



การพัฒนาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก
(Development of semi-instant flour from ripen
fresh pulp of Palmyra pulp fruit)

ผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินตนา วิบูลย์ศิริกุล

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปี พ.ศ. 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทคัดย่อ

การพัฒนาแปงกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

จินตนา วิบูลย์ศิริกุล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อตาลสุกสำหรับการผลิตแปงกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก เพื่อหาวิธีการลดความชื้นในเนื้อตาลสุกสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อตาลสุก และเพื่อพัฒนาสูตรแปงกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่เนื้อตาลสุก เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อตาลสุก คือ 8 นาที วิธีที่เหมาะสมในการลดความชื้นในเนื้อตาลสุก คือ การทำแห้งแช่แข็งนาน 6 ชั่วโมง โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อตาลสุกน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเนื้อตาลสุกแห้งที่ได้ไม่สามารถเก็บรักษาได้หลายอาทิตย์เนื่องจากเกิดสีซีดจางของสีเหลืองส้มเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและในที่เย็น เมื่อนำเนื้อตาลสุกมาพัฒนาสูตรแปงกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก โดยแปรผันปริมาณเนื้อตาลสุกกับแป้งผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 3:2 โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะต่าง ๆ กับแปงกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่ไม่มีเนื้อตาลสุก ซึ่งพบว่าแปงกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการใช้เนื้อตาลสุก 40 กรัม แป้งผสม 60 กรัม และน้ำอุ่น 65 มิลลิลิตร มีความเหมาะสมในการผลิตมากที่สุด และได้รับคะแนนความชอบทางคุณลักษณะประสาทสัมผัสระดับชอบเล็กน้อย นอกจากนี้แปงกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกยังมีความชื้นและค่าน้ำอิสระต่ำ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน เมื่อนำมาคั้นตัวในน้ำจะพบว่าสามารถคั้นตัวได้เท่ากับแปงกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน คั้นตัวได้ไวกว่า แต่มีลักษณะทางเนื้อสัมผัสแข็งและความเหนียวติดน้อยกว่า มีค่าการยึดติดกันสูงกว่าแปงกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน มีปริมาณแคโรทีนอยด์ประมาณ 25.85 ไมโครกรัมเทียบเท่า β -carotene /กรัม-ตัวอย่าง เมื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเมื่อเก็บรักษานาน 45 วัน ในช่องลามิเนทในที่สว่าง ปริมาณแคโรทีนอยด์ในแปงกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกลดลง แต่ความชื้นและค่าน้ำอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

คำสำคัญ: เนื้อตาลสุก แปงกึ่งสำเร็จรูป แคโรทีนอยด์

Abstract

Development of semi-instant flour from ripen fresh pulp of Palmyra palm fruit

Jintana Wiboonsirikul

This research was aimed to study quality of Palmyra palm pulp for semi-instant flour, to reduce moisture from the palm pulp for extending its shelf-life, and to formulate semi-instant flour from the palm pulp. The fruit pulp was subjected to steaming for 8 min to inhibit enzymes and microorganism activities. The method to remove moisture in the fruit pulp was freeze-drying for 6 h with a little change in quality. However, the yellow-orange color of dried fruit pulp was exposed to discoloration when it was kept at the ambient temperature or in refrigerator for several weeks. Various contents of fruit pulp were mixed with the mixture of rice and cassava flour at the ratio of 3:2 to develop the semi-instant flour. The characteristics of semi-instant flour from fruit pulp were compared with the one without the fruit pulp as the control. The suitable formulation for production of the semi-instant flour from the fruit pulp was contained 40 g of fruit pulp, 60 g of mixed flour, and 65 mL of warm water with liking score of preference test. The moisture content and water activity of the semi-instant flour from the fruit pulp were low, which led to shelf-stable for several months. The semi-instant flour was reconstituted in equal volume to the control but taking shorter time. Its texture of the reconstituted flour was lower hardness and stickiness but higher adhesiveness than the control. The carotenoid content in the semi-instant flour was 25.85 $\mu\text{g-}\beta\text{-carotene equivalent/g-flour}$. The semi-instant flour was kept in laminated polymer pouch (nylon/aluminum foil/polyester with exposure to light from sunlight for 45 days with lower carotenoid content and little higher moisture content and water activity.

Key words: ripen Palmyra palm pulp, semi-instant flour, carotenoid

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้การสนับสนุนและจัดการทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สำหรับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อตาลสุกและผลิตแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

จินตนา วิบูลย์ศิริกุล

ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(2)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญ.....	(5)
สารบัญภาพ.....	(7)
สารบัญตาราง.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
นิยามศัพท์.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
เนื้ตาลสุก.....	5
สารประกอบแคโรทีนอยด์.....	9
แป้ง.....	10
การอบแห้ง.....	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	23
วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	23
วิธีดำเนินงานวิจัย.....	26
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้ตาลสุก.....	35
ผลการศึกษาวิธีการลดความชื้นในเนื้ตาลสุก.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลการพัฒนาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	44
ผลการประเมินอายุการเก็บรักษาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	55
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	61
วัตถุประสงค์และวิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป.....	59
ผลการวิจัย.....	62
อภิปรายผลการวิจัย.....	64
ข้อเสนอแนะ.....	70
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	75
ประวัติผู้วิจัย.....	81
หลักฐานการเผยแพร่ผลงานวิจัย.....	84

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของต้นตาลโตนดและทะลายตาลโตนด.....	5
2.2 ลักษณะผลตาลโตนด.....	7
2.3 ลักษณะเนื้อตาลสุกที่แยกจากผลตาลโตนด.....	8
2.4 โมเดลขอบเขตคริสตัลไลน์ในเม็ดสตาร์ช.....	13
2.5 กระบวนการเกิดเจลลาทีโนเซชัน.....	16
2.6 กลไกการกำจัดน้ำโดยการอบแห้ง.....	18
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและเวลาในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ จากเนื้อตาลสุก.....	36
4.2 ลักษณะปรากฏของเนื้อตาลสุกที่ผ่านและไม่ผ่านการนึ่ง.....	36
4.3 เนื้อตาลสุกก่อนอบแห้ง.....	40
4.4 เนื้อตาลสุกหลังอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 4 ชั่วโมง.....	41
4.5 เนื้อตาลสุกแห้งด้วยวิธีทำแห้งแช่แข็ง.....	42
4.6 เนื้อตาลสุกผสมวัสดุช่วยอบแห้ง.....	43
4.7 เนื้อตาลสุกผสมวัสดุช่วยอบแห้งหลังเก็บรักษานาน 1 เดือน.....	44
4.8 ลักษณะปรากฏของผงแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	46
4.9 ลักษณะปรากฏของเส้นแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	46
4.10 ลักษณะปรากฏของเส้นแป้งผสมเนื้อตาลสุกในปริมาณต่าง ๆ.....	51
4.11 ลักษณะปรากฏของเส้นแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกหลังเก็บรักษา.....	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ปริมาณองค์ประกอบของแป้งกึ่งสำเร็จรูปที่มีปริมาณเนื้อตาลสุกแตกต่างกัน.....	29
4.1 ผลของระยะเวลาในการนึ่งต่อค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ปริมาณ แคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกและค่าสีของเนื้อตาลสุก.....	37
4.2 องค์ประกอบโดยประมาณในเนื้อตาลสุกนึ่งนาน 8 นาที.....	39
4.3 ปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านและไม่ผ่านการนึ่ง.....	39
4.4 องค์ประกอบของแผ่นแป้งเนื้อตาลสุก.....	45
4.5 คุณสมบัติของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูประหว่างการทำแห้งและการคืนตัว.....	47
4.6 ค่าน้ำอิสระ ความชื้นและปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูป จากเนื้อตาลสุก.....	48
4.7 ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่มีปริมาณ เนื้อตาลสุกแตกต่างกัน.....	49
4.8 ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* และค่าโครมาของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนตัว...	51
4.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกหลังการคืนตัว.....	52
4.10 ปริมาณจุลินทรีย์ในเส้นแป้งเนื้อตาลสุกหลังการคืนตัว.....	53
4.11 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของ เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนตัว.....	54
4.12 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าความชื้น ของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน.....	55
4.13 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าความชื้นของ เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	56
4.14 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าน้ำอิสระ ของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน.....	57
4.15 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าน้ำอิสระ เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าความสว่าง และค่า chroma ของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแป้ง กึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	59
4.17 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อปริมาณ แคโรทีนอยด์ของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก.....	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ตาลโตนดเป็นต้นไม้ที่มีมากในจังหวัดเพชรบุรีและหลายจังหวัดอื่นในประเทศไทย มีการนำผลผลิตจากตาลโตนดมาใช้ในการทำอาหาร ปลุกสร้างที่อยู่อาศัย ของใช้ต่าง ๆ เป็นต้น ผลตาลโตนดมีเนื้อสีเหลือง กลิ่นรสเฉพาะ ซึ่งนิยมนำมาทำขนมหรือผสมกับอาหารชนิดอื่น เพื่อช่วยเพิ่มรสชาติและสีสันทให้กับอาหาร เกษตรกรหลายพันครัวเรือนในจังหวัดเพชรบุรีรวมทั้งจังหวัดอื่นที่มีการทำนา มักใช้ช่วงเวลาที่ว่างจากการทำนา นำผลผลิตจากตาลโตนดมาจำหน่าย เพื่อช่วยเพิ่มรายได้นอกฤดูทำนา และมีเกษตรกรหลายครัวเรือนยึดอาชีพการขายผลผลิตจากตาลโตนดเป็นอาชีพหลัก (จินตนา วิบูลย์ศิริกุล, 2557)

เนื้อตาลสุกที่แยกได้จากผลตาลมักมีอายุการเก็บรักษาสั้นมากเพียงแค่ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และมีอายุการเก็บรักษาเพียง 1 อาทิตย์ในตู้เย็น (จินตนา วิบูลย์ศิริกุล, 2557) ดังนั้นจึงเป็นอุปสรรคในการผลิตและขายเป็นจำนวนมาก การยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อตาลสุกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การแช่เย็น การแช่แข็ง ผู้บริโภคที่ซื้อเนื้อตาลสุกจากตลาดจะนำมาผสมกับส่วนผสมอื่นในอาหาร เช่น น้ำตาล แป้งข้าวเจ้าและกะทิ เพื่อทำอาหารทั้งคาวและหวาน เช่น ขนม เค้ก เป็นต้น อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องหลายชนิด โดยเฉพาะยีสต์และแบคทีเรียที่ปนเปื้อนมาตามธรรมชาติในเนื้อตาลสุกหรือระหว่างการยีสตาล ทำให้เกิดกระบวนการหมักเร็วขึ้น มีส่วนทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะของเนื้อตาลสุกและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อตาลสุก รวมทั้งผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เนื้อตาลสุกที่ได้พัฒนากลิ่นรสอย่างเหมาะสมที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์อื่น แต่ทำให้เนื้อตาลมีอายุการเก็บรักษาสั้นลงด้วย (มนัสนันท์ บุญทราพงษ์, 2544: 4-6) ดังนั้นการนำเนื้อตาลสุกไปใช้ต้องคำนึงถึงเวลาในการบ่มเนื้อตาลสุกอย่างเหมาะสมด้วย เพื่อให้ได้อาหารที่ทำจากเนื้อตาลสุกที่มีกลิ่นรสดีที่สุด หลังจากบ่มเนื้อตาลสุกในเวลาที่เหมาะสมแล้ว ต้องหาวิธีที่เหมาะสมเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ที่เหมาะสม ที่ไม่ทำให้เนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของเนื้อตาลสุกสูญเสียไป วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ คือ การลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ และทำเป็นผงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ต่อไป

การลดความชื้นเนื้อตาลสุกโดยการทำแห้งช่วยชะลอการเสื่อมเสียของเนื้อตาลสุกจากการเจริญของจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากทำให้ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตีของเนื้อตาลสุกลดลงจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามเนื้อตาลสุกมีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด ทำให้ยากในการทำแห้งด้วยการตากแดดหรือการอบลมร้อน ต้องใช้วิธีการลดความชื้นวิธีอื่น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อตาลสุกทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์
- (2) เพื่อศึกษาวิธีการลดความชื้นในเนื้อตาลสุก
- (3) เพื่อพัฒนาสูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก
- (4) เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้มีขอบเขตในการวิจัยดังนี้

1.3.1 สถานที่ทำวิจัย

ในการวิจัยนี้ดำเนินงานวิจัยที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

1.3.2 สถานที่เก็บตัวอย่าง

ดำเนินการเก็บตัวอย่างเนื้อตาลสุกในจังหวัดเพชรบุรี และแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

1.3.3 วิธีการสกัดสารแคโรทีนอยด์และกระบวนการผลิตแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

- (1) ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนและอะซีโตน อัตราส่วน 1:1 เพื่อสกัดแคโรทีนอยด์และไขมันหยาบ
- (2) แป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ได้จากการผสมแป้งข้าวซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักกับเนื้อตาลสุก และผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง

1.3.4 วิธีการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกและแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

- (1) วิธีการให้ความร้อนเนื้อตาลสุก โดยการนึ่งด้วยไอน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ
- (2) วิธีการลดความชื้นโดยการอบแห้ง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการใช้วัสดุช่วยทำแห้ง
- (3) ใช้วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารเบต้า-แคโรทีน

1.3.5 การเก็บข้อมูลจากเนื้อตาลสุกและแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

1.3.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือ เนื้อตาลสุกในจังหวัดเพชรบุรี และสุ่มตัวอย่างจากเนื้อตาลสุกที่ขายในท้องตลาด

กลุ่มตัวอย่าง คือ เนื้อตาลสุกที่นำมาใช้ และแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่ผลิตขึ้น

1.3.5.2 ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

ตัวแปรอิสระ คือ เนื้อตาลสุกไม่นึ่ง เนื้อตาลสุกนึ่งด้วยระยะเวลาต่าง ๆ แบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่มีปริมาณต่าง ๆ ของเนื้อตาลสุก

ตัวแปรตาม คือ ค่าการดูดกลืนแสง ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน สตาร์ช แล้วยังมีแคโรทีนอยด์ อัตราการทำแห้ง อัตราส่วนการทำแห้ง สัมประสิทธิ์การทำแห้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) ได้แบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก
- (2) ทราบวิธีการเก็บรักษาแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เหมาะสม
- (3) ทราบวิธีการลดความชื้นจากเนื้อตาลสุก เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

1.5 นิยามศัพท์

- (1) เนื้อตาลสุก คือ เนื้อของผลตาลสุกที่ได้จากกระบวนการยีสตาล
- (2) การนึ่ง คือ การผ่านไอน้ำเดือดสู่อาหาร
- (3) การอบแห้งด้วยลมร้อน คือ การทำให้อากาศร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิหนึ่งและพาสู่อาหารเพื่อระเหยน้ำออกจากอาหาร
- (4) การทำแห้งแช่เยือกแข็ง คือ การแช่แข็งอาหารแล้วนำไประเหิดน้ำในอาหารด้วยเครื่องทำแห้งแช่เยือกแข็ง (freeze-drier)
- (5) วัสดุช่วยอบแห้ง คือ สารพอลิเมอร์ที่สามารถดูดซับความชื้นจากสารประกอบภายนอกวัสดุช่วยอบแห้ง ทำให้สารประกอบภายนอกมีสภาพแห้งมากขึ้น แต่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารประกอบภายนอกนั้น
- (6) แป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก เป็นแป้งผสมระหว่างแป้งข้าว แป้งมันสำปะหลังและเนื้อตาลสุกผสมกับน้ำแล้วทำให้เกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน และรีโทรเกรเดชัน แล้วกำจัดน้ำออกจากแป้งผสม

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เนื้อตาลสุก

2.1.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของตาล ตาลโตนดเป็นพืชในตระกูลปาล์ม (Plamaceae) อยู่ในตระกูลเดียวกับมะพร้าว ชิด สละ สาคุ ระกำ และอินทผลัม มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียและกลุ่มประเทศในแหลมมลายู มีชื่อสามัญว่า Palmyra palm และชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabelifer* Linn. ในประเทศไทยมีชื่อเรียกหลายชื่อตามที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ เช่น ต้นตาล (ภาคกลาง) ตาลโตนด ต้นโหนด (ภาคใต้) ปอเกาะตา (จังหวัดยะลา ปัตตานี) เป็นต้น (ปิฎฐะ บุนนาค, 2524; สะอาด บุญเกิด และคณะ, 2525; สมยศ พุ่มหว่า, 2527 อ้างถึงใน บุญยกฤต รัตนพันธุ์, 2545: 3)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของต้นตาลโตนดและทะลายตาลโตนด

ที่มา : ลาวรรณ บัวสาย, 2551, น.4

ลักษณะทั่วไปของต้นตาลโตนด ดังภาพที่ 2.1 จะมีลำต้นสูงคล้ายต้นมะพร้าว เปลือกลำต้นขรุขระเป็นวงซ้อนกัน มีรอยก้านเป็นวงติดลำต้น ใบมีลักษณะคล้ายพัดสีเขียวเข้ม มี 2 เพศ คือ เพศผู้และเพศเมีย ซึ่งเจริญแยกกันอยู่คนละต้นจึงเรียกว่า ตาลต้นผู้และตาลต้นเมียตามชนิดของ ดอก ช่อดอกจะแทงออกมาจากลำต้นระหว่างกาบใบ ตาลผู้มีดอกเล็กและยาวเรียวยาวคล้ายงวงช้าง ส่วน ตาลต้นเมียจะมีก้านดอกใหญ่และมีลูกติดรอบด้านซึ่งจะกลายเป็นผลต่อไป ดังภาพที่ 2.1 ก้านดอกที่มีผลติดอยู่จะเรียกว่า ทะลาย ผลตาล แต่ละต้นจะมี 4 ถึง 5 ทะลายผล แต่ละทะลายจะมี 15 ถึง 30

ผล ผลของตาลโตนดมีลักษณะกลมหรือรี มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 ถึง 20 เซนติเมตร หนักประมาณ 1 ถึง 1.5 กิโลกรัม เมื่ออ่อนเปลือกนอกมีสีเขียว ผิวเรียบ และเมื่อแก่เต็มที่มีสีส้มวงเกือบดำ ผิวเรียบ บาง เปลือกผลชั้นกลาง (mesocarp) เป็นเส้นใยสีขาวหยาบ เหนียว ยาว หุ้มด้วยเนื้อผลมีสีเหลืองส้ม มีกลิ่นหอม รับประทานได้ ในเส้นใยสีเหลืองของผลตาลสุกมีสารประกอบแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูง เนื้อผลสดมีปริมาณวิตามินเอและซีสูง นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มสเตอรอยด์และสารประกอบที่ทำให้เกิดรสขม เรียกว่า flabelliferins ซึ่งเป็นสารสเตอรอยด์ ซับพอนิน (steroidal saponins) ที่สำคัญในเนื้อตาลสุกที่ทำให้เกิดรสขม ภายในผลตาลที่มีเนื้อตาลสุกมักห่อหุ้มเมล็ดตาลไว้ 1 ถึง 3 เมล็ด (ลาวรรณ บัวสาย, 2551; ศิวพร ศิวเวช, 2529 อ้างถึงใน บุญยกฤต รัตนพันธุ์, 2545; Saranya & Poongodi Vijayakumar, 2016)

2.1.1.2 ประเภทของตาล ตาลที่พบทั่วไปในประเทศไทยมี 2 พันธุ์ ได้แก่ ตาลหม้อและตาลไข่ รวมทั้งพันธุ์ผสมระหว่างทั้งสองสายพันธุ์ ตาลทั้ง 2 พันธุ์ มีลักษณะทั่วไปเหมือนกัน ลักษณะสำคัญเป็นดังนี้ (นิตดา หงส์วิวัฒน์, 2541; ลาวรรณ บัวสาย, 2551)

(1) **ตาลไข่** มีลูกยาวรี เปลือกหนา เนื้อน้อย สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นน้อย และมีรสหวานไม่มากนัก มีขนาดเล็กกว่าตาลหม้อเล็กน้อย ผลอ่อนมีเปลือกสีเขียว เมื่อสุกจะมีสีเหลือง ภายในมี 3-4 เมล็ด เมล็ดเหล่านั้นจะฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นกลาง เมื่อผลสุกเนื้อเยื่อชนิดนี้จะอ่อนนุ่มมีกลิ่นหอมสีสดใส ขนาดของผลจะเล็กกว่าตาลหม้อ ดังภาพที่ 2.2 (ขวา)

(2) **ตาลหม้อ** มีลูกกลมป้อม เนื้อตาลมาก เปลือกบาง สีเหลืองจัด กลิ่นหอม และรสหวานเข้ม เป็นคุณสมบัติที่เด่นกว่าตาลไข่ ผลอ่อนมีเปลือกสีเขียว เมื่อสุกตาลหม้อจะมีเปลือกด้านข้างผลจนถึงหัวเป็นสีดำ บริเวณก้นมีสีเหลืองภายในมี 3 ถึง 4 เมล็ด เมล็ดเหล่านั้นจะฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นกลาง เมื่อผลสุกเนื้อเยื่อชนิดนี้จะอ่อนนุ่มมีกลิ่นหอม สีสดใส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลเฉลี่ยประมาณ 10 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2.2 (ซ้าย)



