงในถุงสุญญากาศ เก็บไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส และตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยสายตา โดยคัดเลือกสูตรที่มีคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับลอดช่องในท้องตลาด (control) มากที่สุด นั่นคือสูตรลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ใส่กรดซิตริกและสีผสมอาหาร (สูตรที่ 4) ได้ผลดังตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** ผลการทดสอบอายุการเก็บรักษาของลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิม ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา	ลักษณะทางกายภาพ
วันที่ 1	เส้นลอดช่องมีลักษณะเหนียว นุ่ม ไม่ขาดง่าย เนื้อแน่น มีสีสด และมีกลิ่นธรรมชาติของมะม่วงมหาชนก
วันที่ 2	ยังมีลักษณะคล้ายกับวันที่ 1
วันที่ 3	เส้นลอดช่องเริ่มแข็งตัวจากด้านใน สีเริ่มซีด และมีการคายน้ำออกมาเล็กน้อย
วันที่ 4	เส้นลอดช่องมีลักษณะแข็งตัวมากกว่าเดิม มีสีที่ซีด มีการคายน้ำออกมาเป็นปริมาณมาก จึงยุติการเก็บรักษา

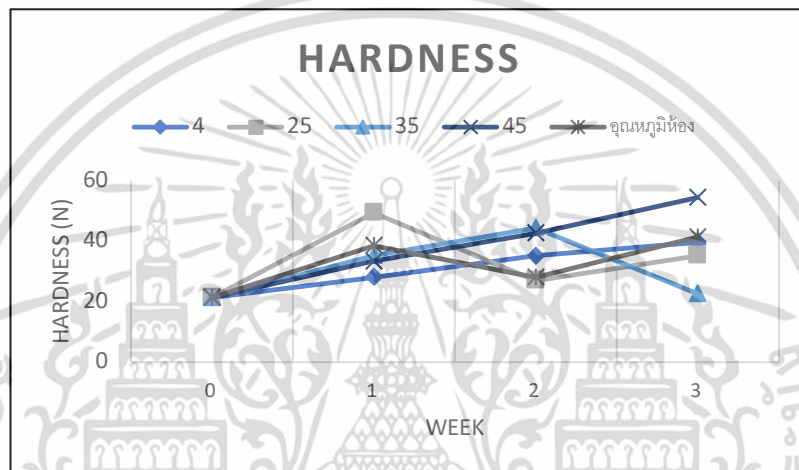
จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าลอดช่องมะม่วงมหาชนกในช่วงวันที่ 1 - 2 ลอดช่องยังมีลักษณะเหนียว นุ่ม และไม่ขาดง่าย มีกลิ่นของมะม่วงมหาชนก แต่ในวันที่ 4 เส้นลอดช่องมีการแข็งตัวจากด้านใน เกิดจากโมเลกุลของอะมิโลสกระจายออก และกลับมารวมกันใหม่อีกครั้งและเกิดการจัดเรียงตัวกันของสตรัคเจอร์ ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและความหนืดที่คงตัวมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิต่ำ การจัดเรียงตัวของโครงสร้างก็จะแน่นมากขึ้น ทำให้มีความแข็งมากขึ้น (ฉรรงค์ นิยมวิทย์, 2535) จึงยุติการเก็บรักษา

4.7.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาลอดช่องมะม่วงมหาชนกผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน

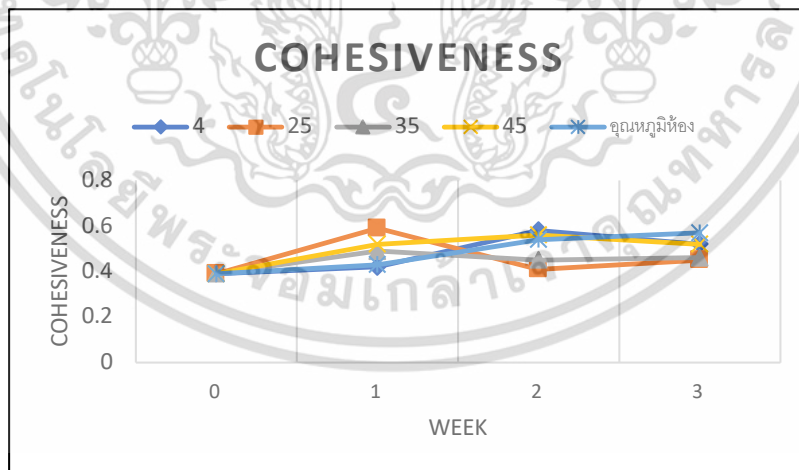
ในการศึกษาจะนำลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูชัน บรรจุลงในถุงสุญญากาศ แล้วนำลอดช่องมะม่วงมหาชนกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิที่ 4, 25, 35, และ 45 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าค่าความแข็ง (Hardness) มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บรักษา แสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.4 เนื่องจากการพรีเจลาตินในเซชันทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ง่ายขึ้น และสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น แต่เนื่องจากการนำหลอดช่องที่ผ่านการพรีเจลาตินในเซชัน นำไปอบเพื่อไล่ความชื้น จนน้ำละลายออกหมดทำให้โครงสร้างของสตาร์ชนั้นยุบตัวลงและเกาะกันแน่นซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าการยึดติดภายในโครงสร้าง (Cohesiveness) มีค่าเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.5 เมื่อมีการดูดน้ำกลับเข้าไปจึงไม่สามารถคืนรูปเดิมได้และน้ำบางส่วนไม่สามารถซึมเข้าสู่ภายในแป้งได้ จึงอาจจะทำให้เกิดการแข็งตัวที่มากขึ้น (สุทธิณี สีสั่งข์ และคณะ, 2563)



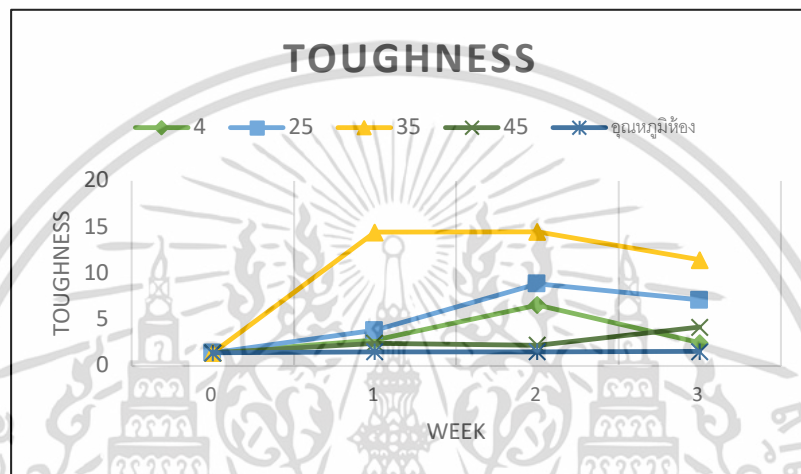
ภาพที่ 4.4 แสดงแนวโน้มของค่าความแข็ง (Hardness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์



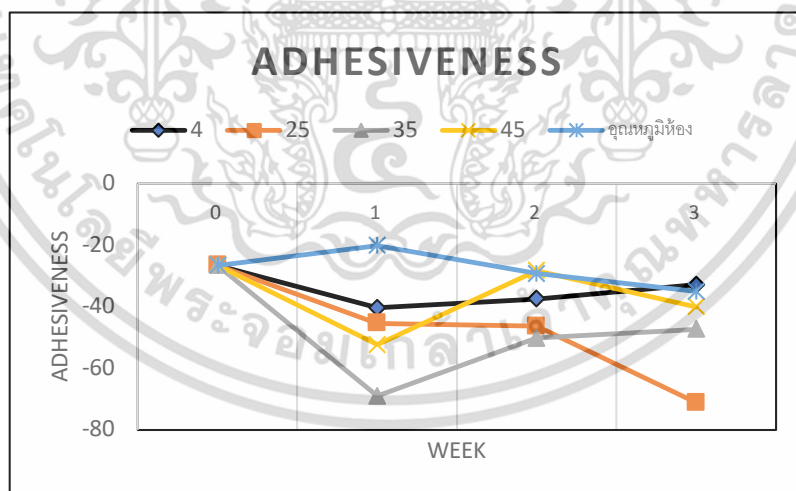
ภาพที่ 4.5 แสดงแนวโน้มของค่าการยึดติดภายในโครงสร้าง (Cohesiveness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเหนียว (Toughness) และค่าการยึดเกาะกับวัสดุ (Adhesiveness) มีแนวโน้มที่จะลดลง แสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 เนื่องการเสถียรภาพของโครงสร้างภายในเม็ดแป้งจากการผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ทำให้โครงสร้างไม่สามารถยึดเกาะกันได้ดี และอาจจะเกิดจากการต้มเป็นเวลานานอาจทำให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่บริเวณใจกลางได้ต้องใช้เวลาในการต้มคืนรูปเป็นเวลานานจนทำให้บริเวณด้านนอกของบะหมี่ปลาอาจนิ่มและ แต่บริเวณใจกลางยังคงแข็งอยู่ โครงสร้างของบะหมี่จึงไม่แข็งแรง ทำให้ค่าความเหนียวลดลง (สุทธิณี สีสังข์ และคณะ, 2563)