(ซ้าย)



(ขวา)

ภาพที่ 2.2 ลักษณะผลตาล (ก) ตาลหม้อ (ข) ตาลไข่

ที่มา : ลาวรรณ บัวสาย, 2551, น.5

2.1.1.3 กระบวนการสกัดเนื้อตาลออกจากผลตาลสุก เนื้อตาลสุกเกาะอยู่กับเส้นใย ผลตาลที่สีขาว การสกัดเนื้อตาลออกจากเส้นใยผลตาล อาจถูกเรียกว่า การยีตาล ทำได้ 2 วิธี ดังนี้ (ลาวรรณ บัวสาย, 2551)

(1) **วิธีที่ 1** โดยนำเอาตาลที่ปอกเปลือกแล้วมาขยำกับน้ำโดยตรง วิธีนี้ใช้น้ำ ประมาณ 3 เท่า ของน้ำหนักลูกตาล เนื้อลูกตาลสุกจะถูกสกัดออกจนหมด ให้เนื้อตาลร้อยละ 33 ถึง 40 ของน้ำหนักผล การใช้น้ำมากกว่านี้จะไม่เกิดประโยชน์แต่อย่างใด

(2) **วิธีที่ 2** จะต้องฉีกเอากากใยและเนื้อออกมาก่อนแล้วนำมาขยำกับน้ำ ประมาณ 5 เท่า ของน้ำหนักลูกตาล ให้เนื้อตาลร้อยละ 38 ถึง 43 ของน้ำหนักผล วิธีนี้สกัดออกได้ง่าย กว่า ปริมาณเนื้อจึงมากกว่า เนื้อตาลที่สกัดออกมาได้จะต้องผ่านตะแกรงเพื่อแยกกากใยและเศษผงออก ให้หมด ส่วนน้ำสีเหลืองที่ได้ไหลลงบนผ้าขาวบางหรือใส่ถุงผ้าขาวนวลไว้จนกว่าจะสะเด็ดน้ำ เป็นการแยก เนื้อตาลออกจากน้ำเพื่อกำจัดความขม และยังเป็นการหมักจากเชื้อยีสต์ตามธรรมชาติในเนื้อตาล เช่น *Candida krusei*, *Saccharomyces* spp., และ *Kloeckera apiculata* ผลการวิเคราะห์พบว่า เนื้อตาลที่สะเด็ดน้ำแล้วมีค่า pH ระหว่าง 5.0 ถึง 6.0 และน้ำตาลซูโครส 3.5 บริกซ์ นอกจากนี้ยังพบว่า มีไขมัน และกรดด้วย (ลาวรรณ บัวสาย, 2551) ลักษณะของเนื้อตาลสุกที่แยกได้ดังภาพที่ 2.3

ปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดการนำเนื้อตาลสุกไปใช้ประโยชน์ได้น้อย คือการสกัด เนื้อตาลสุกจากเส้นใยของผลตาลและรสม กระบวนการกำจัดรสมมีความสำคัญต่อการนำเนื้อตาลสุก ไปใช้ประโยชน์ วิธีการดั้งเดิมเช่น การให้ความร้อนผลตาลด้วยถ่านร้อน (hot coals) หรือการใช้ เอนไซม์ที่ทนความร้อน (heat stable enzymes) เพื่อลดความขม (Saranya & Poongodi Vijayakumar, 2016)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของเนื้อมันจากผลตาลโตนด

ที่มา : ลาวรรณ บัวสาย, 2551, น. 6

2.1.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมันจากผลตาลโตนด เนื้อมันจากผลตาลโตนดแต่ละท้องถิ่น สายพันธุ์ และระยะสุกแตกต่างกันจะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน องค์ประกอบโดยประมาณของเนื้อมันจากผลตาลโตนด ประกอบด้วยความชื้นประมาณ 75 ถึง 80% โปรตีน 2.7 ถึง 2.8% ไขมัน 0.2 ถึง 1.1% คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 18 ถึง 20% ซึ่งรวมน้ำตาล สตาร์ชและพอลิแซคคาไรด์อื่น ๆ อาจมีเถ้า 4 ถึง 5% (Jansz, Wickremasekara, Sumuduni, 2002)

กรดอะมิโนอิสระที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อมันจากผลตาลโตนดมีประมาณ 0.4% ซึ่งประกอบด้วยไลซีน แอสพาเทท กลูตาเมทและฟีนอลอะลานีน เป็นกรดอะมิโนหลัก กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของลิพิด ได้แก่ โอเลอิก พาร์มิเททและลิโนเลอิก เป็นกรดไขมันหลักในไขมันของเนื้อมันจากผลตาลโตนด สารประกอบสเตอรอลอิสระ มีประมาณ 0.3% รวมทั้งมีสารซัพพอนินประมาณ 0.15 ถึง 0.4 มิลลิกรัมต่อเนื้อมันจากผลตาลโตนด 100 กรัม (Jansz, Wickremasekara, Sumuduni, 2002)

คาร์โบไฮเดรตในเนื้อมันจากผลตาลโตนดมีหลายชนิด คาร์โบไฮเดรตที่สามารถย่อยได้และเป็นองค์ประกอบสำคัญ คือน้ำตาล ได้แก่ ซูโครส กลูโคสและฟรุกโทส ซึ่งมีอยู่ประมาณ 9 ถึง 13% รวมทั้งน้ำตาลชนิดอื่น โอลิโกแซคคาไรด์และพอลิแซคคาไรด์อื่น อีกประมาณ 10% เช่น น้ำตาลแรมโนส เพกติน และกลูแคน เป็นต้น (Jansz, Wickremasekara, Sumuduni, 2002)

เนื้อมันจากผลตาลโตนดมีแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ในปริมาณสูง ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งในเถ้า เช่น โพแทสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นแร่ธาตุหลัก และมีเหล็ก สังกะสี แมงกานีส โครเมียม ทองแดง โคบอลต์ นิเกิล โบรอน ตะกั่ว ในปริมาณน้อย เนื้อมันจากผลตาลโตนดยังมีวิตามินอีในรูปของสารประกอบแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูง ประมาณ 2 ถึง 250 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ได้แก่ สารแอลฟา- และเบต้า-แคโรทีน (α - and β -carotene) สารเบต้า-ซีแซโรทีน (β -zeacarotene) ซึ่งเป็นโปร-วิตามินอี (pro-

vitamin A) ไลโคปีน (lycopene) และเซต้า-แคโรทีน (zeta-carotene) ซึ่งเป็นนอน-โปรวิตามินเอ (non-provitamin A) สารประกอบแคโรทีนอยด์เหล่านี้สลายตัวได้ง่าย เกิดปฏิกิริยาออกซิเจนชัน (oxygenation) ได้ง่าย (Kularatnam, 1971 อ้างถึงใน บุญยกุล ต รัตน์พันธุ์, 2545; Jansz, Wickremasekara, Sumuduni, 2002)

2.1.2 สารประกอบแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) ถือเป็นรงควัตถุที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ของพืช ในธรรมชาติจะพบว่าแคโรทีนอยด์จะอยู่รวมกับคลอโรฟิลล์ เพื่อเพิ่มความเสถียรในรูป pigment-protein complex ภายในคลอโรพลาสต์ โดยเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 40 อะตอม สูตรโครงสร้างพื้นฐานของแคโรทีนอยด์ จัดเป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์พรีน (terpene group) เกิดจากหมู่ไอโซพรีน 8 หน่วย ซึ่งเป็นสารประกอบแอลคีน (alkene) ที่มีพันธะคู่จำนวนมากในโมเลกุลมาเรียงต่อกันเป็นสายยาว มีลักษณะที่สำคัญ คือ 2 พันธะคู่จะถูกแบ่งโดยพันธะเดี่ยว และมีการเชื่อมต่อกับหมู่เมทิลโดยการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีน สารกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามโครงสร้างเคมีเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน (Hydrocarbon carotene) เป็นกลุ่มที่โครงสร้างภายในโมเลกุลของแคโรทีนประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจนอะตอมเท่านั้น เช่น เบต้าแคโรทีน ลูเทอิน และไลโคปีน เป็นต้น กลุ่มออกซิเจนเตตแซนโทฟิลล์ (Oxygenated xanthophylls) เป็นกลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ประกอบด้วยออกซิเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล ได้แก่ แซนโทฟิลล์ ซีแซนทิน (zeaxanthin) ที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของไฮดรอกซิลและสไปลิลโลแซนทิน (spililloxanthin) เป็นต้น การสลายตัวของแคโรทีนอยด์ขึ้นกับปัจจัยดังนี้ (ชยานนท์ ธีระเจตกุล, 2550)

2.1.2.1 ออกซิเจน เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบทางตรง (direct oxidation) เกิดขึ้นเมื่อ แคโรทีนอยด์สัมผัสกับอากาศ ตำแหน่งพันธะคู่ในโครงสร้างของโมเลกุลจะไปจับกับออกซิเจน เกิดเป็นสารสีน้ำตาลของไฮโดรเพอรอกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิล และสารระเหยอื่น ๆ โดยอัตราการสูญเสียแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนแล้วความเข้มของแสง อุณหภูมิ และความชื้น ก็เป็นปัจจัยร่วมในการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.1.2.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบทางอ้อม (indirect oxidation) เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสามารถรวมตัวกับออกซิเจน และทำให้สารประกอบแคโรทีนอยด์ถูกออกซิไดส์ด้วย แต่สามารถป้องกันได้จากการใช้กรดไขมันชนิดอิ่มตัวผสมกับสารแคโรทีนอยด์

2.1.2.3 ไอออนของโลหะ หากในผลิตภัณฑ์ที่มีแคโรทีนอยด์มีองค์ประกอบของไอออนโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวรวมอยู่ด้วยพบว่าการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ ยิ่งรวดเร็วขึ้น เช่น ในมะเขือเทศ พบว่า หากมีโลหะทองแดง ภายในส่วนประกอบ ผลิตภัณฑ์จะมีการเสื่อมสลายของไลโคพีนจะเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.5 เท่า เนื่องจากโลหะทองแดงเป็นตัวเร่งการเกิดอนุมูลอิสระได้ดี

2.1.2.4 แสงสว่าง ปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากแสงสว่างเป็นตัวเร่ง มีปริมาณออกซิเจน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้อง โดยจะสามารถสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติ ทั้งนี้สามารถแก้ไขได้โดยการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่ทึบแสง

2.1.2.5 เอนไซม์ การเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากเอนไซม์ เป็นผลมาจากภายในเซลล์แคโรทีนอยด์จะอยู่ในรูปซึ่งพันธะเชิงซ้อนอยู่กับโมเลกุลของโปรตีน โดยเอนไซม์หลักที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันมีอยู่ 3 ชนิดคือ เพอรอกซิเดส (peroxidase) หรือ POD เป็นเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแคโรทีนอยด์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เอนไซม์นี้จะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอากาศทำให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งจะเขาทำ ปฏิกิริยากับแคโรทีนอยด์ ทำให้แคโรทีนอยด์ลดลงและเอนไซม์ลิพوپeroxidase (lipoperoxidase) จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสลายของสารแคโรทีนอยด์ ซึ่งเกิดต่อเนื่องมาจากสารเพอรอกไซด์ ที่ได้จากการออกซิเดชันโดยอาศัยเอนไซม์ลิพอกซิเดส

2.1.2.6 น้ำ เป็นส่วนประกอบที่ช่วยในกิจกรรมของเอนไซม์ โดยพบว่า หากมีการลดปริมาณน้ำลง จะทำให้เอนไซม์ทำงานได้ลดลง เนื่องจากสารตั้งต้นสามารถเคลื่อนที่ได้น้อย และไม่สามารถแพร่ไปยังตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ หากกำจัดน้ำออกไปหมดจะทำให้ผิวของตัวอย่างสัมผัสกับอากาศโดยตรง จะทำให้แคโรทีนอยด์สามารถเกิดออกซิเดชันด้วยอากาศได้มากขึ้น (ชยานนท์ ธีระเจตกุล, 2550)

2.1.3 แป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตในพืชที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ มักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงหรือทำให้เกิดคุณสมบัติของอาหารที่ต้องการ เช่น ทำให้เกิดเจล ใช้ใน

การควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสต่าง ๆ ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปจากกระบวนการแปรรูป การคั้นรูป สภาวะกรด เป็นต้น แป้งที่ผลิตจากธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวโพด มักมีองค์ประกอบที่เป็นสิ่งเจือปนอื่นนอกจากคาร์โบไฮเดรต เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่น ๆ จึงเรียกแป้งที่มีองค์ประกอบอื่นนอกเหนือจากคาร์โบไฮเดรตว่า ฟลาวร์ (flour) เมื่อกำจัดสิ่งเจือปนอื่นออกจากแป้ง จนเหลือแต่คาร์โบไฮเดรตบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่จะเรียกฟลาวร์ว่า แป้งสตาร์ช เช่น corn starch, wheat starch เป็นต้น ส่วนแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทยในปัจจุบันใช้เทคโนโลยีทันสมัย จึงได้แป้งมันสำปะหลังที่มีความบริสุทธิ์สูง จึงจัดเป็นแป้งสตาร์ช (cassava starch) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 1-2)

2.1.3.1 องค์ประกอบภายในสตาร์ช เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) พอลิเมอร์กลูโคสของสตาร์ชมี 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น เรียกว่า อะไมโลส (amylose) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง เรียกว่า อะไมโลเพกทิน (amylopectin) สตาร์ชจากแหล่งที่ต่างกัน จะมีอัตราส่วนของอะไมโลสอะไมโลเพกทินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน นอกจากนี้มีสารตัวกลาง (intermediate material) เป็นส่วนประกอบด้วย

(1) **อะไมโลส** เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 200 ถึง 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิดแอลฟา-(1, 4) ($\alpha - 1,4$) ลักษณะเป็นเส้นตรง อะไมโลสละลายน้ำได้น้อย แต่เมื่อเติมน้ำลงไป อะไมโลสจะจับคู่กับอะไมโลสโมเลกุลอื่น ๆ เป็นสายยาวคูลานานเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นโครงร่างตาข่ายที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงและตกตะกอนได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 15-16)

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาหร่ายมีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 20% แป้งข้าวเหนียว (waxy starch) ไม่มีอะไมโลสเลย และแป้งข้าวโพดอะไมโลเมส (amylomaize) มีอะไมโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ระหว่าง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน และมีระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) แตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลส 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาหร่ายซึ่งมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 66-109)

อะไมโลสสามารถรวมตัวกับสารประกอบเชิงซ้อนของไอโอดีน ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนมีสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้บ่งบอกการมีอยู่ของอะไมโลส และยังรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์อื่น เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวรอบสารประกอบอินทรีย์ (Galliard และ Bowler, 1987 อ้างถึงใน กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 15)

(2) อะไมโลเพกทิน เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสสายยาวเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่งแอลฟา-(1,4) และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่งแอลฟา-(1,6) เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสั้น ๆ ตั้งแต่ 10-16 หน่วย ขนาดของอะไมโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกทินมีน้ำหนักประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส และมีอัตราการคืบตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 18)

อะไมโลเพกทินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่งเป็นสายกลุ่มเดี่ยว มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสายเชื่อมต่อแต่ละกลุ่ม ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกเม็ดแป้ง การจับกลุ่มทำให้เกิดสายเกลียวคู่ ช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยากรดและเอนไซม์ กิ่งของอะไมโลเพกทินภายในเม็ดแป้งสามารถเกิดเป็นผลึกได้ ทั้งกิ่งในกลุ่มเดียวกันและระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน อะไมโลเพกทินมีความสำคัญมากกว่าอะไมโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่และการนำไปใช้ ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพกทินอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดสตาร์ชได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 18-25)

(3) สารตัวกลาง มีปริมาณน้อยในเม็ดแป้งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน มีโครงสร้างเชิงกิ่งคล้ายอะไมโลเพกทิน ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกทิน และสารตัวกลางในเม็ดแป้งไม่คงที่ ขึ้นกับสภาพการเพาะปลูก

(4) ส่วนประกอบอื่นในเม็ดแป้ง ที่มีผลต่อสมบัติของเม็ดแป้ง ได้แก่

(4.1) ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง ได้แก่ โปรตีนและผนังเซลล์

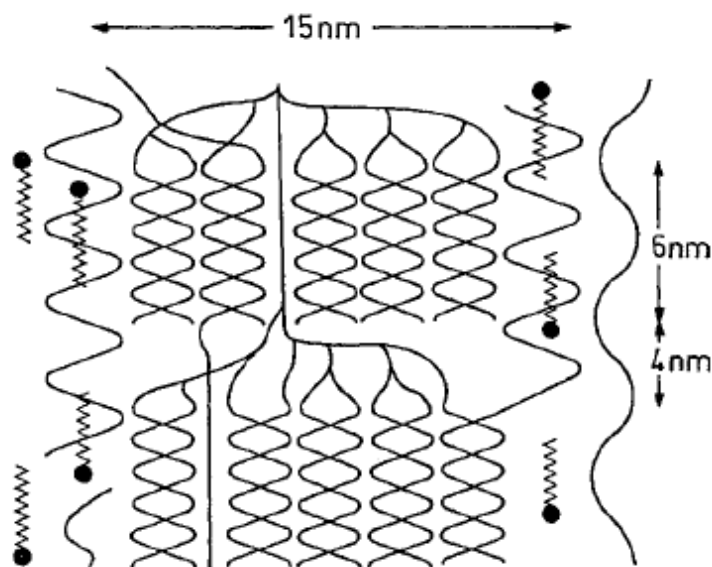
(4.2) ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะมิโลพลาสต์

(4.3) ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู

ฟอสเฟต และสารประกอบไนโตรเจน

เม็ดสตาร์ชของแป้งแต่ละชนิด โดยปกติมีอะไมโลเพกทินประมาณ 70-80% แต่ถ้าเป็นข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy maize) จะมีอะไมโลเพกทิน 100% เม็ดสตาร์ชมีลักษณะกิ่งผลึก มี

พอลิเมอร์กึ่งผลึกจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ เม็ดสตาร์ชมีลักษณะอะมอร์ฟัส (amorphous) 70% และเป็นผลึกคริสตัลไลน์ประมาณ 30% ซึ่งประกอบด้วยอะไมโลเพกทินส่วนใหญ่ โมเดลที่ใช้อธิบายการจัดเรียงตัวของโมเลกุลต่าง ๆ ในเม็ดสตาร์ชดังภาพที่ 2.4 (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009: 318-319)



ภาพที่ 2.4 โมเดลขอบเขตคริสตัลไลน์ในเม็ดสตาร์ช

ที่มา : Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009: 318

เม็ดสตาร์ชมีคุณสมบัติในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ เรียกว่า ไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) มีโครงสร้างเป็นผลึกเกือบ 50% ในแป้งหัวหรือราก อะไมโลเพกทินจะมีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึกและส่วนอะไมโลสจะอยู่ในส่วนของอสัณฐาน สำหรับแป้งจากธัญพืช ส่วนอะไมโลเพกทินจะมีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึก ส่วนอะไมโลสจะรวมตัวกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมัน เกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่เสริมความแข็งแรงให้กับเม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดแป้งจากพืชหัวพองตัวช้า (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 52-53)

2.1.3.2 คุณสมบัติของแป้ง เมื่อแป้งผสมกับน้ำภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมจะมีคุณสมบัติเฉพาะ ดังนี้

(1) **การดูดซับน้ำ** การพองตัวและการละลาย เม็ดแป้งที่ผสมน้ำจะดูดซึมน้ำที่ล้อมรอบอยู่ภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เกิดสมดุลกับน้ำภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้นประมาณ 10 ถึง 17% แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว สามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 39.9, 42.9, 50.9 และ 51.4 กรัมต่อแป้งแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ (Leach, 1965 อ้างถึงใน กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 41)

น้ำในเมล็ดแป้งมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำไม่อิสระ และน้ำอิสระ โดยจับกับแป้งตามลำดับความแน่นจากมากไปน้อย น้ำแพร่ผ่านร่างแหไมเซลส์ได้อย่างอิสระ เนื่องจากเม็ดแป้งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก แป้งดิบ (native starch) จะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เกิดกระบวนการเจลาไทไนเซชัน เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแต่ละโมเลกุลของแป้ง แต่เมื่ออุณหภูมิแป้งเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าช่วงอุณหภูมิเจลาไทไนซ์ พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย โมเลกุลน้ำเกิดพันธะทางเคมีกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งจึงเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ในเม็ดแป้งจะหมดไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของและความสามารถในการละลายของแป้ง ได้แก่ (Leach, 1965 อ้างถึงใน กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 41-42)

- (ก) ชนิดของแป้ง แป้งแต่ละชนิดและแต่ละส่วนของพืชมีรูปแบบการพองตัวและการละลายแตกต่างกัน
- (ข) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง
- (ค) สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ไขมันจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง สารลดแรงตึงผิวจะลดกำลังการพองตัวของเม็ดแป้ง
- (ง) คุณสมบัติหลังการตัดแปรทางเคมี ทำให้เม็ดแป้งกระจายเป็นชิ้นเล็ก ๆ จะทำให้การละลายและการพองตัวสูงขึ้น
- (จ) ปริมาณน้ำที่มีในสถานะที่เกิดการพองตัว การพองตัวอย่างอิสระ รูปแบบการพองตัว และการละลายที่สูงขึ้นจะถูกยับยั้งในสภาพที่สารละลายมีปริมาณน้ำน้อย ในการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิด เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง เม็ดแป้งจะพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด
- (ฉ) สารประกอบอื่น เช่น น้ำตาลและสารอิเล็กโทรไลต์ มีผลกระทบต่อการพองตัว ถ้าความเข้มข้นของสารเหล่านี้สูงขึ้น และลดปริมาณแป้งลง ทำให้แป้งสามารถละลายได้เพิ่มขึ้น

(2) **ความหนืด** เป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้งและวิธีการดัดแปรแป้ง

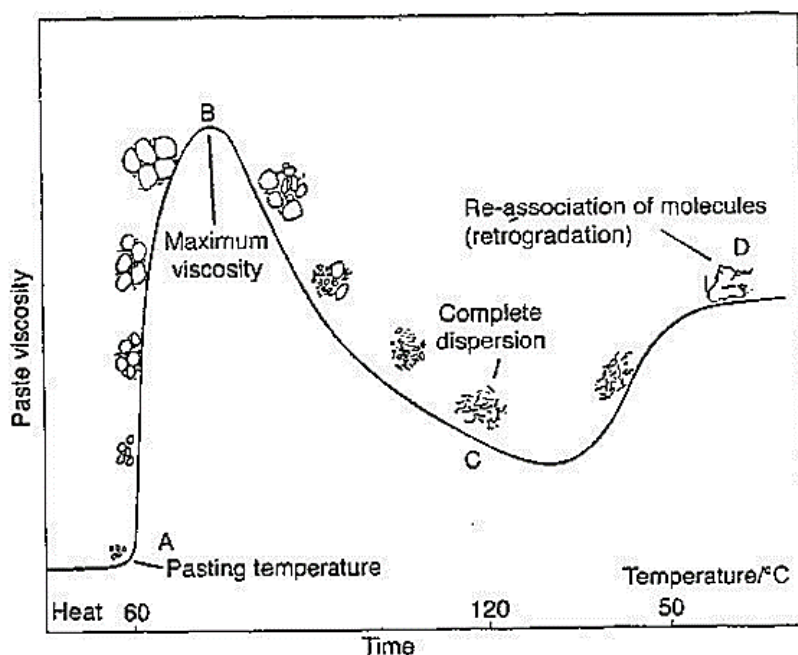
(3) **การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)** โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Groups) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่น้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดและใสมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลอิสระที่เหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน ซึ่งการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้ง แบ่งได้ 3 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างโมเลกุลยึดหยุ่นได้อย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ เมื่อทำการเติมสารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้ง จนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง)

ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน เม็ดแป้งจะมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เม็ดแป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น

ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ได้ดีกว่าเม็ดแป้งที่ไม่เกิดเจลาตินในเซชัน (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 51-53)

การเกิดเจลาตินในเซชันเกิดขึ้นเป็นช่วงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 8 ถึง 12 องศาเซลเซียส (Schoch และ Mayward, 1968 อ้างถึงใน กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 55)



ภาพที่ 2.5 กระบวนการเกิดเจลลาทีโนเซชัน

ที่มา : ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา, 2544: 15)

(4) รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดจากเจลลาทีโนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อทิ้งไว้ให้เจลเย็นลง โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากยิ่งขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโทรเกรเดชัน หรือ การคืนตัว (set back) (Smith, 1979 อ้างถึงใน กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่เกิดพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างสายอะไมโลสจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า ซินเนอริซิส (syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546: 56-58) การเกิดรีโทรเกรเดชันเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้สมบัติของแป้งเปลี่ยนแปลงไป ผลจากการเกิดรีโทรเกรเดชันที่มีต่อเจลของแป้ง คือ

(4.1) ทำให้เจลของแป้งสลายตัวได้ยาก เมื่อสัมผัสกับกรดและเอนไซม์ เนื่องจากการจัดเรียงตัวระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โครงสร้างแน่นและแข็งเพิ่มมากขึ้น

โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล

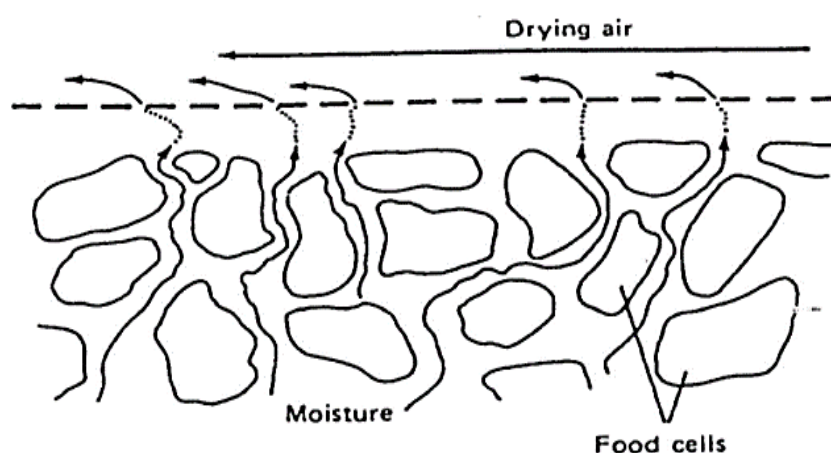
(4.2) ทำให้เจลของแป้งข้น เนื่องจากเกิดผลึกขึ้นมากมาย หลายขนาด โดยขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง แป้งที่เกิดผลึกขนาดใหญ่กว่า 250 นาโนเมตร แสงจะผ่านไม่ได้และจะสะท้อนออกมา เจลที่ได้จะมีลักษณะข้น แต่ถ้าผลึกมีขนาดเล็กกว่า 250 นาโนเมตร แสงจะผ่านได้เพราะเจลมีลักษณะใส การคั่นตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะไมโลส อะมิโลเพคตินและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ

การชะลอการคั่นตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก แคลเซียม ไนเตรทและยูเรีย ปริมาณและขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคั่นตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคั่นตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง การทำให้อะไมโลสที่คั่นตัวแล้วกลับมาละลายได้อีกต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส แป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง มีผลทำให้เกิดการคั่นตัวน้อยลง เช่น แป้งข้าวโพดเหนียว มีอัตราการคั่นตัวของแป้งต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546; ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา, 2544)

2.1.3 การอบแห้ง

2.1.3.1 หลักการและกลไกในการอบแห้ง การทำแห้งเกี่ยวข้องกับการใช้ความร้อนและการกำจัดความชื้นออกจากอาหารพร้อมกัน วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสุงและลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้งทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร (วนิดา สระทองคำ, 2543)

แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กลไกการกำจัดน้ำโดยการอบแห้ง

ที่มา : รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม, 2549: 18

2.1.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง อัตราการทำแห้งขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

(1) สภาพธรรมชาติของอาหารหรือลักษณะของอาหาร ซึ่งสภาพธรรมชาติของอาหารนั้นจะเป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับโครงสร้าง สภาพของน้ำในอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีในอาหารดังกล่าว ถ้าสภาพธรรมชาติของอาหารเอื้ออำนวยหรือสะดวกต่อการส่งผ่านความร้อนมา ยังโมเลกุล

(2) ขนาด รูปร่าง การเตรียมและการจัดเรียงอาหาร อาหารที่จะนำมาทำแห้ง มีขนาดและรูปร่างต่างกันจะมีผลต่ออัตราการทำแห้งของอาหารโดยอาหารที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาณอาหารมากจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนไปทั่วชิ้นอาหารเพื่อระเหยนํ้าออกจากอาหารได้ดีขึ้น ทำให้อัตราการแห้งเร็วขึ้น

(3) สภาพขณะทำแห้ง ถ้าสภาวะการทำแห้งเอื้ออำนวยให้ประสิทธิภาพ การส่งผ่านความร้อนเข้าไปทำให้นํ้าในอาหารเป็นไปได้ดี และในขณะเดียวกันทำให้นํ้าหรือไอนํ้า เคลื่อนที่ออกจากอาหารได้เร็วขึ้นจะเป็นผลทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ปัจจัยต่างๆที่สำคัญเกี่ยวกับ สภาวะขณะทำแห้งอาหารนั้นจะเกิดได้ดังนี้

(3.1) อุณหภูมิ กล่าวคือถ้าตัวกลางที่ให้ความร้อนแก่นํ้าในอาหาร เช่น อากาศร้อนในเครื่องทำแห้งแบบตู้อบอุณหภูมิสูง จะมีผลทำให้อุณหภูมิในอากาศร้อนกับอุณหภูมิของนํ้า ในอาหารนั้นมีความแตกต่างกันมาก ให้ความร้อนส่งผ่านให้กับนํ้าในอาหารได้ดี ซึ่งจะทำให้นํ้าใน อาหารเคลื่อนที่และระเหยนํ้าออกจากอาหารได้ง่ายและทำให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ด้วย

(3.2) ความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะทำแห้งมีค่าสูง จะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากชิ้นอาหารมาสู่อากาศโดยรอบนั้น เป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากอากาศภายนอกนั้นมีปริมาณน้ำสูงอยู่แล้ว จึงเป็นผลให้อัตราการทำแห้งช้าลง

(3.3) ความดันของบรรยากาศ โดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นการตากแดดหรือการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้ง เช่น เครื่องทำแห้งแบบตู้จะทำแห้งที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นสภาพบรรยากาศปกติ ถ้าลดความดันของบรรยากาศขณะทำแห้งจะทำให้จุดเดือดของน้ำในอาหารลดลง ทำให้การเคลื่อนตัวและการระเหยของน้ำออกจากอาหารง่ายขึ้น โดยน้ำสามารถระเหยได้ดีที่อุณหภูมิต่ำลง

(3.5) ความเร็วลม ในขณะทำแห้งอาหาร ถ้าบรรยากาศโดยรอบมีลมพัดผ่านจะช่วยให้น้ำและไอน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าอาหารและระเหยออกจากผิวอาหารได้เร็ว ทำให้อัตราการทำแห้งเร็ว (รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม, 2549)

2.1.3.3 กรรมวิธีการผลิตอาหารแห้งผักและผลไม้ มีวิธีการเตรียม คือ การปอกเปลือก ตัดแต่งตัดเป็นขนาดตามความนิยมหรือความสะดวกในการใช้ ผักสีเขียวนิยมแช่สารละลายคาร์บอเนต เพื่อรักษาสีเขียว ผักและผลไม้ที่เกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ได้ง่ายเนื่องจากเอนไซม์ นิยมแช่สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1 หรือกรดซิตริกร้อยละ 0.5 หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.1 ระหว่างการแปรรูป ผักประเภทแป้งนิยมลวกทำลายเอนไซม์ที่ทำให้อาหารคล้ำ แต่ผักที่ให้กลิ่น เช่น ในมะกรูด ใบกะเพรา ไม่นิยมลวกเพราะกลิ่นจะหายไปมาก ถ้ามีการลวกต้องมีการทำให้เย็นหลังการลวก มิฉะนั้นอาหารจะเละหรือเสียรสชาติ หรือเสียรสชาติ ในการอบแห้งผัก ใช้อุณหภูมิช่วงแรก 88 – 90 องศาเซลเซียส แล้วลดเหลือ 60 องศาเซลเซียส ถ้าไม่ใช้สารประกอบซัลเฟอร์ หรือลดเหลือ 71-74 องศาเซลเซียส ถ้าใช้สารประกอบซัลเฟอร์ ส่วนผลไม้ นิยมใช้อุณหภูมิต่ำเพราะมีน้ำตาล ใช้อุณหภูมิ 60-63 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายของผักประมาณ ร้อยละ 4 และผลไม้ประมาณร้อยละ 10-20 (รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม, 2549)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลอยใจ เชยกลิ่นเทศ (2556) ศึกษาการผลิตสีผงสำหรับอาหารจากวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย คือ เนื้อตาลสุกแห้งผงและน้ำสกัดไบเตย ในการผลิตเนื้อตาลสุกผงใช้สารเสริมการทำแห้ง 3 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และผงกากแครอต พบว่าสารเสริมทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยให้ผลิตเนื้อตาลผงได้ดี แต่การใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดจะได้เนื้อตาลผงที่มีสีเหลืองอ่อนกว่าขนมตาลที่ทำจากเนื้อตาลสด เมื่อนำมาทำขนมตาลได้ขนมตาลสีเหลืองอ่อน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำ การใช้ผงกากแครอตเป็นสารเสริมทำให้ได้เนื้อตาลผงสีเหลืองอมส้ม เมื่อทำขนม เช่น ขนมตาลจะมีสีสดกว่าขนมตาลที่ทำจากเนื้อตาลสดและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง การผลิตสีผสมอาหารจากน้ำไบเตยใช้สารเสริมในการทำแห้ง คือ มอลโทเด็กซ์ตริน กัมอารบิก และผงกากแครอต พบว่าผงน้ำไบเตยเสริมมอลโทเด็กซ์ตรินและกัมอะราบิกมีสีเขียว ผงน้ำไบเตยจากกากแครอตมีสีเขียวอมส้ม เมื่อนำมาทำขนมวุ้นไบเตย สีขนมไม่มีความแตกต่างจากสีของขนมวุ้นจากไบเตยสด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผงน้ำไบเตยเสริมกากแครอตสูงสุด รองลงมาคือผงน้ำไบเตยเสริมกัมอารบิกและผงน้ำไบเตยเสริมมอลโทเด็กซ์ตรินน้อยที่สุด

ฤทัยภักดี มุลาลินน์ (2550) ได้ศึกษาปริมาณแป้งข้าวเหนียวและเนื้อตาลในการทำแป้งบัวลอยตาลสำเร็จรูป ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยที่แป้งข้าวเหนียวมี 3 ระดับ คือ 100 150 200 กรัม และเนื้อตาลมี 3 ระดับ คือ 100 150 200 กรัม ไปทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง ทำการศึกษาอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและเนื้อตาลไม่มีความแตกต่างกัน และผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านของสีเนื้อสัมผัส ที่ระดับแป้งข้าวเหนียว 200 กรัม เนื้อตาล 100 กรัม ได้รับการยอมรับมากที่สุด ในด้านของกลิ่น ความชอบโดยรวม ที่ระดับแป้งข้าวเหนียว 150 กรัม เนื้อตาล 100 กรัม ได้รับการยอมรับมากที่สุด ในด้านของรสชาติ ที่ระดับแป้งข้าวเหนียว 150 กรัม เนื้อตาล 150 กรัม ได้รับการยอมรับมากที่สุด และผลิตภัณฑ์แป้งที่ผ่านการแปรรูปจะมีลักษณะสีเหลืองอมส้มเล็กน้อยและมีกลิ่นเฉพาะตัวของเนื้อตาลสุก มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.59 ปริมาณยีสต์และราเท่ากับ $2.60 \log \text{ cfu/g}$ หรือ 60 โคโลนีต่อ 1 กรัม

นฤมล เหลืองนภา (2533) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อลูกตาลสุก โดยศึกษากรรมวิธีการผลิตเนื้อลูกตาลสุกผง วิธีการเก็บรักษาและการนำเนื้อตาลสุกผงมาใช้ในขนมไทยบางชนิด พบว่าเนื้อตาลสุกผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีคุณภาพดี มีความชื้นร้อยละ 6.1 สามารถดูดซับน้ำได้ดีมาก และเก็บรักษาได้ประมาณ 3 เดือน ในถุงอะลูมิเนียมที่เคลือบด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน และ

กระป๋องโลหะในสภาวะสุญญากาศ เมื่อนำมาคั้นรูปสามารถผลิต ขนมหาลและขนมบัวลอยได้ แต่เนื้อตาลูกฟงที่ได้มีกลิ่นและสีลดลงมาก

บุญยกฤต รัตนพันธุ์ (2545) ได้ศึกษาเวลาที่ใช้ให้ความร้อนเนื้อตาลสุก โดยใช้เนื้อตาลสุก 200 กรัม นำไปตุ๋นในน้ำเดือด เมื่อเนื้อตาลสุกมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วจับเวลา หลังจากนั้น ทำให้เย็นทันที โดยแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่า การตุ๋นเนื้อตาลสุกจน อุณหภูมิจุดกึ่งกลางเป็นถึง 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีขึ้นไป สามารถทำลายเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดสในเนื้อตาลสุกได้ จากนั้นนำเนื้อตาลสุกที่ผ่านและไม่ผ่านความร้อน ไปทำการอบแห้งด้วย เครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง แล้วนำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.12 มิลลิเมตร บรรจุแบบสภาวะบรรยากาศปกติและแบบสุญญากาศในถุงลามิเนตชนิด OPP หน้า 3 ไมครอน นาน 4 สัปดาห์ พบว่า เนื้อตาลผงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนที่บรรจุในสภาวะ บรรยากาศปกติมีค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลง ($P < 0.05$) จึง ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ในเนื้อตาลสุกก่อนการทำแห้ง แต่ถ้าเก็บรักษาในสภาวะ สุญญากาศ ค่าสีและปริมาณเบต้าแคโรทีนจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ลววรรณ บัวสาย (2551) ศึกษากรรมวิธีการแปรรูปเนื้อตาลผง โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบภาคที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 50 และ 70 องศาเซลเซียส และการผลิตขนมเค้กโดยใช้เนื้อตาลสดและเนื้อตาลผง โดยแปรรูปปริมาณเนื้อตาลสดเป็น 6 ระดับ คือ ร้อยละ 10 15 20 25 30 และ 35 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และศึกษาการเก็บรักษาขนมเค้กจากเนื้อตาลสดและเนื้อตาลผงในภาชนะบรรจุ 2 สภาวะคือ บรรจุขนมเค้กในถาดพลาสติกและถุงไนลอน เติมห้ำซาวใ้โตรเจนแล้วปิดผนึก และบรรจุในถาดพลาสติกภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ พบว่า การใช้ตู้อบลมร้อนแบบภาคที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการทำเนื้อตาลผงมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาในภาชนะบรรจุ 2 ชนิด คือ ถุงไนลอนและอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า เนื้อตาลผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุอื่น ๆ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณเชื้อราเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำ และเมื่อนำเนื้อตาลผงมาผลิตเป็นขนมเค้กในทุกเดือน พบว่า ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุดในทุกเดือน ขนมเค้กที่ใช้เนื้อตาลสดในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ได้รับการยอมรับในทุกคุณลักษณะสูงสุด การเก็บรักษาขนมเค้กจากเนื้อตาลสดและเนื้อตาลผง พบว่า การบรรจุในสภาวะปกติมีอายุการเก็บเพียง 3 วัน ส่วนขนมเค้กที่บรรจุโดยเติมห้ำซาวใ้โตรเจนมีอายุการเก็บรักษา 4 วันที่อุณหภูมิห้อง

Ryckebosch, Muylaert, K., Eeckhout, M., Ruysen, T., & Foubert (2011) ศึกษาผลของการเก็บรักษาในระยะเวลาสั้น ไม่เกิน 35 วัน และการทำแห้งสาหร่าย (*Phaeodactylum tricornutum*) ด้วยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze-drying) และวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray-drying) โดยวิเคราะห์ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ ปริมาณไขมันทั้งหมด และระดับการเกิดลิพิดออกซิเดชัน พบว่า วิธีการทำแห้งไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันทั้งหมด สาหร่ายที่นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดการสลายตัวของลิพิด (lipolysis) ได้ง่ายขึ้นกับระยะเวลาการเก็บรักษา ระดับการเกิดออกซิเดชันของสาหร่ายที่เกิดจากการทำแห้งทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาเท่ากัน ในขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งช่วยสงวนรักษาสารแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายได้เทียบเท่ากับสาหร่ายสดที่ยังไม่ผ่านการเก็บรักษา การเก็บรักษาสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลานานขึ้นจะทำให้สารแคโรทีนอยด์ลดลงมากขึ้น ไม่ว่าจะเก็บรักษาภายใต้ภาวะสุญญากาศหรือบรรยากาศปกติและแช่เย็นหรือแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส ก็ทำให้สารแคโรทีนอยด์ลดลงไม่แตกต่างกัน

มนัสนันท์ บุญทราพงษ์ (2544) รายงานกระบวนการทำแปงข้าวเจ้าผสมในการผลิตขนมตาลเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก พบว่าต้องใช้แปงข้าวเหลือง 11 และแปงข้าวหอมมะลิในอัตราส่วน 80:20 น้ำ 0.5 เท่าของปริมาณของแห้งผสม โดยต้องใช้ยีสต์และผงฟู ร้อยละ 2.3 ที่อัตราส่วน 1:1.3 โดยการนำแป้งผสมไปทำขนมตาลต้องผสมกะทิ เนื้อมะพร้าวสด เติมน้ำตาลทรายป่นและเกลือ และนำส่วนผสมมาหมักนาน 45 นาที นึ่งในน้ำเดือด 25 นาที จะได้ขนมตาลสีเหลืองอมส้ม เมื่อนำขนมตาลมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 100 ยอมรับผลิตภัณฑ์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ

วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้แบ่งเป็นวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแป้งเนื๋อตาล สุกกึ่งสำเร็จรูป และวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื๋อตาล ดังต่อไปนี้

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากเนื๋อตาลสุก

3.1.1.1 เนื๋อตาลสุกที่ขี้นแล้วจากตลาดในอำเภอเมืองและอำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี

3.1.1.2 แป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) และแป้งมันสำปะหลัง (ตราปลามังกร)

3.1.1.3 อุปกรณ์เครื่องครัว

(1) หม้อนึ่ง

(2) พิมพ์แก้วสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความจุ 1,520 มิลลิลิตร ขนาด 14.5 x 20 x 6

เซนติเมตร

(3) เตาแก๊ส

(4) เครื่องตีผสมแป้ง (Kitchen Aid รุ่น 5X, Pm 50 USA)

(5) กระตักน้ำร้อน

(6) เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอล

(7) ซ้อนสแตนเลส

(8) ถาดสแตนเลส

3.1.2 เครื่องมือตรวจสอบคุณภาพ ทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

3.1.2.1 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (รุ่น UM 500 MEMMERT, Germany)

3.1.2.2 เครื่องวัดความชื้น (SARTORIUS, MA 150, Germany)

3.1.2.3 เครื่องวัดสี (Colorimeter Hunter color lab รุ่น Color Flex, USA)

3.1.2.4 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JASCO รุ่น UV-VIS model V-530, Tokyo Japan)

- 3.1.2.5 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus, Surrey England)
- 3.1.2.6 เครื่องวัดค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี (water activity meter, a_w) (AQUA LAB, CX 3, WASHINGTON, USA)
- 3.1.2.7 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) (Tony KOGYD รุ่น SS-325, Kaohsiung, Taiwan)
- 3.1.2.8 ตู้บ่ม (Incubator Selecta, Spain)
- 3.1.2.9 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge MPW รุ่น MPW -260 Warazawa, Poland)
- 3.1.2.10 pH มิเตอร์ (CyberScan CON 1500, USA)
- 3.1.2.11 เครื่องชั่ง (รุ่น ED 2245, Bangkok, Thailand)
- 3.1.2.12 Deep Freezer (รุ่น DW-40L2 QINGDAO, China)
- 3.1.2.13 Freeze Drier (รุ่น EVELA FDU-1200, Tokyo, Japan)
- 3.1.2.14 เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer รุ่น G560E, USA)
- 3.1.2.15 เตาเผา (CARBOLITE, 6 L รุ่น CWF 11/5, England)
- 3.1.2.16 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jasco V-530, England)
- 3.1.2.17 อุปกรณ์เครื่องแก้วงานวิทยาศาสตร์ ได้แก่
- (1) คิวเวตต์ (cuvette quartz)
 - (2) ฟลาสค์รูปชมพู่
 - (3) ขวดปรับปริมาตร
 - (4) ปีกเกอร์
 - (5) ข้อนตักสาร
 - (6) หลอดทดลอง
 - (7) ขวดเก็บสาร
 - (8) กรวยกรองแก้ว และบูชเนอร์
 - (9) กระดาษกรอง
 - (10) เขื่อกรองไนลอน
 - (11) หลอดแก้วสำหรับกรอง

3.1.3. อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.1.3.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

3.1.3.2 ถาด ซ้อน ส้อม กระดาษเช็ดปาก

3.1.3.3 แก้วน้ำ

3.1.3.4 เขี่ยอก

3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุและเก็บรักษา

3.1.4.1 ซองเพาช์ (Polyester/Aluminium foil/Polyethylene)

3.1.4.2 ซองพอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) หนา 130 ไมครอน

3.1.4.3 เครื่องปิดผนึกซองแนวตั้ง

3.1.5 สารเคมี

3.1.5.1 Di-sodium hydrogen phosphate (Ajax Finechem Auckland, New Zealand)

3.1.5.2 Sodium hydrogen phosphate (Ajax Finechem Auckland, New Zealand)

3.1.5.3 Guaical (SIGMA-ALDRICH, USA)

3.1.5.4 Hydrogen peroxide (QRec, New Zealand)

3.1.5.5 Hexane (J.T. Baker, USA)

3.1.5.6 Acetone (RCI Labscan, Dramstadt, Germany)

3.1.5.7 Sodium sulphate (Ajax Finechem Auckland, New Zealand)

3.1.6 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

3.1.6.1 Plate count agar

3.1.6.2 Potato dextrose agar

3.1.6.3 Lauryl tryptose broth

3.1.6.4 Peptone water

3.1.6.5 Phosphate buffer pH 7.2

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการทดลองเพื่อพัฒนาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกเริ่มจากการวิเคราะห์คุณภาพและองค์ประกอบของเนื้อตาลสุก

3.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อตาลสุก

เนื้อตาลสุกที่ซื้อจากตลาดในจังหวัดเพชรบุรีถูกเก็บรักษาในตู้เย็นไม่เกิน 2 วัน เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุก

3.2.1.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อน เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุก โดยใช้เนื้อตาลสุก 200 กรัม วางในผ้าขาวบางซึ่งวางบนกระชอนสแตนเลสที่มีรูพรุนแบบรังผึ้ง ขนาดรูเปิด 60 เมช (Mesh) นึ่งในหม้อนึ่งไอน้ำ เป็นเวลา 1 2 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นทันทีบนภาคน้ำแข็งจนเนื้อตาลสุกเย็นถึงอุณหภูมิห้อง เก็บรักษาเนื้อตาลสุกนึ่งในตู้เย็นในสภาวะที่บดแสงจนกว่าจะนำมาสกัดเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส เปรียบเทียบกับปริมาณเอนไซม์และจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุกไม่ผ่านการนึ่ง

(1) การสกัดเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ทำได้โดยชั่งเนื้อตาลสุกนึ่งด้วยระยะเวลาต่าง ๆ 10 กรัม เติมน้ำละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร (mol/L) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 7 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 9800 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แยกสารละลายใสด้านบนที่สกัดได้จากของผสมของเนื้อตาลสุก เก็บรักษาในตู้เย็นก่อนนำมาวัดกิจกรรมของเอนไซม์ในวันเดียวกัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

(2) การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ทำได้ตามวิธีการดังรายละเอียดในภาคผนวก ผ.1 (Gökmen, Savaş Bahçeci, Serpen, & Acar, 2005) โดย 1 หน่วยกิจกรรมเพอร์ออกซิเดส หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลา 1 นาที ของปริมาณ (มิลลิลิตร) ของสารสกัดเอนไซม์

3.2.1.2 การวิเคราะห์สีของเนื้อตาลสุก ทำได้โดยใช้เครื่องวัดสี (Chromameter) ตามวิธีการในภาคผนวก ก.1 (2) ค่าสีของตัวอย่างถูกวัดในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ โดยที่ L^* มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 หมายถึงระดับความมืด ($L^* = 0$) ถึงความสว่าง ($L^* = 100$) a^* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง (redness, $+a^*$) ถึงสีเขียว (greenness, $-a^*$) และ b^* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, $+b^*$) ถึงสีน้ำเงิน (blueness, $-b^*$) และค่าโครมา (chroma) ตามสมการ (3.1)

$$\text{ค่าโครมา (chroma)} = [(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}] \quad (3.1)$$

3.2.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานเบต้า-แคโรทีนในเฮกเซน รายงานผลเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเทียบเท่าเบต้าแคโรทีน ($\mu\text{g-}\beta\text{-carotene equivalent/g-dried sample}$) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ผ.1

3.2.1.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณในเนื้อตาลสุก ทำได้ดังนี้

(1) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและของแข็งทั้งหมด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture balance) รายงานปริมาณความชื้นเป็น กรัม/100 กรัม-เนื้อตาลสุก ตามรายละเอียดในภาคผนวก ผ.1

(2) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนหยาบ (crude protein) โดยวิธี Kjeldahl method ตาม AOAC (2016) 992.23 รายงานปริมาณโปรตีนเป็น กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง

(3) การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ตามวิธีการ AOAC (2012) 985.29 รายงานปริมาณใยอาหารเป็น กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง

(4) การวิเคราะห์ไขมันหยาบทั้งหมด (crude fat) โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ตามภาคผนวก ผ.1 รายงานปริมาณไขมันหยาบเป็น กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง

(5) การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash) ตามรายละเอียดในภาคผนวก ผ.1 รายงานปริมาณเถ้าเป็น กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง

(6) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ตามวิธีการ AOAC (2012) 982.14 รายงานปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเป็น กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง

(7) การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช ตามวิธีการของ McClary *et al.*, (1997) รายงานปริมาณสตาร์ชเป็น กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง

3.2.1.5 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อตาลสุก ทำโดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) ตามรายละเอียดในภาคผนวก ผ.1

3.2.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุก ตามรายละเอียดในภาคผนวก ผ.1 โดยวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวนอีโคไล (*E. coli*) และโคลิฟอร์ม (coliforms)

3.2.2 การศึกษาวิธีการลดความชื้นในเนื้อตาลสุก

การลดความชื้นในเนื้อตาลสุกเพื่อให้เนื้อตาลสุกเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการกำจัดน้ำออกจากเนื้อตาลสุกดังนี้

3.2.2.1 การลดความชื้นด้วยการระเหยโดยลมร้อน โดยใช้ตู้อบแห้งแบบ Forced air oven ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทดลองลดความชื้นในเนื้อตาลสุกด้วยลมร้อนตามขั้นตอนดังนี้

- (1) วางเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนึ่งและผ่านการนึ่งแผ่นบนอลูมิเนียมฟอยด์ หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร
- (2) ใช้ไม้พายทำร่องตารางบนแผ่นเนื้อตาลสุก
- (3) นำเข้าอบในตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- (4) ตรวจสอบลักษณะปรากฏของเนื้อตาลสุกทุกชั่วโมง

3.2.2.2 การลดความชื้นด้วยการระเหิดโดยใช้การทำแห้งแช่เยือกแข็ง (Freeze-drier) ทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

- (1) วางเนื้อตาลสุกประมาณ 30 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร บนแผ่นกระดาษ
- (2) แช่แข็งเนื้อตาลสุกในข้อ 3.2.2.2 (1) ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน
- (3) กำจัดน้ำโดยใช้เครื่องอบแห้งแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -45 องศาเซลเซียส ความดัน 45 Pa นาน 6 ชั่วโมง
- (4) เก็บรักษาเนื้อตาลสุกแห้งในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ถึง 8 องศาเซลเซียส
- (5) สังเกตลักษณะปรากฏของเนื้อตาลสุกแห้งทุก 2 ถึง 3 อาทิตย์

3.2.2.3 การลดความชื้นด้วยวัสดุช่วยอบแห้งและลมร้อน ตามขั้นตอนดังนี้

วัสดุช่วยอบแห้งที่นำมาใช้ คือ แป้งข้าวเจ้า ในอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่อเนื้อตาลสุกที่แตกต่างกัน วิธีการกำจัดน้ำโดยใช้วัสดุช่วยอบแห้งและลมร้อน ทำได้ดังนี้

- (1) ผสมเนื้อตาลสุกกับแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนเนื้อตาลสุกต่อแป้งข้าวเจ้า เท่ากับ 1:2 1:1 และ 2:1
- (2) ปั่นผสมเนื้อตาลสุกกับแป้งข้าวเจ้าในข้อ 3.2.2.3 (1) ให้แป้งข้าวเจ้ากระจายจนทั่วเนื้อตาลสุกอย่างสม่ำเสมอ

- (3) วางของผสมของเนื้อตาลสุกและแป้งข้าวเจ้าบนภาตสแตนเลส
- (4) อบแห้งของผสมในข้อ 3.2.2.3 (3) ในตู้อบแห้งลมร้อน
- (5) สังเกตลักษณะปรากฏ และน้ำหนักหรือแตกต่างกันเล็กน้อย
- (6) ตรวจสอบลักษณะปรากฏทุกอาทิตย์จนสีของเนื้อตาลสุกแห้งชัดเจน
อย่างชัดเจน

วิธีการที่เหมาะสมในการลดความชื้นในเนื้อตาลสุก พิจารณาจากลักษณะปรากฏภายนอกที่แสดงความแห้งของเนื้อตาลสุกแห้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น และปริมาณสารปนเปื้อนอื่น เช่น วัสดุช่วยทำแห้ง

3.2.3 การพัฒนาสูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

เนื้อตาลสุกที่กำจัดน้ำออกด้วยวิธีการที่เหมาะสมในข้อ 3.2.2 ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาสูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก โดยการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

3.2.3.1 ศึกษาผลของปริมาณเนื้อตาลสุกในแป้งผสมต่อปริมาณผลได้ (% yield) ของแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

แป้งผสมเป็นของผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังด้วยอัตราส่วน 3:2 ในปริมาณของแป้งแต่ละชนิด เนื้อตาลสุก และน้ำ ดังตารางที่ 3.1 วิธีการผลิตแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกทำได้ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณองค์ประกอบของแป้งกึ่งสำเร็จรูปที่มีปริมาณเนื้อตาลสุกแตกต่างกัน

ส่วนประกอบ	สูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก			
	สูตรพื้นฐาน	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
แป้งข้าวเจ้า (กรัม)	60	60	60	60
แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	40	40	40	40
เนื้อตาลสุก (กรัม)	-	20	40	60
น้ำ (มิลลิลิตร)	65	65	65	65

ผสมเนื้อตาลสุกแห้งในข้อ 3.2.2 กับน้ำจนมีความชื้นประมาณ 90% พักไว้ แล้วนำแป้งผสมและน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ผสมเข้าด้วยกันในเครื่องตีผสมแป้ง จากนั้นนำเนื้อตาลสุกที่ผ่านการคั่นตัวตีผสมกับน้ำแป้งนาน 4 นาที สำหรับสูตร 1-3 หรือตีผสมน้ำแป้งด้วยเวลาเท่ากันสำหรับสูตรพื้นฐานที่ไม่มีเนื้อตาลสุก เทน้ำแป้งผสมที่มีหรือไม่มีเนื้อตาลสุก 90 กรัม ลงในพิมพ์แก้วรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วนึ่งในหม้อนึ่งที่มีน้ำเดือดนาน 3 นาที นำออกจากหม้อนึ่งและตั้งทิ้งไว้

ให้เย็น นำแผ่นแบ่งออกจากพิมพ์แก้ว และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน ตัดให้เป็นเส้นกว้าง 3 มิลลิเมตร แล้วอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดให้เป็นผง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 เมช (mesh) จะได้ผงแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก คำนวณปริมาณผลได้ (% yield) ตามสมการ (3.2) และสังเกตลักษณะปรากฏของผงแบ่งและเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกแต่ละสูตร

$$\text{ร้อยละของผลได้ (\% yield)} = (W_{\text{หลังอบแห้ง}}/W_{\text{ก่อนอบแห้ง}}) \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ $W_{\text{ก่อนอบแห้ง}}$ = น้ำหนักของเส้นแบ่งผสมที่มีหรือไม่มีเนื้อตาลสุกก่อนอบแห้ง (กรัม)

$W_{\text{หลังอบแห้ง}}$ = น้ำหนักของเส้นแบ่งผสมที่มีหรือไม่มีเนื้อตาลสุกหลังอบแห้ง (กรัม)

3.2.3.2 ศึกษาผลของปริมาณเนื้อตาลสุกในแบ่งผสมต่อกระบวนการทำแห้ง และการคั่นตัวของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

เส้นแบ่งที่มีและไม่มีเนื้อตาลสุกจากการเตรียมในข้อ 3.2.3.1 ถูกนำมาอบแห้งและคั่นตัวในน้ำ ดังนี้

(1) การศึกษาผลของปริมาณเนื้อตาลสุกในเส้นแบ่งต่อกระบวนการทำแห้งทำได้โดย นำเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกบนถาดสเตนเลสจะถูกนำออกจากตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ถาดของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกถูกนำออกชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมงจนน้ำหนักของถาดที่มีเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกคงที่ บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกแต่ละสูตรเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน อัตราส่วนของการทำแห้ง (dehydration ratio) ถูกคำนวณตามสมการ (3.3) ตามวิธีการของ Pervin, Islam, & Islam (2008)

$$\text{อัตราส่วนการทำแห้ง} = \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง} / \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง} \quad (3.3)$$

(2) การศึกษาผลของปริมาณเนื้อตาลสุกต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกก่อนการคั่นตัว ดังต่อไปนี้

(2.1) ค่าน้ำอิสระ (water activity, a_w) โดยใช้เครื่องวัดน้ำอิสระ

(2.2) ปริมาณความชื้น (total moisture content) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture balance) รายงานผลเป็น กรัม/100 กรัม ตามรายละเอียดในภาคผนวก ผ.1

(2.3) ปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยใช้วิธีการตามภาคผนวก ผ.1 และสารละลายมาตรฐานเบต้า-แคโรทีนในเฮกเซน รายงานผลเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเทียบเท่าสารเบต้า-แคโรทีน ($\mu\text{g-}\beta\text{-carotene equivalent/g-sample}$)

(2.4) ค่าสี ในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ตามวิธีการในภาคผนวก ผ.1 และวิธีการในข้อ 3.2.1.2 โดยวัดค่า $L^* a^* b^*$ และค่าโครมา

(3) การศึกษาผลของปริมาณเนื้อตาลสุกต่อลักษณะการคืนตัวของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูป ทำโดยชั่งเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกให้ได้น้ำหนักแน่นอน วางบนกระชอนและแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส นำแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่ดูดซับน้ำออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะ ๆ แล้วซับน้ำที่ผิวเส้นแป้งให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล อัตราส่วนการคืนตัว (rehydration ratio) ของเส้นแป้งที่มีและไม่มี เนื้อตาลสุกที่คืนตัว คำนวณได้ตามสมการ (3.4) อัตราการคืนตัว คำนวณตามสมการ (3.5) สัมประสิทธิ์การคืนตัว (coefficient of reconstitution) คำนวณได้ตามสมการ (3.6) และปริมาณน้ำในตัวอย่างที่คืนตัว คำนวณได้ตามสมการ (3.7) ตามวิธีการของ Ranganna (1992) อ้างโดย Pervin et al. (2008)

$$\text{อัตราส่วนการคืนตัว} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ดูดซับน้ำจนอิ่มตัว/น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \quad (3.4)$$

$$\text{อัตราการคืนตัว (นาที่}^{-1}\text{)} = \frac{\text{อัตราส่วนการคืนตัว/เวลาในการคืนตัว}}{\text{เวลาในการคืนตัว}} \quad (3.5)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การคืนตัว} = \frac{\text{อัตราส่วนการคืนตัว/อัตราส่วนการทำแห้ง}}{\text{อัตราส่วนการทำแห้ง}} \quad (3.6)$$

$$\text{ปริมาณน้ำในตัวอย่างคืนตัว (\%)} = \frac{[W_r - W_s]/W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ W_r = น้ำหนักตัวอย่างที่คืนตัวแล้ว (กรัม)

W_s = น้ำหนักของแข็งทั้งหมดในตัวอย่าง (Total solid content) (กรัม)

W_0 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง (กรัม)

(4) ผลของปริมาณเนื้อตาลสุกต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัสของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนตัว วิธีการคืนตัวเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปทำได้ตามวิธีการในภาคผนวก ผ.1 เพื่อทดสอบคุณภาพของเส้นแป้งที่ผ่านการคืนตัวแล้ว ดังต่อไปนี้

(4.1) ค่าสี โดยใช้ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ตามวิธีการในภาคผนวก ผ.1 และวิธีการในข้อ 3.2.1.2 โดยวัดค่า $L^* a^* b^*$ และค่าโครมา

(4.2) ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่ผ่านการคืนตัวตามวิธีการในภาคผนวก ก.1 วัดคุณลักษณะเนื้อสัมผัสทางการบดเคี้ยว (Texture Profile Analysis) และแรงกด (compression) รายงานพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัส ดังนี้ ความเหนียวติด (stickiness) หน่วยเป็นกรัม การยึดติด (adhesiveness) หน่วยเป็นกรัม/วินาที ความตึง (springiness)

การเกาะติดกันเอง (cohesiveness) ความเหนียวเคี้ยวได้ (gumminess) ความเคี้ยวได้ (chewiness) ความหยุ่น (resilience) ไม่มีหน่วย และความแข็ง (hardness) หน่วยเป็นกรัม

(4.3) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และปริมาณ โคลิฟอร์ม ตามวิธีการในภาคผนวก ผ.1