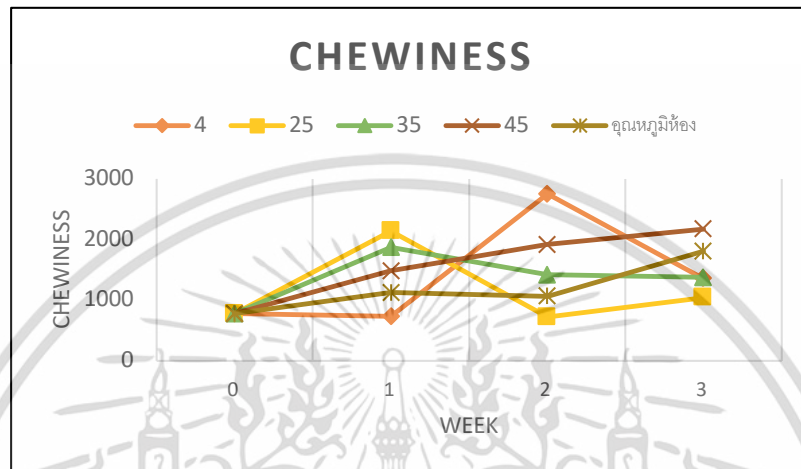
ภาพที่ 4.6 แสดงแนวโน้มของค่าความเหนียว (Toughness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์



ภาพที่ 4.7 แสดงแนวโน้มของค่าการเคี้ยวได้ (Adhesiveness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากเส้นลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผ่านการเอ็กซ์ทรูชัน หลังจากนำไปอบไล่ความชื้นจะให้เม็ดแป้งเกิดการแห้ง ยุบตัว ทำให้แป้งมีการจับตัวกันแน่นภายใน เมื่อนำไปต้มทำให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่บริเวณใจกลาง ทำให้เส้นมีลักษณะเคี้ยวยาก (สุทธิณี สีสังข์ และคณะ, 2563)



ภาพที่ 4.8 แสดงแนวโน้มของค่าการเคี้ยวได้ (Chewiness) ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 อาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยการคัดเลือกสุตรการผลิตลอดช่องด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเลือกใช้สูตรที่ 4 เนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับลอดช่องในท้องตลาด และลอดช่องที่ผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการผลิต	สี	รูปร่าง	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความนุ่ม	ความเหนียว	ความชอบโดยรวม
สูตรดั้งเดิม	7.30±1.37	7.23±1.10	7.10±1.13	7.00±1.39	7.10±1.19	6.93±1.34	7.03±1.03	7.10±0.86
Extrusion	5.50±1.61	5.87±1.74	5.00±1.68	5.97±1.79	4.80±2.11	5.50±1.83	6.63±1.61	6.30±1.29

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิมนั้น มีคะแนนเฉลี่ยในด้าน สี รูปร่าง กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ ความเหนียว ความชอบโดยรวม ประมาณ 7 คะแนน จาก 9 คะแนน ซึ่งมากกว่าผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน ที่มีคะแนนเฉลี่ยในด้าน สี รูปร่าง กลิ่น เนื้อสัมผัส ความนุ่ม อยู่ที่ 5 คะแนน จาก 9 คะแนน

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลวดช่องมะม่วงมหาชนก โดยการพัฒนาส่วนผสมลวดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมทั้งหมด 4 สูตรเพื่อคัดเลือกสูตรที่ลักษณะใกล้เคียงกับลวดช่องในท้องตลาดมากที่สุด พบว่าสูตรที่ 4 (ใส่ซีตริกและสีผสมอาหาร) มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงมากที่สุด ได้แก่ ค่าความแข็ง ค่าความเคี้ยวได้ และค่าความเหนียว ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ มีความชื้นร้อยละ 57.82 ค่าปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.10 และมีค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ  $\Delta E$  เท่ากับ 59.01, 2.81, 39.70 และ 71.18 ตามลำดับ

การพัฒนาลวดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการพรีเจลาตีโนเซชันเพื่อลดการเกิดริโทเกรเดชันในเส้นลวดช่อง โดยสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วสกรู 80 rpm, แรงบิด (%Torque) อยู่ที่ 52%, อัตราการป้อนแป้ง 10 rpm, อุณหภูมิบาร์เรล (B1-B6) เท่ากับ 40°C, 90°C, 80°C, 70°C, 70°C และ 80°C ตามลำดับ อุณหภูมิรูพิมพ์ (Die) 60°C อัตราการป้อนของเหลว 10% ความถี่ที่ 50% ซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสได้แก่ ค่าความแข็ง ค่าการยึดติดภายในโครงสร้าง ค่าความเหนียว ต่างลวดช่องที่ผลิตด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเส้นที่ผ่านการต้ม มีความชื้นร้อยละ 46.02 ค่าปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.10 และมีค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ  $\Delta E$  เท่ากับ 59.70, -7.23, 24.55 และ 61.79 ตามลำดับ

การศึกษการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาลวดช่องมะม่วงมหาชนก ในการศึกษาลวดช่องแบบดั้งเดิมนั้น พบว่าวันที่ 1-2 ลวดช่องยังมีลักษณะเหนียว นุ่ม และยังมีกลิ่นลวดช่องมะม่วงมหาชนก และวันที่ 3-4 ลวดช่องมีลักษณะและ เริ่มมีน้ำคายออกมามาก และกลิ่นมะม่วงมหาชนกเริ่มร่อยลง ในการศึกษาลวดช่องที่ผ่านการเอ็กซ์ทรูชัน โดยการตรวจลักษณะเนื้อสัมผัสของลวดช่องเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าค่าความแข็งและค่าการเคี้ยวได้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว และแข็ง สามารถปรับปรุงโดยการเพิ่มปริมาณน้ำและศึกษาเพิ่มเติมในการหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อพัฒนาลวดช่องมะม่วงมหาชนกให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะลวดช่องตามท้องตลาด

2. สีเส้นลวดช่องมะม่วงมหาชนกที่ผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีลักษณะสีเหลืองอมเขียว สีไม่สว่างไม่เป็นที่น่ารับประทาน สามารถพัฒนาโดยการเติมสารที่ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงวนไวสำหรับกรเซงานเพอกรศกรศกษาทนน เมอนุญตหนาเปเชประยชนด้นการค้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กิตติ สุวรรณบรรดิษฐ์. 2559. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดช่องโหว่จากแป้งข้าวกล้องสังข์หยด. คหกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- กมลวรรณ แจ่มชัด. 2541. การแปรรูปอาหารโดยวิธีเอกซ์ทรูชัน. อุตสาหกรรมเกษตร. 9 (2): 4-8.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ณัฐพล กระจำง. 2560. การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยบูรพา
- ณรงค์ นิยมวิทย์ และอัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535.
- ธนากร รติธรรมธร. 2559. ผลของการให้ความร้อนและการทำให้เย็น ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการย่อยของแป้ง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา (วิทย์.) 247-249.
- ธีระรัตน์ ชนแสน และคณะ. 2563. การผลิตมะม่วงมหาชนกเพื่อการส่งออกตลาดญี่ปุ่น: กรณีศึกษาบ้านหนองบัวชุม ตำบลหนองหิน อำเภอหนองกุงศรี จังหวัดกาฬสินธุ์. Thai Journal of East Asian Studies. 24(42)
- ชญานุภรณ์ ศิริเลิศ. 2550. การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร. 3:6-12
- น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2548. การพัฒนาคุณภาพอาหารไทยลดช่องโหว่ของกระดิ่ง. ปรัชญาดุสิตบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
- นุชนาถ จิตโสภา และคณะ. 2547. ผลิตภัณฑ์มะม่วง. (12-14). กรมส่งเสริมการเกษตร สำนักพัฒนาเกษตรกร ส่วนส่งเสริมวิสาหกิจเกษตรชุมชน กลุ่มงานส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์เกษตร. <https://www.arda.or.th/datas/file/1473755018.pdf>
- บุษญา พัตรา. 2559. ผลของพันธุ์ข้าวต่อสมบัติของแผ่นแป้ง. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ประชา บุญญสิริกุล. 2537. บทบาทของเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีต่ออุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย. อาหาร. 26: 235-248.
- พัชรี เฉลิมแสน และ อาทิตย์ คิตนอก. 2559. การทำเส้นขนมจีน. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- พัชรวีร์ ลียะวงนิช. 2563. การลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในมะม่วงน้ำดอกไม้ดิบตัดแต่งโดยการประยุกต์ใช้ซิสเตอีนร่วมกับเทคนิคการเคลือบผิว. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารหรือการนำใบพิมพ์เพื่อเผยแพร่. ม.ป.ป. Water activity / แอคติวิตีของน้ำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity-%E0%B9%81%E0%B8%AD%E0%B8%84%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%B5%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3>. 10 พฤษภาคม 2566

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ม.ป.ป. Enzymatic browning reaction / ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0679/enzymatic-browning-reaction-%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B4%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A7%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%8B%E0%B8%A1%E0%B9%8C>. 10 พฤษภาคม 2566

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ม.ป.ป. Dried food / อาหารแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1327/dried-food-%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%87>. 10 พฤษภาคม 2566

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ม.ป.ป. Extruder / เอ็กซ์ทรูเดอร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0689/extruder-%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%8B%E0%B9%8C%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C>. 10 พฤษภาคม 2566

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ม.ป.ป. Toughness / ความเหนียว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2719/toughness-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A7>. 10 พฤษภาคม 2566

วัชร เทพโยธิน. 2554. ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม สมบัติทางเคมีกายภาพ และอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของน้ำมะม่วงมหาชนกผง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วิไล รังสาดทอง. (2547). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

- วัชร เทพโยธิน และคณะ. ม.ป.ป. การยอมรับของผู้บริโภคและคุณภาพของน้ำมะม่วงมหาชนกพร้อมดื่ม. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 5: 134
- ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2546. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์อาหาร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.phtnet.org/2003/09/26/>. 10 พฤษภาคม 2566
- สุนทรี เจริญพร. 2555. ข้าวขึ้นรูปโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน.วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
สุนันทา ทองทา และ ธนาวิทย์ กุศลรัตนรักษ์. 2556. การผลิตสตาร์ชซีเตรทหน่ยต่อเอนไซม์. รายงานการวิจัย.สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- สุทธิณี สีสังข์ และคณะ. 2563. การพัฒนาคุณภาพของบะหมี่ปลากิ่งสำเร็จรูปจากปลานิล. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 4/2563. กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.(12)
- อัญญาวีร์ ปาจริกุล. 2558. การใช้การพาสเจอร์ไรส์เพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำยาง. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- Garcia-Valle, D. E., Agama-Acevedo, E., Nuñez-Santiago, M. d. C., Alvarez-Ramirez, J., & Bello-Pérez, L. A. (2021). Extrusion pregelatinization improves texture, viscoelasticity and in vitro starch digestibility of mango and amaranth flours. *Journal of Functional Foods*, 80, 104441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104441>
- Devlieghere, F., Vermeulen, A., and Debevere, J. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *FOOD MICROBIOLOGY*. ACADEMIC PRESS LTD ELSEVIER SCIENCE LTD., 2004.
- Donald, A.M., Waigh, T.A., Jenkins, P.J., Gidley, M.J., Debet, M., & Smith, A. (1997). Internal structure of starch granules revealed by scattering studies. *The royal society of chemistry* (pp.173-179), United Kingdom: Cambridge University Press.
- Gibson,T.S., Solah, V. A., & McCleary, B.V. (1997). A procedure to measure amylase in cereal starches and flour with concanavalin. *Cereal Science*, 25(2), 111-119.
- Harper, J.M. (1981). *Biotechnology and Food process engineering*. Institute of Food Technologists, International Union of Food Science and Technology
- Oates, C.G. (1996). Physical modification of starch. In advanced post academic course on tapioca starch technology (pp.19-23).
- Srinivasan, M., Singh, H., and Munro, P. A., “Formation and stability of sodium caseinate emulsions: Influence of retorting (121 degree C for 15 min) before or after emulsification.” *Food Hydrocolloids*, 16 (2002): 153-160

- Srirot, K., & Piyachomkwan, K. (2003). Technology of starch (3th Ed.). Bangkok: Kasetsart University.
- Takahashi,S., & Seib, P.A. (1988). Pasted and gel properties of prime corn and wheat starches with and without native lipids. Cereal Chemistry, 65, 474-483.
- Tester, R.F. (1997). Starch: the polysaccharides fractions. The Royal Society of Chemistry (pp. 163-171). London: United Kingdom.
- Ven, C., Courvoisier, C., and Master, A. “High pressure versus heat treatment for pasteurization and sterilization of model emulsions.” Innovative Food Science and Emerging Technologies, 8 (2007): 230-236.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนก

#### ก.1 การเตรียมน้ำมะม่วงมหาชนก

1. นำเนื้อมะม่วงมหาชนกจากอำเภอหนองกุ้งศรี จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่ผ่านการปอกเปลือก มาบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 2-3 นาที เพื่อให้ได้น้ำมะม่วงมหาชนกมาใช้ในการผลิตลอดช่องมะม่วงมหาชนก



ภาพที่ ก.1.1 น้ำมะม่วงมหาชนก

2. นำน้ำมะม่วงมหาชนกตรวจวิเคราะห์คุณภาพได้แก่ การวัดค่าความหวาน การวัดค่าสี
3. นำน้ำมะม่วงมหาชนกมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเส้นใยอาหาร

#### ก.2 การผลิตผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

1. นำแป้งข้าวเจ้าใส่ลงในหม้อเติมน้ำมะม่วงมหาชนกและน้ำปูนใสลงในหม้อ คนให้เข้ากัน



ภาพที่ ก.2.1 น้ำแป้งลอดช่องน้ำมะม่วงมหาชนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้ข้อมูลนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำขึ้นเตาแก๊ส ตั้งไฟไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส กวนต่อเนื่องเป็นเวลา 20 นาที



ภาพที่ ก.2.2 กวนแป้งลอดช่องมะม่วงมหาชนกเป็นเวลา 20 นาที

3. เมื่อแป้งสุก นำแป้งที่ได้เทผ่านแม่พิมพ์และกดให้แป้งลงในน้ำเย็น จากนั้นพักทิ้งไว้ 10 นาที



ภาพที่ ก.2.3 กดลอดช่องมะม่วงมหาชนกผ่านแม่พิมพ์ลงในน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 การผลิตผลิตภัณฑ์ลอดช่องมะม่วงมหาชนกด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

1. นำแป้งข้าวเจ้าผสมกับน้ำมะม่วงมหาชนก



ภาพที่ ก.3.1 แป้งข้าวเจ้าผสมกับเพียวแรมะม่วงมหาชนก

2. คนให้ส่วนผสมเข้ากัน



ภาพที่ ก.3.2 แป้งลอดช่องมะม่วงมหาชนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาพที่ ก.3.6 ตู้อบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ



ภาพที่ ข.1 เครื่องวัดค่าความหวาน (Brix Refractometer)



ภาพที่ ข.2 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer & Colormeter)



ภาพที่ ข.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.4 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)



ภาพที่ ข.5 เครื่องวัดปริมาณความชื้น (Halogen Moisture Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

## ค.1 แบบประเมินผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก

วันที่.....

ชื่อ..... เพศ  ชาย  หญิง  อื่นๆ อายุ.....ปี

ข้าพเจ้าให้ความยินยอมในการประเมินทางประสาทสัมผัส และยินยอมให้ผู้วิจัยนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดช่องมะม่วงมหาชนก

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอให้ จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบตัวอย่างในแต่ละปัจจัยที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านให้ได้มากที่สุด ตามเกณฑ์การให้คะแนน ตั้งแต่ 1-9 ดังนี้ 9 = ชอบมากที่สุด, 8 = ชอบมาก, 7 = ชอบปานกลาง, 6 = ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 2 = ไม่ชอบมาก, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

ปัจจัย

คะแนนการยอมรับ

รหัส

สี

รูปร่าง

กลิ่น

เนื้อสัมผัส

รสชาติ

ความนุ่ม

ความเหนียว

ความชอบโดยรวม

ข้อคิดเห็น .....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	จิรวัดณ์ จุลสำรวล
วัน เดือน ปี เกิด	10 ธันวาคม 2543
สถานที่เกิด	ฉะเชิงเทรา
ที่อยู่ปัจจุบัน	855 ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000
ประวัติการศึกษา	ในปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมต้นจากโรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา ในปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา เข้าศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อ-นามสกุล	ญาณพร ทิพยมณฑล
วัน เดือน ปี เกิด	14 พฤศจิกายน 2543
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	677 ทอพัก 2 Son ถนนฉลองกรุง 1 แยก 6 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
ประวัติการศึกษา	ในปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมต้นจากโรงเรียนสายน้ำผึ้ง ในพระอุปถัมภ์ฯ ในปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสายน้ำผึ้ง ในพระอุปถัมภ์ฯ เข้าศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้