(4.4) คุณภาพทางประสาทสัมผัสของแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ที่ผ่านการคั่วตัว วิธีการคั่วตัวทำโดยนำเส้นแป้งที่มีและไม่มีเนื้อตาลสุกมาคั่วตัวโดยแช่น้ำประมาณ 10 นาที และนำมาลวกด้วยน้ำเดือด 5 นาที นำมาเสิร์ฟพร้อมน้ำซุปรที่ทำจากกระดูกหมู โดยใช้กระดูกหมู 300 กรัม ต่อน้ำ 2 ลิตร แล้วนำไปต้มให้เดือดนาน 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยผ้าขาวบางและนำไปแช่ตู้เย็น 1 คืน นำส่วนใสด้านบนของน้ำซุปร นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง และนำน้ำซุปรมาอุ่นให้ร้อน เสิร์ฟพร้อมเส้นก๋วยเตี๋ยว ให้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน โดยใช้วิธี 5- points hedonic scales โดยทำการประเมินคุณลักษณะด้านค่าสี กลิ่นรสเนื้อตาลสุก เนื้อสัมผัส ความชอบ โดยรวมสูงสุด โดยใช้แบบสอบถามตามภาคผนวก ผ.2

ผลการพัฒนาสูตรเส้นแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกทั้ง 3 สูตร ได้แก่ ความยาก-ง่ายในการผลิต คุณภาพของเส้นแป้งสำเร็จรูปก่อนการคั่วตัว หลังการคั่วตัว ทั้งทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อคัดเลือกสูตรเส้นแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เหมาะสมในการผลิตและการบริโภคจำนวน 1 สูตร เพื่อทดสอบอายุการเก็บรักษา

3.2.4 การประเมินอายุการเก็บรักษาแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

เส้นแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่มีลักษณะและคุณภาพเหมาะสมจากข้อ 3.2.3 ถูกนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเส้นแป้งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน โดยเก็บรักษาใน 3 สภาวะ ได้แก่

- (1) ซองลามิเนต (Nylon/Aluminium foil/Polyester) เก็บรักษาที่สว่าง
- (2) ซองพอลิโพรพิลีน (PP) หนา 130 ไมครอน เก็บรักษาที่สว่าง
- (3) ซองพอลิโพรพิลีน (PP) หนา 130 ไมครอน เก็บรักษาที่มืด

การประเมินคุณภาพของเส้นแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกเปรียบเทียบกับเส้นแป้งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน ได้แก่

3.2.4.1 ความชื้น ตามวิธีการในข้อ 3.2.1.4 (1) และภาคผนวก ผ.1

3.2.4.2 ค่าน้ำอิสระ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดน้ำอิสระ

3.2.4.3 ค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ด้วยเครื่องวัดสี วัดค่า $L^* a^* b^*$ และค่าโครมาตามวิธีการในข้อ 3.2.1.2 และภาคผนวก ผ.1

3.2.4.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ ตามวิธีการในข้อ 3.2.1.3 และภาคผนวก ผ.1

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของเนื้อตาลสุกและแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ใช้ตัวอย่าง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) การวัดค่าคุณภาพของแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพของแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in CRD และ CRD ร่วมกัน

บทที่ 4

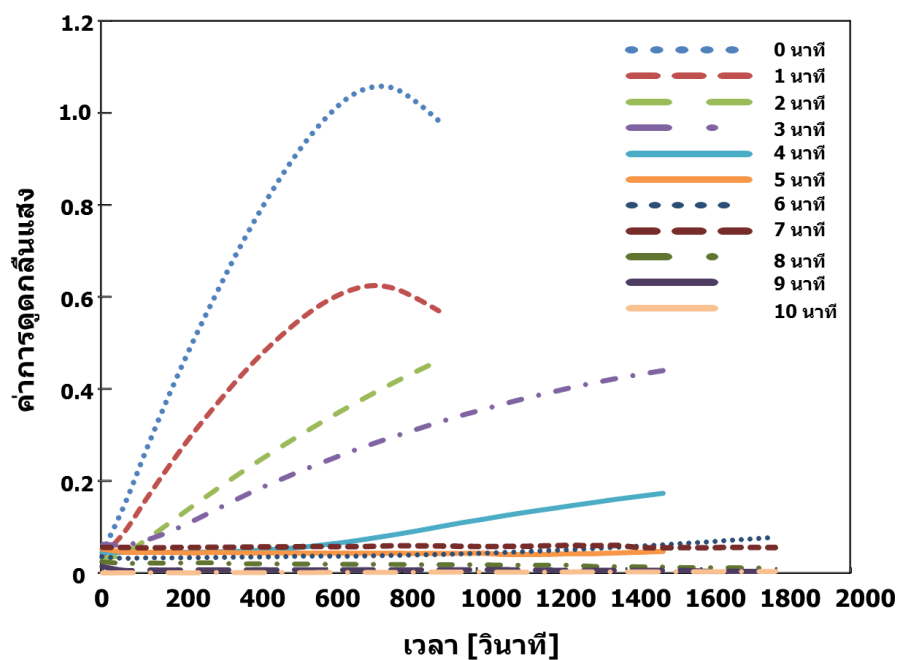
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อตาลสุก

เนื้อตาลสุกเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุก ทำให้เนื้อตาลสุกเปลี่ยนสี นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่ทำให้เนื้อตาลสุกเสื่อมเสีย ทั้งที่มีอยู่ตามธรรมชาติและปนเปื้อนระหว่างกระบวนการยีสตาล (Jansz, Wickremasekara, & Sumuduni, 2002; Boon, McClements, & Weiss, 2010) วิธีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อตาลสุกเปลี่ยนสีและยังช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เสื่อมเสียที่นิยมใช้วิธีหนึ่ง คือ การใช้ความร้อน (Fellow, 2000)

4.1.1 ผลของเวลาให้ความร้อนที่เหมาะสมในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

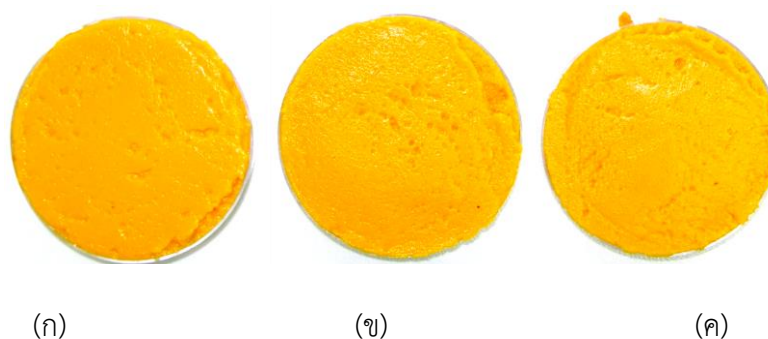
เนื้อตาลสุกถูกนำไปนึ่งด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 นาที แล้วนำมาสกัดเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ และวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลา เปรียบเทียบกับเนื้อตาลสุกไม่ผ่านการนึ่ง ได้ผลดังภาพที่ 4.1 โดยพบว่าเมื่อนึ่งเนื้อตาลสุกนาน 1 ถึง 3 นาที เนื้อตาลสุกยังหลงเหลือเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสอยู่ โดยพิจารณาจากอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดกลืนแสงในระยะเริ่มต้น ซึ่งยังมีความชันของเส้นกราฟสูงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและเวลาในการทำปฏิกิริยาเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อตาลสุกนึ่งที่ระยะเวลา 4 ถึง 6 นาที ซึ่งความชันของเส้นกราฟลดลงมากจนเกือบเป็นแนวขนานกับแกน X แต่ยังพบว่าค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไปหลายนาที และเมื่อนึ่งเนื้อตาลสุกด้วยไอน้ำนาน 7 นาทีขึ้นไป ไม่พบการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แสดงถึงไม่มีการทำงานของเอนไซม์เหลืออยู่ ดังนั้นจึงเลือกวิธีการนึ่งเนื้อตาลสุกนาน 8 นาที มาใช้ในการพัฒนาสูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและเวลาทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จากเนื้อตาลสุก

4.1.2 ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อคุณภาพเนื้อตาลสุก

ลักษณะปรากฏของเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 1 ถึง 10 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.2 จะพบว่าลักษณะปรากฏทางสีของเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งด้วยระยะเวลาต่างไม่แตกต่างจากสีของเนื้อตาลสุกก่อนนึ่ง ซึ่งยังคงมีสีเหลืองส้มของสารแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีปริมาณมากในเนื้อตาลสุก (Jansz, Wickremasekara, & Sumuduni, 2002) เมื่อนำเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งด้วยระยะเวลาต่าง ๆ มาวิเคราะห์ค่าสีและความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องวัดสีได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของเนื้อตาลสุก (ก) ไม่ผ่านการนึ่ง (ข) นึ่งนาน 4 นาที (ค) นึ่งนาน 10 นาที

ผลของระยะเวลาในการนึ่งต่อกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และค่าสีของเนื้อตาลสุกดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะพบว่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสที่ระยะเวลาการนึ่งนาน 6 นาทีขึ้นไป มีค่าน้อยกว่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่ระยะเวลาการนึ่งไม่ถึง 6 นาที สอดคล้องกับลักษณะความชื้นของเส้นกราฟอัตราการทำงานของเอนไซม์ในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของระยะเวลาในการนึ่งต่อค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุก และค่าสีของเนื้อตาลสุก

เวลาการ นึ่ง (นาที)	กิจกรรมของเอนไซม์ (unit)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (μg - β -carotene equivalent/g-dried sample)	ค่าสี	
			ค่า L^*	ค่า Chroma
0	4.70×10^{-2a}	249 ± 8.11^a	56.14 ^a	80.2 ± 2.99^a
1	3.57×10^{-2a}	-	55.68 ^{ab}	79.5 ± 2.21^a
2	7.85×10^{-2b}	-	55.04 ^{abcd}	78.6 ± 1.59^b
3	1.22×10^{-2c}	283 ± 29.4^b	55.14 ^{abcd}	76.6 ± 1.98^c
4	6.19×10^{-3c}	-	55.08 ^{abcd}	78.4 ± 2.74^c
5	4.33×10^{-4c}	-	54.48 ^{cd}	76.9 ± 1.08^c
6	4.29×10^{-4c}	266 ± 21.6^a	54.22 ^{cd}	76.1 ± 0.90^c
7	4.89×10^{-5d}	-	54.14 ^{cd}	76.2 ± 0.92^c
8	4.75×10^{-5d}	245 ± 9.25^a	53.96 ^d	76.3 ± 1.23^c
9	4.83×10^{-5d}	-	55.23 ^{abc}	75.1 ± 2.07^c
10	4.50×10^{-5d}	-	54.59 ^{bcd}	76.9 ± 2.04^c

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ

นัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อตาลสุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างการนึ่งด้วยระยะเวลาน้อยกว่าและมากกว่า 6 นาที ส่วนค่าโครมา (chroma) ของเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งตั้งแต่เวลา 3 ถึง 10 นาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ทั้งค่า

ความสว่างและความเข้มสีของเนื้อตาลสุกที่นิ่งด้วยเวลาตั้งแต่ 2 นาทีขึ้นไป มีค่าน้อยกว่าค่าความเข้มสีของเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนิ่ง ($P < 0.05$) ค่าโครมาแสดงความเข้มของสีเหลืองส้มของเนื้อตาลสุก แสดงให้เห็นว่าการนิ่งทำให้สีเหลืองส้มของเนื้อตาลสุกเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่เวลาการนิ่งนานกว่า 2 นาที

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านและไม่ผ่านการนิ่งมีปริมาณแตกต่างกัน ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนิ่งนาน 3 นาที สูงกว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนิ่งและที่ผ่านการนิ่งนาน 6 นาทีขึ้นไป ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนิ่งนาน 6 ถึง 8 นาที ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.1.3 ปริมาณองค์ประกอบโดยประมาณในเนื้อตาลสุก

เนื้อตาลสุกที่ผ่านการนิ่งนาน 8 นาที มีปริมาณองค์ประกอบโดยประมาณดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนิ่งมีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 90% โดยน้ำหนักเปียก และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบจากของแข็งของเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนิ่งพบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในของแข็งของเนื้อตาลสุกแห้งเป็นใยอาหาร (dietary fiber) ประมาณ 0.583 กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง องค์ประกอบส่วนที่เหลือเป็นไขมัน โปรตีน สตาร์ชและเถ้า ซึ่งมีปริมาณโดยประมาณ 0.04 ถึง 0.08 กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง เนื้อตาลสุกแห้งมีปริมาณน้ำตาลในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรักโทสและซูโครส เพียง 0.011 กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง เนื้อตาลสุกแห้งมีปริมาณเถ้าประมาณ 0.056 กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบโดยประมาณในเนื้อตาลสุกนึ่งนาน 8 นาที

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม/100 กรัม-เนื้อตาลสุก)	89.97±2.548
โปรตีน (กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง)	0.046±0.003
ใยอาหารทั้งหมด (กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง)	0.583±0.002
ไขมันหยาบทั้งหมด (กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง)	0.084±0.002
เถ้า (กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง)	0.056±0.002
น้ำตาลทั้งหมด (กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง)	0.011±0.008
สตาร์ช (กรัม/กรัม-เนื้อตาลสุกแห้ง)	0.083±0.010

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

นอกจากนี้เนื้อตาลสุกที่นำมาใช้ได้จากการกระบวนการยีสต์ของเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี เมื่อนำมานึ่งด้วยนาน 8 นาที มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3.5 จึงจัดเป็นอาหารที่เป็นกรด

ตารางที่ 4.3 ปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุกไม่ผ่านการนึ่งและผ่านการนึ่งนาน 8 นาที

จุลินทรีย์	ปริมาณจุลินทรีย์	
	เนื้อตาลไม่นึ่ง	เนื้อตาลนึ่ง
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม)	7.2×10^7	<100
ยีสต์และรา (CFU/กรัม)	2.6×10^6	<10
Coliform และ <i>Escherichia coli</i> (MPN/กรัม)	n/d*	<3

* n/d หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนึ่งและผ่านการนึ่งนาน 8 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา สูงกว่าปริมาณจุลินทรีย์สำหรับผลไม้และอาหารพร้อมบริโภคตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข การนึ่งเนื้อตาลสุกนาน 8 นาที ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ลงจนเป็นไปตามมาตรฐานจุลินทรีย์สำหรับผลไม้และอาหารพร้อม

บริโภคนิยม ซึ่งกำหนดให้เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 ซึ่งกำหนดให้อาหารที่ผ่านการปรุงสุก อาหารพร้อมบริโภค เช่น ผลไม้ ต้องมีจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 CFU/กรัม จำนวน ยีสต์ไม่เกิน 1×10^3 CFU/กรัม จำนวนราไม่เกิน 500 CFU/กรัม และ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

4.2 ผลการศึกษาวิธีการลดความชื้นในเนื้อมาลูก

วิธีการลดความชื้นในเนื้อมาลูกที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ ได้แก่ การใช้ลมร้อนด้วยตู้อบลมร้อน การอบแห้งแช่เยือกแข็ง และการใช้วัสดุช่วยอบแห้งและลมร้อนร่วมกัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ผลการลดความชื้นด้วยการระเหยโดยลมร้อน

เนื้อมาลูกที่ผ่านการนึ่งและไม่ผ่านการนึ่งนาน 8 นาที ดังภาพที่ 4.3 ถูกนำมาอบแห้งโดยใช้ลมร้อนด้วยตู้อบแห้งแบบ Forced air oven ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.3 เนื้อมาลูกก่อนอบแห้ง (ก) ไม่นึ่ง (ข) นึ่งนาน 8 นาที

ผลการทดลองพบว่า เนื้อมาลูกมีการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองส้มก่อนอบแห้ง เป็นสีเหลืองน้ำตาล เมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้นทั้งในเนื้อมาลูกที่ผ่านการนึ่งและไม่ผ่านการนึ่งตามภาพที่ 4.4 เนื้อมาลูกที่ผ่านการนึ่งจะมีสีน้ำตาลเข้มกว่าเนื้อมาลูกที่ไม่ผ่านการนึ่ง เมื่ออบแห้งนาน 4 ชั่วโมง มีลักษณะปรากฏจากการ

สังเกตยังไม่แห้งเพียงพอที่จะป้องกันการเจริญของราได้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน จะเกิดราขึ้นที่ผิวหน้าเนื้อตาลสุกที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน ดังนั้นวิธีลดความชื้นโดยการอบแห้งด้วยลมร้อนจึงเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมในการลดความชื้นจากเนื้อตาลสุก



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.4 เนื้อตาลสุกหลังอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 4 ชั่วโมง (ก) ไม่แห้ง (ข) นึ่งนาน 8 นาที

4.2.2 ผลการลดความชื้นด้วยการระเหิดโดยใช้การทำแห้งแช่เยือกแข็ง

การลดความชื้นในเนื้อตาลสุกที่ผ่านและไม่ผ่านการนึ่งด้วยวิธีการทำแห้งแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องอบแห้งแช่เยือกแข็ง (freeze-drier) ที่อุณหภูมิ -45 องศาเซลเซียส ความดันสูญญากาศ 45 Pa นาน 6 ชั่วโมง พบว่าเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งนาน 8 นาทีและไม่ผ่านการนึ่งมีลักษณะแห้ง มีความชื้นประมาณ 7 % ดังภาพที่ 4.5 (ก) แต่เมื่อทดลองเก็บรักษาในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4-10 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สีเหลืองส้มจะมีสีซีดจางมากขึ้น ดังภาพที่ 4.5 (ข) ทั้งในเนื้อตาลสุกแห้งที่ผ่านการนึ่งและไม่ผ่านการนึ่ง และมีสีซีดจางใกล้เคียงกัน เมื่อเก็บรักษาในตู้เย็นและที่อุณหภูมิห้อง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.5 เนื้อตาลสุกแห้งด้วยวิธีอบแห้งแช่เยือกแข็ง (ก) ก่อนเก็บรักษา (ข) หลังเก็บรักษานาน 1 เดือน

4.2.3 ผลการลดความชื้นด้วยวัสดุช่วยอบแห้งและลมร้อน

เนื่องจากวิธีการทำแห้งแช่เยือกแข็งต้องใช้เครื่องทำแห้งแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีราคาแพง ทำให้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ผู้ประกอบการในท้องถิ่นต้องการนำไปใช้ในการผลิตเนื้อตาลสุกอบแห้ง แต่อาจเหมาะสมสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบในเนื้อตาลสุกน้อยกว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีการอบแห้งที่นิยมใช้ในผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชน เนื่องจากเป็นวิธีการที่ลงทุนต่ำ มีกรรมวิธีและเครื่องมือไม่ซับซ้อน สามารถอบแห้งได้ครั้งละปริมาณมาก ขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งลมร้อน แต่เนื่องจากผลการทดลองในข้อ 4.2.1 ดังกล่าวข้างต้น แสดงว่าเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนไม่เหมาะสมในการอบแห้งอาหารที่เป็นของเหลวข้นหนืด (paste) โดยตรง ทำให้ต้องประยุกต์ใช้วัสดุช่วยทำแห้งอื่น เพื่อช่วยในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน วัสดุอื่นที่นิยมนำมาใช้ช่วยในการอบแห้งด้วยลมร้อน ต้องมีคุณสมบัติเป็นสารพอลิเมอร์ ดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมรอบตัวเองได้ดี แต่ไม่ทำให้เกิดการหลอมละลายได้ง่ายเมื่อดูดความชื้นเข้าสู่อนุภาคของวัสดุช่วยอบแห้ง และต้องช่วยกระจายอนุภาคเนื้อตาลสุกให้แยกออกจากกันได้ดีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการอบแห้ง ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จึงนิยมใช้แป้งชนิดต่าง ๆ ในการช่วยอบแห้งและดูดความชื้นแทน

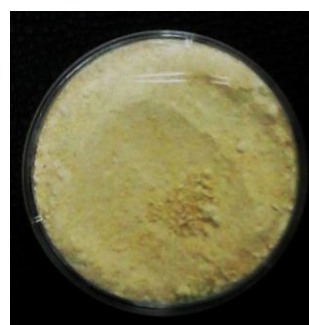
อาหารที่ต้องการรักษาให้มีสภาพแห้ง ซึ่งอาจเรียกวัดช่วยทำแห้งเหล่านี้ว่า anticaking agent (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009)

ในกรณีของเนื้อตาลสุกจึงได้ทดลองนำแป้งข้าวเจ้ามาใช้เป็นวัสดุช่วยอบแห้งโดยผสมกับเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งนาน 8 นาทีในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ดังภาพที่ 4.6 การใช้เนื้อตาลสุกผสมในแป้งข้าวเจ้าด้วยอัตราส่วนเนื้อตาลสุกต่อแป้งข้าวเจ้ามากกว่า 1:1 ทำให้หลังการอบแห้ง ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ มีอนุภาคขนาดใหญ่มาก อบให้แห้งอย่างสม่ำเสมอได้ยาก เนื่องจากเนื้อตาลสุกมักนำไปใช้ในการผสมกับอาหารต่าง ๆ ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบเช่น ขนมตาล ขนมบัวลอย และอื่น ๆ การใช้เนื้อตาลสุกเพียงเล็กน้อยเพื่อผสมกับแป้งผสม เช่น อัตราส่วนเนื้อตาลสุกต่อแป้งผสม 1:3 ถึง 1:5 ในขนมตาล (มนัสนันท์ บุญทราพงษ์, 2544)

ผลการใช้แป้งข้าวเจ้าเพื่อเป็นวัสดุช่วยอบแห้งเนื้อตาลสุก ได้เนื้อตาลสุกอบแห้งผสมแป้งข้าวเจ้าดังภาพที่ 4.6 (ก) ซึ่งพบว่าเนื้อตาลสุกอบแห้งผสมแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน 1:1 มีอนุภาคหลังการอบแห้งใหญ่กว่าเนื้อตาลสุกอบแห้งผสมแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน 1:2 ดังภาพที่ 4.6 (ข) ใช้เวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง โดยหลังอบแห้งนาน 30 นาที ได้นำเนื้อตาลสุกผสมแป้งข้าวเจ้ามาบดด้วยมือ เพื่อลดขนาดอนุภาคของผสมแล้วจึงนำเข้าอบแห้งต่อจนครบ 4 ชั่วโมง โดยความชื้นของเนื้อตาลสุกผสมแป้งข้าวเจ้าหลังอบแห้งประมาณร้อยละ 2-3 และเนื่องจากต้องการอบแห้งเนื้อตาลสุกโดยให้มีปริมาณวัสดุช่วยอบแห้งน้อยที่สุดจึงเลือกนำเนื้อตาลสุกผสมแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน 1:1 มาใช้ทดลองเก็บรักษา ผลการเก็บรักษาเนื้อตาลสุกผสมแป้งข้าวเจ้าได้ผลดังภาพที่ 4.7



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.6 เนื้อตาลสุกผสมแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วน (ก) 1:1 (ข) 1:2 ที่ผ่านการอบแห้งก่อนเก็บรักษา

เมื่อนำเนื้อตาลสุกอบแห้งผสมแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วน 1:1 มาทดลองเก็บรักษาในซองลามิเนท (Nylon/Aluminium/Polyester) พบว่าเกิดการซีดจางของสีเหลืองส้มจนในที่สุดกลายเป็นสีขาวเมื่อเก็บรักษานานไม่เกิน 1 เดือน ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 เนื้อตาลสุกผสมแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วน 1:1 หลังเก็บรักษานาน 1 เดือน

ดังนั้นวิธีการทำแห้งเนื้อตาลสุกที่เหมาะสม คือ การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแช่เยือกแข็ง และหลังการอบแห้งเนื้อตาลสุกแห้งมีสีซีดจางมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นเมื่ออบแห้งแล้วจึงไม่ควรเก็บรักษาเนื้อตาลสุกแห้งนานหลายอาทิตย์

4.3 ผลการพัฒนาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

จากผลการทำแห้งเนื้อตาลสุกตามข้อ 4.2 พบว่าการทำแห้งเนื้อตาลสุก จะทำให้เนื้อตาลสุกแห้งมีสีซีดจาง และเมื่อนำเนื้อตาลสุกผสมกับวัสดุช่วยทำแห้งชนิดต่าง ๆ แล้วนำไปอบแห้ง ก็ทำให้เนื้อตาลสุกแห้งเกิดสีซีดจางตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นการนำทั้งแป้งที่ช่วยทำแห้งและเนื้อตาลสุกไปผ่านการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากตามผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อตาลสุกพบว่า เนื้อตาลสุกเป็นแหล่งใยอาหารและแคโรทีนอยด์ ผู้วิจัยได้คัดเลือกแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังมาเป็นวัสดุช่วยทำแห้ง เนื่องจากมีราคาถูกและมักนำไปผลิตอาหารจำพวกเส้นก๋วยเตี๋ยว (นิดดา หงส์วิวัฒน์, 2541)

4.3.1 ผลของปริมาณเนื้อตาลสุกในแป้งผสมต่อลักษณะและปริมาณผลได้ของแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

แผ่นแป้งผสมที่มีและไม่มีเนื้อตาลสุกก่อนการอบแห้งซึ่งมีส่วนประกอบตามตารางที่ 3.1 โดยสูตรพื้นฐาน เป็นสูตรที่ไม่มีเนื้อตาลสุก และแผ่นแป้งผสมเนื้อตาลสุกแต่ละแผ่นก่อนอบแห้งตามสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 จะมีปริมาณองค์ประกอบที่เป็นของแข็งและที่เป็นน้ำในเนื้อตาลสุกและในแป้งผสมดังตารางที่ 4.4 โดยที่เนื้อตาลสุกแห้งที่ผ่านการคั่วตัวแต่ละครั้งมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 89

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของแป้งเนื้อตาลสุกในแต่ละสูตรก่อนอบแห้ง

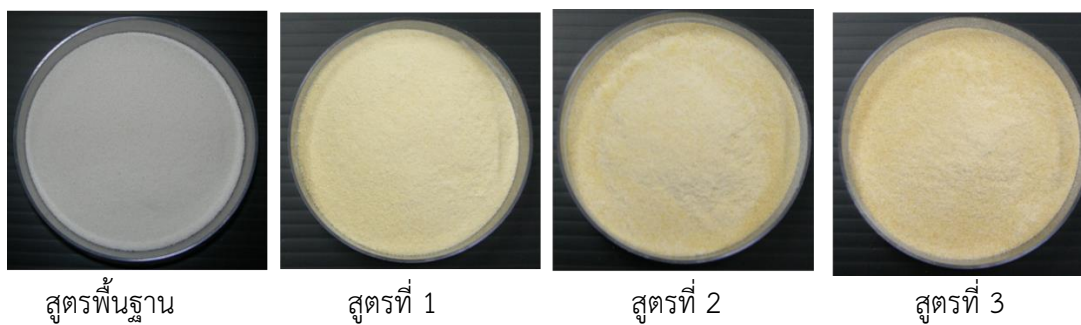
สูตรเส้น แป้ง	องค์ประกอบ/แผ่นแป้ง (กรัม)				% yield
	ของแข็งใน เนื้อตาลสุก *	น้ำใน เนื้อตาลสุก *	แป้งผสม [§]	น้ำ	
สูตรพื้นฐาน	-	-	43.20	46.80	57.16±0.07 ^a
สูตรที่ 1	1.24	10.71	37.24	40.81	50.45±0.06 ^b
สูตรที่ 2	2.18	18.82	32.73	36.27	45.02±0.27 ^c
สูตรที่ 3	2.92	25.18	29.19	32.71	43.36±0.23 ^d

* ปริมาณเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทุกครั้ง

[§] แป้งผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 3:2

ปริมาณผลได้มีค่าลดลงตามปริมาณเนื้อตาลสุกที่เพิ่มขึ้น ปริมาณผลได้ของสูตรพื้นฐานมีค่ามากที่สุด เพราะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมากที่สุด เมื่อผสมเนื้อตาลสุกในปริมาณเพิ่มขึ้นจากสูตร 1 ถึง สูตร 3 พบว่าจะทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง ($P < 0.05$) ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณเนื้อตาลสุกที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากแป้งผสมใน 1 แผ่น มีปริมาณลดลง แต่มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อนำไปอบแห้ง น้ำจึงระเหยไป ทำให้เหลือปริมาณผลได้ลดลงตามลำดับ โดยแต่ละสูตรใช้เวลาอบแห้ง 3 ชั่วโมง เท่ากันทุกสูตร อัตราส่วนการทำแห้งของแป้งเนื้อตาลสุกกึ่งสำเร็จรูปแต่ละสูตรดังตารางที่ 4.5 พบว่าอัตราส่วนการทำแห้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเนื้อตาลสุกที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนการทำแห้งแสดงปริมาณน้ำที่ถูก

กำจัดออกจากแป้งเนื้อตาลสุกระหว่างการอบแห้ง ทั้งนี้เป็นเพราะในแผ่นแป้งเนื้อตาลสุกมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแป้งผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังลดลง ทำให้ปริมาณผลได้ลดลง



ภาพที่ 4.8 ลักษณะปรากฏของผงแป้งสำเร็จรูปที่มีปริมาณเนื้อตาลสุกแตกต่างกัน

แป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่มีปริมาณเนื้อตาลสุกแตกต่างกันมีลักษณะปรากฏตามภาพที่ 4.8 ซึ่งจะพบว่าสีของแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสำเร็จรูปมีสีเหลืองอ่อน และมีสีเหลืองเข้มมากขึ้นเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.9 ลักษณะปรากฏของเส้นแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกหลังอบแห้ง (ก) สูตรพื้นฐาน (ข) สูตร 1 (ค) สูตร 2 และ (ง) สูตร 3

แป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นเส้นมีลักษณะปรากฏตามภาพที่ 4.9 แป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่มีปริมาณเนื้อตาลสุกมากขึ้นจะมีสีส้มเข้มขึ้น เนื่องจากสีของแคโรทีนอยด์ใน

เนื้อตาลสุก นอกจากนี้ความหนาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกน้อยกว่าของสูตรพื้นฐาน เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกก่อนอบแห้งตามตารางที่ 4.4 มีปริมาณน้ำมากกว่าเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน และยังมีปริมาณเนื้อตาลสุกมากขึ้น ปริมาณน้ำในเส้นมีมากขึ้น เมื่อผ่านการอบแห้ง น้ำระเหยออกจากเส้นแบ่ง ทำให้เส้นแบ่งเกิดการยุบตัว ยังมีปริมาณน้ำในเส้นแบ่งมาก ความหนาของเส้นยังน้อย

เมื่อนำเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่มีปริมาณเนื้อตาลสุกต่าง ๆ มาทดสอบคุณสมบัติในการคืนตัวเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐานได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

4.3.2 ผลของปริมาณเนื้อตาลสุกในแป้งผสมต่อกระบวนการทำแห้งและคืนตัวของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูป

เมื่อนำแป้งที่มีและไม่มีเนื้อตาลสุกในปริมาณต่าง ๆ ที่ผ่านการเตรียมจนได้เป็นเส้นแบ่ง แล้วอบแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระหว่างการอบแห้งแต่ละชั่วโมง ชั่งน้ำหนักถาดสแตนเลสที่มีเส้นแบ่งวางอยู่ เพื่อคำนวณผลของปริมาณเนื้อตาลสุกต่ออัตราส่วนการทำแห้ง ได้ผลดังตารางที่ 4.5

(1) ผลของปริมาณเนื้อตาลสุกในเส้นแบ่งต่อกระบวนการทำแห้ง ตามตารางที่ 4.5 พบว่าเส้นแบ่งที่มีเนื้อตาลสุกมีอัตราส่วนการทำแห้งสูงกว่าเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานซึ่งไม่มีเนื้อตาลสุก และเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกในเส้นแบ่งเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราส่วนการทำแห้งเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูประหว่างการทำแห้งและการคืนตัว

เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูป	อัตราส่วนการทำแห้ง	อัตราส่วนการคืนตัว	อัตราการคืนตัว (นาที่ ⁻¹)	สัมประสิทธิ์การคืนตัว	ปริมาณน้ำในเส้นแบ่งหลังคืนตัว (กรัม-น้ำ)
สูตรพื้นฐาน	1.78 ^a	2.07 ^a	0.065 ^a	1.14 ^c	1.15 ^b
สูตร 1	1.98 ^b	1.64 ^b	0.384 ^b	0.92 ^a	0.89 ^a
สูตร 2	2.22 ^c	1.87 ^c	0.191 ^c	1.05 ^b	0.96 ^a
สูตร 3	2.31 ^d	2.02 ^a	0.188 ^c	1.13 ^c	1.18 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ

นัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

(2) ผลของปริมาณเนื้อตาลสุกต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกก่อนการคั่ว เมื่อนำเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปที่มีและไม่มีเนื้อตาลสุกซึ่งอบแห้งแล้วมาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ปริมาณแคโรทีนอยด์ ค่าสี L^* a^* b^* และค่า chroma ได้ผลดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ค่าน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น และปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกก่อนคั่ว

เส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูป	น้ำอิสระ (a_w)	ความชื้น (กรัม/100 กรัม-ตัวอย่าง)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมเทียบเท่า β -carotene / กรัม-ตัวอย่างแห้ง)
สูตรพื้นฐาน	0.429±0.07 ^a	7.19±0.74 ^a	n/d*
สูตรที่ 1	0.320±0.06 ^b	4.67±0.41 ^b	9.09±0.48 ^a
สูตรที่ 2	0.368±0.02 ^c	5.07±0.16 ^b	25.85±2.63 ^b
สูตรที่ 3	0.420±0.01 ^a	5.59±0.70 ^b	52.17±0.48 ^c

หมายเหตุ * n/d หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตัวอักษรที่ต่างกันไปในแนวสทมภ์หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 ค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติและมากกว่าของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 2 และสูตร 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความชื้นทั้งหมดในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปแต่ละสูตร พบว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานมีค่าความชื้นทั้งหมดมากที่สุดและมากกว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกแต่ละสูตรมีปริมาณความชื้นทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นทั้งหมดและปริมาณองค์ประกอบในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปแต่ละสูตรตามตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณความชื้นในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปลดลงเมื่อปริมาณแป้งผสมลดลง แต่เมื่อเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปมีเนื้อตาลสุกเป็นองค์ประกอบ แม้ว่าปริมาณแป้งจะลดลงแต่มีปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกไม่ได้ลดลงตามไปด้วย

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีค่าเรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ สูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 ตามลำดับ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้นตามปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้นในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

ตารางที่ 4.7 ค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกและเส้นแบ่งสูตรพื้นฐาน ก่อนคั้นตัว

เส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูป	L^*	a^*	b^*	chroma
สูตรพื้นฐาน	66.23±0.91 ^a	0.33±0.02 ^d	15.80±0.13 ^d	15.81±0.13 ^d
สูตร 1	49.91±0.58 ^b	20.54±0.16 ^c	50.63±1.30 ^a	54.64±1.28 ^a
สูตร 2	45.64±0.48 ^c	22.84±0.26 ^b	45.49±0.53 ^b	50.90±0.50 ^b
สูตร 3	40.87±0.66 ^d	23.54±0.16 ^a	40.15±0.42 ^c	46.55±0.22 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 สูงกว่าสูตร 2 และสูงกว่าสูตร 3 ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีค่าสูงกว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน เส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 มีค่าน้อยกว่าสูตร 2 และสูตร 3 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความเข้มสี (chroma) ของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานมากกว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก และเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 มีค่า b^* และค่าโครมาสูงกว่าสูตร 2 และสูตร 3 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณเนื้อตาลสุกในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปทำให้ค่า L^* ลดลง ค่า a^* เพิ่มขึ้น และค่า b^* และ chroma ลดลง ลักษณะสีของค่า $L^* a^* b^*$ และค่าโครมาสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปตามภาพที่ 4.9

(3) ผลของปริมาณเนื้อตาลสุกต่อลักษณะการคั้นตัวของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูป ลักษณะการคั้นตัวของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปพิจารณาจากค่าอัตราส่วนการคั้นตัว อัตราการคั้นตัว สัมประสิทธิ์การคั้นตัว และปริมาณน้ำในตัวอย่างที่คั้นตัวแล้ว ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.5 โดยพบว่าอัตราส่วนการคั้นตัวของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตรพื้นฐานไม่แตกต่างจากสูตร 3 และมีค่าสูงกว่าสูตร 2 และสูตร 2 มี

อัตราส่วนการคืนตัวสูงกว่าสูตร 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) ในขณะที่อัตราการคืนตัวของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตรพื้นฐานมีค่าน้อยที่สุด และเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อเส้นแบ่งสำเร็จรูปมีปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น อัตราการคืนตัวมีแนวโน้มลดลง

นอกจากนี้จากการสังเกต พบว่าการคืนตัวของของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีค่าน้อยกว่าเส้นแบ่งที่ไม่มีเนื้อตาลสุก ยกเว้นเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 ซึ่งมีอัตราส่วนการคืนตัวไม่แตกต่างจากเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน แสดงว่าแม้ว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 จะมีปริมาณผลได้ต่ำ สูญเสียน้ำระหว่างการอบแห้งสูงกว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตรอื่น แต่เมื่อนำไปคืนตัวจะสามารถคืนตัวได้เทียบเท่ากับเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่ไม่มีเนื้อตาลสุก ในขณะที่เส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 และ 2 คืนตัวได้น้อยกว่าสูตรพื้นฐาน

เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัวของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูป พบว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติและมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าเส้นแบ่งหลังการคืนตัวมีน้ำหนักมากกว่าเส้นแบ่งก่อนอบแห้ง หรือเส้นแบ่งทั้งสองชนิดดูดซับน้ำได้มากกว่าเส้นแบ่งก่อนอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำในเส้นแบ่งหลังคืนตัว ส่วนสัมประสิทธิ์การคืนตัวของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 2 และสูตร 3 มีค่าน้อยกว่าสูตรพื้นฐานและมีค่าใกล้เคียง 1 นั่นคือน้ำหนักของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกสูตร 2 และสูตร 3 หลังดูดซับน้ำมีค่าใกล้เคียงกับเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกก่อนอบแห้ง

(4) ผลของปริมาณเนื้อตาลสุกต่อคุณภาพเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกหลังการคืนตัว เมื่อนำเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน และเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมาคืนตัวโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องจนเส้นคืนตัวเต็มที่ (rehydration) ไม่มีแกนกลางเส้นแข็ง จะได้เส้นแบ่งสูตรพื้นฐาน และเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกสูตร 1-3 ลักษณะเส้นแบ่งหลังการคืนตัวดังภาพที่ 4.10 จะพบว่าเมื่อเส้นแบ่งมีลักษณะปรากฏ เช่น ขนาดเส้นไม่แตกต่างกัน แม้ว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 จะมีขนาดเล็กกว่าสูตรอื่นหลังการทำแห้ง ความชื้นของเส้นแบ่งสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 และขนาดเส้นมีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนการคืนตัวของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปในตารางที่ 4.5 ที่มีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 1.65 ถึง 2.07



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.10 ลักษณะปรากฏของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกหลังการคั่ว (ก) สูตรพื้นฐาน (ข) สูตร 1 (ค) สูตร 2 และ (ง) สูตร 3

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่อเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานได้รับการคั่วจะมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลงจนมีค่าเป็นลบ ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่า chroma ลดลง ซึ่งบ่งชี้ว่าหลังการคั่วเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานมีสีขาวมากกว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรเดียวกัน สอดคล้องกับลักษณะปรากฏตามภาพที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.8 ค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ และค่าโครมาของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปหลังการคั่ว

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	chroma
สูตรพื้นฐาน	73.45 ± 0.98^a	-1.15 ± 0.08^c	6.66 ± 0.04^c	6.76 ± 0.03^d
สูตรที่ 1	57.47 ± 1.96^b	15.46 ± 0.88^c	44.18 ± 1.08^b	46.81 ± 1.27^a
สูตรที่ 2	55.64 ± 1.04^b	19.94 ± 0.02^b	50.62 ± 1.77^a	54.40 ± 1.64^b
สูตรที่ 3	51.54 ± 0.09^c	21.06 ± 0.38^a	52.32 ± 1.12^a	56.40 ± 1.18^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

เส้นแบ่งเนื้อตาลสุกสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 ที่ผ่านการคั่วจะมีค่า L^* ลดลง ค่า a^* เพิ่มขึ้น ค่า b^* และค่าโครมาเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกในตารางที่ 4.7 พบว่าเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกที่ได้รับการคั่วแล้วมีค่า L^* เพิ่มขึ้น

ค่า a^* ลดลงเล็กน้อย ทุกสูตร ส่วนค่า b^* และค่าโครมาของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกสูตร 1 ที่คั่วแล้วมีค่าน้อยกว่า แต่ของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกสูตร 2 และสูตร 3 มีค่ามากกว่า บ่งชี้ว่าเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกสูตร 1 ที่คั่วแล้วมีสีส้มเข้มน้อยลง แต่เส้นแบ่งเนื้อตาลสุกสูตร 2 และสูตร 3 มีสีส้มเข้มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกในสูตรเดียวกัน

ตารางที่ 4.9 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกหลังคั่ว

ลักษณะเนื้อสัมผัส	สูตรพื้นฐาน	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ความเหนียวติด (กรัม) (stickiness)	119.80±19.959 ^a	70.428±10.130 ^b	51.750±29.736 ^{bc}	45.166±10.943 ^c
ความแข็ง (กรัม) (Hardness)	2494.9±152.67 ^a	1436.2±76.845 ^d	1582.6±161.33 ^c	1841.1±88.218 ^b
การยึดติด (กรัม/วินาที) (Adhesiveness)	10.276±5.1258 ^d	12.941±3.9384 ^c	18.478±4.8552 ^b	21.703±7.4521 ^a
ความตึง (springiness)	0.9449±0.0576 ^a	0.8436±0.0482 ^b	0.8603±0.0430 ^b	0.8538±0.0243 ^b
การเกาะติดกันเอง (cohesiveness)	0.6407±0.0309 ^a	0.4586±0.0257 ^b	0.4369±0.0280 ^b	0.4473±0.0110 ^b
ความเหนียวเคี้ยวได้ (gumminess)	1598.5±127.92 ^a	630.89±46.531 ^d	714.15±86.279 ^c	822.82±35.397 ^b
ความเคี้ยวได้ (chewiness)	1509.5±143.67 ^a	533.69±65.014 ^d	617.24±102.77 ^c	702.96±45.514 ^b
ความหยุ่น (resilience)	0.3556±0.0327 ^a	0.1861±0.0123 ^b	0.1827±0.0236 ^b	0.1941±0.0091 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกที่ได้รับการคั่วแต่ละสูตรแตกต่างกันตามปริมาณเนื้อตาลสุกที่เพิ่มขึ้นและแตกต่างจากเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานที่คั่วแล้ว ค่าความ

เหนียวติด (stickiness) ของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกมีค่าน้อยกว่าเส้นแป้งสูตรพื้นฐาน และเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเหนียวติดของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าความแข็ง (hardness) ความเหนียวเคี้ยวได้ (gumminess) และความเคี้ยวได้ (chewiness) ของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกน้อยกว่าเส้นแป้งสูตรพื้นฐานค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าเนื้อตาลสุกทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสทั้งสามลดลงมาก อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกในเส้นแป้งเพิ่มขึ้นในสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 พบว่า ค่าทั้งสามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ค่าการยึดติด (adhesiveness) ของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกมีค่าสูงกว่าเส้นแป้งสูตรพื้นฐานเล็กน้อยหลังการคั่ว และเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้นค่าการยึดติดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเส้นแป้งเนื้อตาลสุกสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 ตามลำดับ

ค่าความตึง (springiness) การเกาะติดกันเอง (cohesiveness) และความหยุ่น (resiliene) ของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกมีค่าน้อยกว่าของสูตรพื้นฐานเล็กน้อย แต่เมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้นเรียงตามปริมาณน้อยไปมากจากเส้นแป้งเนื้อตาลสุกสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 ตามลำดับ ค่าทั้ง 3 มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.10 ปริมาณจุลินทรีย์ในเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกหลังการคั่ว

เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูป	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)	โคลิฟอร์ม MPN/กรัม
สูตรพื้นฐาน	490	<100	< 3
สูตรที่ 1	<100	<100	< 3
สูตรที่ 2	<100	<100	< 3
สูตรที่ 3	<100	<100	< 3

จากตารางที่ 4.10 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา และปริมาณโคลิฟอร์มในเส้นแป้งสูตรพื้นฐานและเส้นแป้งเนื้อตาลสุกสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 มีปริมาณน้อย ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในเส้นแป้งสูตรพื้นฐานเท่ากับ 490 โคโลนี/กรัม ส่วนในเส้นแป้งเนื้อตาลสุกทั้ง 3 สูตรมีไม่เกิน 100 โคโลนี/กรัม

ปริมาณยีสต์และราทั้งในเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกที่คั่นตัวแล้วมีไม่เกิน 100 โคโลนี/กรัม และปริมาณโคลิฟอร์มทั้งในเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกทั้งสามสูตรมีไม่เกิน 3 MPN/กรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2548)

ตารางที่ 4.11 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูป หลังการคั่นตัว

เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูป	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่นรส ^{ns}	ความเหนียวนุ่ม ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
สูตรพื้นฐาน	3.42±0.19 ^b	3.70±0.78	3.58±0.73	3.72±0.90	3.76±0.79
สูตร 1	3.98±0.82 ^a	4.02±0.68	3.64±0.80	3.64±0.98	4.00±0.83
สูตร 2	3.79±0.85 ^{ab}	3.96±0.75	3.76±0.79	3.76±0.89	4.00±0.72
สูตร 3	3.42±0.99 ^b	3.80±0.78	3.64±0.73	3.72±0.90	3.76±0.79

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ($P > 0.05$)

คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกทั้ง 3 สูตรและเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานดังตารางที่ 4.11 จะพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกทั้ง 3 สูตร ที่คั่นตัวแล้วในระดับความชอบเฉย ๆ ถึงความชอบเล็กน้อย โดยคะแนนความชอบในทุกด้านทั้งลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความเหนียวนุ่มและความชอบโดยรวมของเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ดังนั้นจากการทดสอบคุณลักษณะของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกทั้งสามสูตรทั้งด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ก่อนและหลังการคั่นตัว จึงเลือกเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 2 ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะระหว่างกระบวนการเก็บรักษา เนื่องจากเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีลักษณะทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี ความชื้น ค่าน้ำอิสระ ก่อนการคั่นตัวใกล้เคียงกัน เส้นแบ่งเนื้อตาลสุกทั้ง 3 สูตรหลังการคั่นตัวมีลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณจุลินทรีย์ ความชอบของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกทั้ง 3 สูตรไม่แตกต่างกัน

และแม้ว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 จะมีมากกว่าสูตร 2 แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเส้นแบ่ง ในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นแบ่งจากน้ำแป้ง พบว่าน้ำแป้งที่มีเนื้อตาลสุกสูตร 3 มีความข้นหนืดสูงมาก ยากต่อการขึ้นรูปเป็นแผ่นแบ่งที่มีความหนาสม่ำเสมอ จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเส้นแบ่งเนื้อตาลสุก ดังนั้นจึงเลือกเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 2 เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

4.4 ผลการประเมินอายุการเก็บรักษาแป้งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

เส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 2 ถูกบรรจุในซองพลาสติก 2 ชนิด คือ ซองพอลิโพรพิลีนไสและซองลามิเนท และทดลองเก็บรักษาใน 2 สภาวะ คือสภาวะมีแสงสว่างจากแสงอาทิตย์ โดยวางใกล้หน้าต่างให้ได้รับแสงสว่างจากแสงอาทิตย์แต่ไม่มีแสงแดดส่องถึง (ที่สว่าง) และในมิดที่อุณหภูมิห้อง และทดลองเก็บรักษาเป็นเวลา 45 วัน ระหว่างเดือน ตุลาคม ถึง ธันวาคม คุณลักษณะของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกถูกนำมาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

ตารางที่ 4.12 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ความชื้น (กรัม-น้ำ/100 กรัม-ตัวอย่าง)		
	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่สว่าง)	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่มืด)	ซองลามิเนท (เก็บที่สว่าง)
0	5.58±0.47 ^e	5.58±0.47 ^e	5.58±0.47 ^e
14	7.09±0.22 ^{ab}	6.35±0.24 ^{cd}	5.73±0.43 ^{de}
45	7.73±0.37 ^a	6.44±0.40 ^{bc}	6.27±0.26 ^{cde}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในตารางแสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

ผลของสภาวะการเก็บรักษา ชนิดบรรจุภัณฑ์ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูป

ที่บรรจุในซองพอลิโพรพิลีนที่เก็บรักษาในที่สว่างและที่มีค่าเพิ่มขึ้น ภายในระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน ในขณะที่ความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่เก็บรักษาในซองลามิเนทในที่สว่าง ไม่เพิ่มขึ้น แม้ว่าจะรักษานานถึง 45 วัน เมื่อเปรียบเทียบความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปที่มีระยะเวลาการเก็บรักษา เท่ากัน พบว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีนในที่สว่างมีค่าความชื้นสูงกว่าเส้นแบ่งกิ่ง สำเร็จรูปที่เก็บรักษาในซองชนิดเดียวกันในที่มืด และเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปที่เก็บรักษาในซองลามิเนทและเก็บ รักษาในที่สว่างมีค่าความชื้นต่ำสุด

ตารางที่ 4.13 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าความชื้นของเส้นแบ่ง กิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ความชื้น (กรัม-น้ำ/100 กรัม-ตัวอย่าง)		
	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่สว่าง)	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่มืด)	ซองลามิเนท (เก็บที่สว่าง)
0	6.72±0.28 ^{ba}	6.72±0.28 ^{ba}	6.72±0.28 ^{ba}
14	6.81±0.25 ^{abB}	6.87±0.17 ^{abB}	6.76±0.18 ^{abB}
45	7.18±0.57 ^{aC}	7.32±0.45 ^{aC}	6.83±0.40 ^{aC}

หมายเหตุ : ตัวอักษรอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

ตัวอักษรอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแถวเดียวกันแสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ สภาวะการเก็บรักษาและระยะเวลาต่อความชื้นในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจาก เนื้อตาลสุกดังตารางที่ 4.13 ความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน และซองบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และที่ระยะเวลาการเก็บ รักษาเท่ากัน ความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ไม่ว่าจะเก็บในสภาวะมืดหรือสว่าง ซองพอลิโพรพิลีนหรือซองลามิเนท

ตารางที่ 4.14 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่าง และระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่ง
กิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	a_w		
	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่สว่าง)	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่มืด)	ซองลามิเนท (เก็บที่สว่าง)
0	0.433±0.003 ^c	0.433±0.003 ^c	0.433±0.003 ^c
14	0.517±0.006 ^{bc}	0.532±0.007 ^b	0.432±0.002 ^c
45	0.643±0.017 ^a	0.648±0.012 ^a	0.458±0.048 ^{bc}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในตารางแสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานดังตารางที่ 4.14 ค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีนทั้งในที่มืดและในที่สว่าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($P < 0.05$) แต่ค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่เก็บรักษาในซองลามิเนทไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษานาน 45 วัน การเพิ่มขึ้นของค่าน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีนตามตารางที่ 4.12

นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่เก็บรักษาในซองลามิเนทมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 45 วัน ตามตารางที่ 4.12 แต่ค่าน้ำอิสระไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าน้ำที่เส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานดูดซับไว้จนทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นไม่ใช่น้ำอิสระ แต่เป็นน้ำที่เกิดพันธะทางเคมีกับโมเลกุลขององค์ประกอบของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูป จึงทำให้ค่าความชื้นของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้น้ำอิสระเพิ่มขึ้น

ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลูกแสดงดังตารางที่ 4.15 ค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลูกที่บรรจุในซองพอลิโพรพิลีนและเก็บรักษาในที่มืดและที่สว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาขึ้น แต่ค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลูกที่บรรจุในซองลามิเนทไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.15 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าน้ำอิสระของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	ค่าน้ำอิสระ (a_w)		
	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่สว่าง)	ซองพอลิโพรพิลีน (เก็บที่มืด)	ซองลามิเนท (เก็บที่สว่าง)
0	0.440±0.005 ^e	0.440±0.005 ^e	0.440±0.005 ^e
14	0.586±0.010 ^c	0.565±0.005 ^d	0.432±0.002 ^e
45	0.617±0.005 ^b	0.648±0.012 ^a	0.458±0.048 ^e

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในตารางแสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ สภาวะการเก็บรักษาและระยะเวลาต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าโครมาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ดังแสดงในตารางที่ 4.16 จะพบว่าระยะเวลา สภาวะการเก็บรักษาและชนิดบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อค่าสีและค่าโครมาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน แต่มีผลต่อค่าความสว่างและค่าโครมาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก โดยค่าความสว่างของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีน ในที่สว่างมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าความสว่างของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีนในที่มืดและซองลามิเนทที่เก็บรักษาในที่สว่างมีแนวโน้มลดลง

ค่าโครมาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีนในที่สว่างและในที่มืดมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าโครมาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองลามิเนทไม่เปลี่ยนแปลง ค่าโครมา บ่งชี้ความเข้มสีของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก นั่นคือเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีนมีแนวโน้มที่ความเข้มสีเหลืองส้มลดลง ดังภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.16 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อค่าความสว่างและค่า chroma ของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

ระยะเวลา (วัน)	สถานะเก็บ	สูตรพื้นฐาน		สูตรเนื้อตาลสุก	
		ความสว่าง	chroma	ความสว่าง	chroma
0	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่สว่าง)	69.20 ^a	17.20 ^a	44.11 ^{ab}	46.93 ^a
	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่มืด)	66.70 ^a	16.37 ^{ab}	42.41 ^{bcd}	48.33 ^b
	ซองลามิเนท (ที่สว่าง)	67.20 ^a	16.39 ^{ab}	42.50 ^{abc}	46.65 ^a
14	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่สว่าง)	67.90 ^a	15.81 ^b	40.01 ^e	45.77 ^a
	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่มืด)	67.23 ^a	15.99 ^b	42.79 ^{abc}	46.27 ^a
	ซองลามิเนท (ที่สว่าง)	67.80 ^a	16.33 ^{ab}	44.24 ^{ab}	45.80 ^a
26	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่สว่าง)	67.75 ^a	16.04 ^b	40.82 ^{de}	44.42 ^c
	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่มืด)	68.03 ^a	16.39 ^{ab}	44.39 ^a	47.16 ^b
	ซองลามิเนท (ที่สว่าง)	67.98 ^a	16.27 ^{ab}	43.88 ^{ab}	46.04 ^a
45	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่สว่าง)	67.85 ^a	15.77 ^b	40.39 ^{de}	44.06 ^c
	ซองพอลิโพรพิลีน (ที่มืด)	68.72 ^a	15.86 ^b	43.23 ^{ab}	46.03 ^a
	ซองลามิเนท (ที่สว่าง)	68.14 ^a	15.80 ^b	43.30 ^{ab}	45.53 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 4.11 ลักษณะปรากฏของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกหลังเก็บรักษาในสถานะ (ก) ซองพอลิโพรพิลีน ในที่มืด (ข) ซองพอลิโพรพิลีน ในที่สว่าง (ค) ซองลามิเนท ในที่สว่าง

ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ สภาวะการเก็บรักษาและระยะเวลาต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกดังแสดงในตารางที่ 4.17 พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 45 วัน เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองพอลิพรอพิลีนมีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าในเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองลามิเนทในที่สว่าง

ตารางที่ 4.17 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ ความสว่างและระยะเวลาเก็บรักษาต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

สภาวะเก็บรักษา	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมเทียบเท่า β -carotene /กรัม-ตัวอย่าง)	
	0	45
ซองพอลิพรอพิลีนในที่สว่าง	25.84 $\pm$ 2.633	15.52 $\pm$ 0.175 ^a
ซองพอลิพรอพิลีนในที่มืด	25.84 $\pm$ 2.633	13.52 $\pm$ 0.166 ^b
ซองลามิเนทในที่สว่าง	25.84 $\pm$ 2.633	19.64 $\pm$ 0.107 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ $\alpha = 0.05$ ($P < 0.05$)

การลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าโครมาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกตามผลการทดลองในตารางที่ 4.16 อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ไม่ใช่เชิงเส้นตรง แม้ว่าปริมาณแคโรทีนอยด์จะลดลงครึ่งหนึ่งของเริ่มต้น แต่ค่าความสว่างและค่าโครมาของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ($P < 0.05$)

ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ควรใช้ซองลามิเนทที่มีวัสดุหลายชั้น ได้แก่ ชั้นของพอลิเอสเตอร์ ชั้นอะลูมิเนียม ฟอยด์และชั้นของไนลอน ซึ่งจะป้องกันการผ่านเข้าออกของไอน้ำและแก๊สจากบรรยากาศได้ดีกว่าการใช้ซองพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีวัสดุชั้นเดียว การเก็บรักษาเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ควรเก็บในที่มืด แห้ง และเก็บรักษาได้ไม่ต่ำกว่า 45 วัน

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 วัตถุประสงค์ และวิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป

เนื้อมะเขือเทศได้จากผลตาลของต้นตาลโตนด ซึ่งมีมากในจังหวัดเพชรบุรีและหลายจังหวัดในประเทศไทย เป็นผลไม้ที่มีเนื้อสีเหลืองส้มของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นโปร-วิตามินเอ มักถูกนำไปใช้ในการผสมกับอาหารเพื่อเพิ่มสีส้มและรสชาติ แต่เนื่องจากในการบวนการแยกเนื้อมะเขือเทศออกจากผลตาลสุก ทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ รวมทั้งเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติของเนื้อมะเขือเทศและทำให้เนื้อมะเขือเทศเปลี่ยนสี มีสีซีดจางลง วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ 1) เพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อมะเขือเทศทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ 2) เพื่อศึกษาวิธีการลดความชื้นในเนื้อมะเขือเทศ 3) เพื่อพัฒนาสูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อมะเขือเทศ 4) เพื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อมะเขือเทศกับเนื้อมะเขือเทศ

วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป เริ่มจากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่ทำให้เนื้อมะเขือเทศเสื่อมเสียระหว่างการเก็บรักษา และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ของเนื้อมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยไอน้ำที่ระยะเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 10 นาที เปรียบเทียบกับเนื้อมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการนึ่ง เมื่อได้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งเนื้อมะเขือเทศ จึงนำเนื้อมะเขือเทศมาลดความชื้นด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การใช้ลมร้อน การอบแห้งแช่แข็ง และการใช้วัสดุช่วยทำแห้งร่วมกับลมร้อน และศึกษาคุณภาพของเนื้อมะเขือเทศที่กำจัดน้ำด้วยวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้เนื้อมะเขือเทศแห้งมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่าเนื้อมะเขือเทศ โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้อยที่สุด เนื้อมะเขือเทศที่ผ่านการกำจัดน้ำจะนำมาทดสอบการเก็บรักษาเพื่อประเมินคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา เนื้อมะเขือเทศถูกนำมาผสมกับแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อพัฒนาสูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อมะเขือเทศและอาหารจากแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อมะเขือเทศ แล้วคัดเลือกสูตรแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อมะเขือเทศที่เหมาะสมทั้งในการผลิตและความชอบของผู้บริโภค สูตรที่เหมาะสมถูกนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ได้แก่ การเก็บรักษาในช่องพอลิโพรพิลีนในที่มืดและที่สว่าง การเก็บรักษาในช่องลามิเนตที่ป้องกันแสงและแก๊สผ่านได้ในที่มืดและที่สว่าง

5.2 ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การให้ความร้อนโดยการนึ่งเนื้อตาลสุกนาน 8 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้อย่างสมบูรณ์ และช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุกให้มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการบริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนึ่ง ซึ่งมีเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่ทำให้เนื้อตาลสุกเสื่อมเสีย และไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค และมีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วย ถ้าอาหารที่นำเนื้อตาลสุกไปผสมมีการให้ความร้อนที่ไม่เพียงพอในการทำลายจุลินทรีย์ คุณภาพของเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งนาน 8 นาที จะมีลักษณะปรากฏทางสีไม่แตกต่างจากเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนึ่ง มีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อวัดค่าสีในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ พบว่า ค่าความสว่างและค่าโครมาซึ่งแสดงความเข้มของสี จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการนึ่งนานขึ้น

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบในเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งนาน 8 นาที พบว่า องค์ประกอบหลักในเนื้อตาลสุกเป็นน้ำ ซึ่งมีประมาณ 90% องค์ประกอบที่เหลือเป็นใยอาหาร ไขมันหยาบ สตาร์ช แล็กโพรตีน และน้ำตาล น้ำตาลที่มีในเนื้อตาลสุกส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลฟรุกโทส และมีน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสในปริมาณเล็กน้อย ไขมันหยาบที่มีในเนื้อตาลสุกส่วนใหญ่เป็นสารแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 100 CFU/กรัม ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกิน 10 CFU/กรัม และปริมาณ coliform และ *E. coli* ไม่เกิน 3 MPN/กรัม

ผลการศึกษาวิธีการลดความชื้นในเนื้อตาลสุกด้วยวิธีการต่าง พบว่า การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำให้ความชื้นในเนื้อตาลสุกลดลงจนป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ และเนื้อตาลสุกที่ได้ยังมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น การลดความชื้นด้วยวิธีการทำแห้งแช่แข็ง สามารถลดความชื้นของเนื้อตาลสุกให้เหลือเพียง 7% ได้ในเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ -45 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศประมาณ 45 Pa อย่างไรก็ตาม เนื้อตาลสุกแห้งที่ทั้งที่ผ่านการนึ่งและไม่ผ่านการนึ่งไม่สามารถเก็บรักษานานที่อุณหภูมิและในตู้เย็น เนื่องจากจะเกิดสีเหลืองส้มจะซีดจางมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การทดลองใช้วัสดุช่วยอบแห้งได้แก่ แป้งข้าวเจ้า นำมาผสมกับเนื้อตาลสุกในอัตราส่วน 1:2 ทำให้เนื้อตาลสุกแห้งภายในเวลาไม่เกิน 4 ชั่วโมง แต่เมื่อทดลองเก็บรักษาในซองลามิเนต (Polypropylene/Aluminium/Polyester) พบว่าสีเหลืองส้มของเนื้อตาลสุกจะซีดจางลงจนเป็นสีขาวภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน

การพัฒนาแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก โดยการผสมเนื้อตาลสุกในแป้งผสมด้วยอัตราส่วน 0:3 (สูตรพื้นฐาน) 1:3 (สูตร 1) 2:3 (สูตร 2) และ (1:2) (สูตร 3) แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับแป้งมันสำปะหลัง (อัตราส่วน 3:2) และความชื้นในเนื้อตาลสุกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 90% จะพบว่าหลังการ

อบแห้ง ปริมาณผลได้ (%yield) ของแป้งกึ่งสำเร็จรูป สูตรพื้นฐานมีค่าสูงสุด รองลงมาคือสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 ตามลำดับ สีของแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานมีสีขาว และสีของแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกทั้งสามสูตรมีสีส้มน้ำตาล โดยจะมีสีเข้มขึ้นจากสูตร 1 ถึง สูตร 3 ตามลำดับ เมื่อขึ้นรูปเป็นเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูป พบว่าเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 มีสีส้มน้ำตาลเข้มมากที่สุด อัตราส่วนการทำแห้งของแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานมีค่าต่ำสุด และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกในเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 มีอัตราส่วนการคั่วสูงเท่ากับเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน และสูงกว่าเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตร 1 และสูตร 2 ตามลำดับ เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตร 1 มีอัตราส่วนการคั่วสูงกว่าสูตร 2 และสูงกว่าสูตร 3 เส้นแป้งทั้งสามสูตรมีอัตราส่วนการคั่วสูงกว่าเส้นแป้งสูตรพื้นฐาน เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปทุกสูตรมีค่าน้ำอิสระต่ำกว่า 0.5 มีปริมาณความชื้นประมาณ 5 ถึง 7% มีปริมาณแคโรทีนอยด์ระหว่าง 9-52 ไมโครกรัมเทียบเท่าเบต้า-แคโรทีน/กรัม-ตัวอย่าง เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 มีค่าความสว่างสูงกว่าสูตร 2 และสูตร 3 ตามลำดับ มีสีส้มน้ำตาลที่มีค่าโครมาตลงเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทดสอบการคั่วพบว่าเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่คั่วแล้วมีค่าความสว่างลดลง แต่มีค่าโครมาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีความแข็งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน แต่เมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น ความแข็งจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเหนียวติดมีค่าลดลง ในทางตรงข้ามการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงกว่าเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา น้อยกว่า 100 CFU/กรัม และโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 MPN/กรัม แป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกทุกสูตรได้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับชอบถึงชอบมาก เมื่อทดสอบสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นจากคุณภาพเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร ต่าง ๆ พบว่าสูตร 2 มีความเหมาะสมการนำมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาเนื่องจากสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากสูตรอื่น มีคุณลักษณะอื่น ๆ ใกล้เคียงกับสูตร 1 และสูตร 3

ในการเก็บรักษาระหว่างเก็บรักษาในซองพลาสติกพอลิโพรพิลีนในที่มืด ในที่สว่างและของลามิเนทในที่สว่างพบว่าค่าความชื้นและค่าน้ำอิสระของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซอง พอลิโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในซองลามิเนท ค่าทั้งสองไม่แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ ค่าความสว่างและค่าโครมาในเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในซองพอลิโพรพิลีนทั้งในที่มืดและที่สว่างมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น แต่ค่าเหล่านี้มี

การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในช่องลามิเนท ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาทั้งสามสภาวะมีค่าลดลง

5.3 อภิปรายผลการวิจัย

องค์ประกอบในเนื้อตาลสุกมีความสำคัญต่อคุณลักษณะของแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก การวิเคราะห์องค์ประกอบในเนื้อตาลสุกจึงมีความจำเป็นต่อการกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการ

5.3.1 ผลการศึกษาคุณภาพเนื้อตาลสุก

การใช้ความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตผลเกษตรก่อนนำไปแปรรูปและเก็บรักษา เช่น การให้ความร้อนผัก และผลไม้ก่อนการแช่แข็งและทำแห้ง เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้ผลิตผลเปลี่ยนสีและเสื่อมเสียระหว่างการแปรรูป (Fellow, 2000) งานวิจัยนี้ได้ใช้การนึ่งเนื้อตาลสุกด้วยไอน้ำตั้งแต่ 7 นาทีขึ้นไป ซึ่งพบว่าจะไม่พบการทำงานของเอนไซม์เหลืออยู่แต่ในการทดลองขั้นต่อไป เลือกวิธีการนึ่งเนื้อตาลสุกด้วยเวลา 8 นาที เนื่องจากเนื้อตาลสุกที่ใช้ในการทดลองมาจากเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี ในการยีสตาลหรือกระบวนการแยกเนื้อตาลออกจากผลตาลสุก มีการผสมน้ำทำให้ความเข้มข้นของเนื้อตาลสุกอาจไม่เท่ากันในแต่ละครั้งก็นำมาทดลอง และเพื่อประกันว่าเนื้อตาลสุกหนึ่งที้นำมาใช้ในการทดลองทุกครั้งจะไม่มีเอนไซม์เหลืออยู่จากการผันแปรขององค์ประกอบในเนื้อตาลสุก เอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสีของเนื้อตาลสุกได้แก่ เพอร์ออกซิเดส ลิพอเพอร์ออกซิเดส และลิพอกซิเดส ซึ่งเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแคโรทีนอยด์ ทำให้เนื้อตาลสุกเปลี่ยนสี ระหว่างการเก็บรักษา วิธีการให้ความร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ (Bauernfeind, 1981) การพิจารณาว่าเวลาในการให้ความร้อนเท่าใดจึงเหมาะสมในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ มักใช้เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสเป็นดัชนีในการวัด เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่ทนต่อความร้อนได้มากกว่าเอนไซม์ชนิดอื่น (Fellow, 2000) ถ้าเอนไซม์นี้ถูกยับยั้งการทำงานอย่างสมบูรณ์ แสดงว่าเอนไซม์อื่นจะไม่สามารถทำงานได้ด้วย จากการวัดกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส พบว่าเมื่อนึ่งเนื้อตาลสุกเป็นเวลาอย่างน้อย 8 นาที เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสจะถูกยับยั้งการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านและไม่ผ่านการนึ่งมีปริมาณแตกต่างกัน ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งนาน 3 นาที สูงกว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนึ่งและที่ผ่านการนึ่งนาน 6 นาทีขึ้นไป ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งนาน 6-8

นาที่ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่ง 3 นาที สูงกว่าในเนื้อตาลสุกที่ผ่านการนึ่งเนื่องจากความร้อนช่วยเพิ่มชีวประสิทธิผลของสารแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุก สอดคล้องกับผลการวิจัยของ พจนา สัมพันธ์ (2557) ซึ่งพบว่าเมื่อต้มฟักทองนาน 2 และ 4 นาที ช่วยเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ในฟักทอง แต่เมื่อต้มนาน 6 นาที จะทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง

ไขมันหยาดทั้งหมดในเนื้อตาลสุกแห้งอยู่ในรูปของสารแคโรทีนอยด์ และกรดไขมันอื่นในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งถูกสกัดออกมาพร้อมกับไขมันในเนื้อตาลสุกแห้ง เนื้อตาลสุกแห้งมีปริมาณต่ำใกล้เคียงกับปริมาณองค์ประกอบชนิดอื่น เนื่องจากปริมาณต่ำซึ่งปริมาณแร่ธาตุในอาหาร แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อตาลสุก ได้แก่ โซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม และยังมีแร่ธาตุอื่นที่มีปริมาณน้อย เช่น เหล็ก สังกะสี โครเมียม ทองแดง โคบอลต์ นิกเกิล โบรอน เป็นต้น โปรตีนในเนื้อตาลสุกอยู่ในรูปกรดอะมิโนเป็นส่วนใหญ่ เช่น ไลซีน แอสพาเตท กลูตาเมทและฟีนิลอะลานีน (Jansz, Wickremasekara, & Sumuduni, 2002)

นอกจากนี้เนื้อตาลสุกที่นำมาใช้ได้จากการกระบวนการยีสต์ของเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3.5 จึงจัดเป็นอาหารที่เป็นกรด อย่างไรก็ตามความเป็นกรดของเนื้อตาลสุกเกิดจากการหมักระหว่างการสะเด็ดน้ำ ซึ่งต้องทิ้งเนื้อตาลสุกผสมน้ำไว้ 1 คืน ในผ้าขาวบางเพื่อให้น้ำไหลออกจากตะกร้า ทำให้เกิดกระบวนการหมักจากแบคทีเรียและยีสต์ซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติและปนเปื้อนระหว่างกระบวนการยีสต์ จุลินทรีย์ที่พบในเนื้อตาลสุกที่สำคัญได้แก่ *Candida krusei*, *Saccharomyces spp.*, *Kloeicula apiculata* และ *Hanseniaspora spp.* รวมทั้ง Lactic acid bacteria แบคทีเรียและยีสต์เหล่านี้จะสร้างกรดจากการหมักย่อยน้ำตาลในเนื้อตาลสุก ซึ่งอาจทำให้น้ำตาลในเนื้อตาลสุกมีปริมาณน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นของน้ำตาลในเนื้อตาลสุกก่อนการสกัดแยกเนื้อตาล (นฤมล เหลืองนาภา, 2533; มนัสนันท์ บุญทราพงษ์, 2544; Artnarong, Masniyom, & Maneesri, 2016; Jansz, Wickremasekara, & Sumuduni, 2002)

5.3.2 ผลการศึกษาวิธีการลดความชื้นในเนื้อตาลสุก

โดยใช้ 3 วิธีการ คือ การใช้ลมร้อน การใช้การทำแห้งแช่แข็ง และการใช้วัสดุช่วยทำแห้ง

(1) การใช้ลมร้อนในการทำแห้งเนื้อตาลสุก การทำแห้งด้วยลมร้อนทำให้เนื้อตาลสุกยังไม่แห้งเพียงพอที่จะป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาและเกิดการเปลี่ยนสีของแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกจนมีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อตาลสุกมีสารแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูง เมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการสลายตัวของสารแคโรทีนอยด์ รวมทั้งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งแบบที่

ใช้เอนไซม์ในเนื้อตาลสุกที่ไม่ผ่านการนึ่ง (Bauernfeind, 1981; Fellow, 2000) และแบบไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งเกิดจากน้ำตาลและโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อตาลสุกที่นึ่งแล้ว ทำให้เนื้อตาลสุกเปลี่ยนสี (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009)

(2) **การทำแห้งแบบแช่แข็ง** สามารถลดความชื้นในเนื้อตาลสุกได้จนต่ำถึง 7% แต่เมื่อเก็บรักษาเนื้อตาลสุกแห้งทั้งที่อุณหภูมิห้องและในที่เย็น เนื้อตาลสุกมีสีซีดจางตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น การซีดจางของสีเหลืองส้มในเนื้อตาลสุกแห้งอาจเกิดจากการเกิดออกซิเดชันของสารแคโรทีนอยด์ซึ่งมีอยู่ในปริมาณมากและปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการสลายตัวของตัวอนุมูลอิสระของสารแคโรทีนอยด์ โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ของสภาพการเก็บรักษาที่ส่งเสริมการสลายตัว ได้แก่ เอนไซม์ อากาศ แสง อุณหภูมิ เป็นต้น (McClements & Weiss, 2010)

(3) **การใช้วัสดุช่วยอบแห้งร่วมกับการอบลมร้อน** ซึ่งเป็นวิธีการที่ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เพื่อกำจัดน้ำและป้องกันการจับตัวเป็นก้อน เช่น แป้งข้าวชนิดต่าง ๆ แม้ว่าวัสดุช่วยทำแห้งร่วมการลมร้อน จะช่วยกำจัดน้ำออกจากเนื้อตาลสุกได้ดี แต่เนื้อตาลสุกที่ผสมวัสดุช่วยทำแห้งจะมีสีซีดจางระหว่างการเก็บรักษาภายใน 1 เดือน การซีดจางของสีเหลืองส้มในเนื้อตาลสุกผสมแป้งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เอนไซม์ที่อยู่ในแป้งข้าวเจ้าซึ่งเป็นแป้งที่ยังไม่ผ่านความร้อน ทำให้มีเอนไซม์ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ผ่านทางกระบวนการสร้างอนุมูลอิสระในแป้งที่ไม่ผ่านความร้อน ความแห้ง (Boon, McClements, & Weiss, 2010)

5.3.3 การพัฒนาแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้นในแป้งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ร้อยละของผลได้ลดลงเนื่องจากปริมาณเนื้อตาลสุกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้จากแป้งผสมใน 1 แผ่น มีปริมาณลดลง แต่มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อนำไปอบแห้ง น้ำจึงระเหยไป ทำให้เหลือปริมาณผลได้ลดลงตามลำดับ โดยแต่ละสูตรใช้เวลาอบแห้ง 3 ชั่วโมง เท่ากันทุกสูตร อัตราส่วนการทำแห้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเนื้อตาลสุกที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนการทำแห้งแสดงปริมาณน้ำที่ถูกกำจัดออกจากแป้งเนื้อตาลสุกระหว่างการอบแห้ง ทั้งนี้เป็นเพราะในแผ่นแป้งเนื้อตาลสุกมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแป้งผสมของแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังลดลง ทำให้ปริมาณผลได้ลดลง

เส้นแป้งเนื้อตาลสุกมีอัตราส่วนการทำแห้งสูงกว่าเส้นแป้งสูตรพื้นฐานซึ่งไม่มีเนื้อตาลสุก และเมื่อปริมาณเนื้อตาลสุกในเส้นแป้งเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราส่วนการทำแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงน้ำหนักของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกหลังอบแห้งลดลงมากขึ้นเมื่อมีปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็น

เพราะในเส้นแบ่งแต่ละเส้นก่อนอบแห้งมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้นดังปริมาณองค์ประกอบในแผ่นแบ่งเนื้อตาลสุก ปริมาณแบ่งในแต่ละเส้นแบ่งน้อยลง ทำให้หลังการทำแห้ง น้ำหนักของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปที่มีปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น มีค่าลดลง เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ถูกกำจัดออกไประหว่างการอบแห้ง ยังมีปริมาณน้ำในเส้นแบ่งมาก น้ำหนักยังลดลงมากขึ้น

อัตราการคั่วตัวของเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตรพื้นฐานมีค่าน้อยที่สุด และเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อเส้นแบ่งสำเร็จรูปมีปริมาณเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น อัตราการคั่วตัวมีแนวโน้มลดลง อัตราการคั่วตัวบ่งชี้ความเร็วในการดูดน้ำและพองตัวของเส้นแบ่ง การมีอยู่ของเนื้อตาลสุกช่วยให้เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกคั่วตัวได้เร็วกว่าเส้นแบ่งที่ไม่มีเนื้อตาลสุก (สูตรพื้นฐาน) การมีเนื้อตาลสุกเล็กน้อยเช่นในเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 1 ช่วยให้คั่วตัวเร็วขึ้นถึงเกือบ 6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นแบ่งสูตรพื้นฐานทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนื้อตาลสุกมีใยอาหารและสารแคโรทีนอยด์อยู่มาก ทำให้ขัดขวางกระบวนการรีโทรเกรเดชันบางส่วนจึงทำให้เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกดูดน้ำได้เร็วขึ้น (Siriamornpun, Tangkhawanit, & Kaewseejan, 2016)

เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปทุกสูตรมีค่าน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่จุลินทรีย์โดยเฉพาะยีสต์และราสามารถเจริญเติบโตได้ (Adams & Moss, 2008) เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นทั้งหมดและปริมาณองค์ประกอบในแบ่งกึ่งสำเร็จรูป พบว่าปริมาณความชื้นในแบ่งกึ่งสำเร็จรูปลดลงเมื่อปริมาณแบ่งผสมลดลง แต่เมื่อแบ่งกึ่งสำเร็จรูปมีเนื้อตาลสุกเป็นองค์ประกอบ แม้ว่าปริมาณแบ่งจะลดลง แต่มีเนื้อตาลสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นในเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกไม่ได้ลดลง แสดงว่าเส้นแบ่งเนื้อตาลสุกกึ่งสำเร็จรูปสามารถดูดซับน้ำได้ดี และไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วย การอบแห้ง

เส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกทุกสูตรที่ผ่านการคั่วตัวมีค่าความเหนียวติดความแข็ง การเกาะติดกันเองต่ำกว่าเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่ผ่านการคั่วตัว ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อตาลสุกมีใยอาหารและสารแคโรทีนอยด์ ทำให้ขัดขวางกระบวนการรีโทรเกรเดชัน ซึ่งเกิดจากกระบวนการคั่วตัวของอะมิโลส จึงทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนไปจากเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน (Siriamornpun, 2016; Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015)

จากผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส รวมทั้งคุณสมบัติของการอบแห้ง เพื่อพิจารณาเลือกสูตรแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เหมาะสม จึงเลือกเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 2 ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเส้นแบ่งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีลักษณะทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และลักษณะ

ทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี ความชื้น ค่าน้ำอิสระ ก่อนการคั่วตัวใกล้เคียงกัน แป้งเนื้อตาลสุกทั้งสามสูตรหลังการคั่วมีลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณจุลินทรีย์ ความชอบของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นแป้งเนื้อตาลสุกทั้งสามสูตรไม่แตกต่างกัน และแม้ว่าปริมาณแคลอรีน้อยลงในเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 3 จะมีมากกว่าสูตร 2 แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเส้นแป้ง ในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นแป้งจากน้ำแป้ง พบว่าน้ำแป้งเนื้อตาลสุกสูตร 3 มีความชื้นหนืดสูงมาก ยากต่อการขึ้นรูปเป็นแผ่นแป้งที่มีความหนาสม่ำเสมอ จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเส้นแป้งเนื้อตาลสุก ดังนั้นจึงเลือกเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสูตร 2 เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน

ความชื้นของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 45 วัน แต่ยังมีค่าความชื้นต่ำกว่าค่าความชื้นที่กำหนดไว้สำหรับมาตรฐานเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง (ค่าความชื้นไม่เกิน 13 %) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2548) ความชื้นในเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานและเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกซึ่งเก็บรักษาในซองพลาสติกทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเนื่องจาก ซองเหล่านี้ไม่สามารถป้องกันความชื้นจากสิ่งแวดล้อมโดยสมบูรณ์ และความชื้นสัมพัทธ์ในสิ่งแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษาอยู่ระหว่าง 50 ถึง 70% ที่อุณหภูมิประมาณ 27 ถึง 32 องศาเซลเซียส อัตราการผ่านไอน้ำของซองพลาสติกทั้งสองชนิด (Moisture vapor transmission rate or MVTR) แตกต่างกัน ค่า MVTR ของซองพอลิโพรพิลีน มีค่าประมาณ 0.5 g-mil/100 in²/24 hr ส่วนค่า MVTR ของซองลามิเนท มีค่าประมาณ 0.0005 g-mil/100 in²/24 hr ซึ่งน้อยกว่าซองพอลิโพรพิลีน 1000 เท่า ทำให้สามารถป้องกันความชื้นจากบรรยากาศภายนอกได้ดีกว่าซองพอลิโพรพิลีน อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปซึ่งมีความชื้นต่ำกว่าอากาศในซองพลาสติกและบรรยากาศในห้องเก็บรักษามาก จึงมีแนวโน้มดูดซับไอน้ำจากบรรยากาศรอบเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูป (Protective packaging corporation, 2017)

เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานที่เก็บรักษาในซองลามิเนทมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 45 วัน แต่ค่าน้ำอิสระไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าน้ำที่เส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปสูตรพื้นฐานดูดซับไว้จนทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นไม่ใช่ น้ำอิสระ แต่เป็นน้ำที่เกิดพันธะทางเคมีกับโมเลกุลขององค์ประกอบของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูป จึงทำให้ค่าความชื้นของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้น้ำอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษานาน 45 วัน ค่าน้ำอิสระของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บ

รักษาในของพอลิโพรพิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมากกว่า 0.61 ซึ่งเป็นค่าที่ราที่ทนความแห้ง (xerophilic fungi) สามารถเจริญเติบโตได้ (Adams & Moss, 2008) ดังนั้นการเก็บรักษาเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปทั้งสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกในของพอลิโพรพิลีน ไม่ควรนานกว่า 45 วัน เนื่องจากมีความเป็นไปได้สูงที่อาจมีราซึ่งทนความแห้งและมีอยู่ตามธรรมชาติในอากาศและในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปเจริญเติบโตได้ แต่การเก็บรักษาเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปทั้งสูตรพื้นฐานและเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกในของลามิเนทสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 45 วัน โดยไม่มีความเสี่ยงจากการเจริญเติบโตของรา

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกลดลงเมื่อเก็บรักษานาน 45 วัน เส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในของพอลิโพรพิลีนมีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่เก็บรักษาในของลามิเนทในที่สว่าง การลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าโครมาของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกอย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ไม่ใช่เชิงเส้นตรง แม้ว่าปริมาณแคโรทีนอยด์จะลดลงครึ่งหนึ่งของเริ่มต้น แต่ค่าความสว่างและค่าโครมาของเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ลดลงในเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกมีหลายปัจจัย ได้แก่ แสงสว่าง แสงยูวี การเกิดออกซิเดชันอัตโนมัติ (autooxidation) และออกซิเดชันจากการมีออกซิเจน ของพอลิโพรพิลีนและของลามิเนทยอมให้ออกซิเจนผ่านได้ไม่เท่ากัน ค่าอัตราการผ่านของออกซิเจน (oxygen transmission rate, OTR) ของของพอลิโพรพิลีนต่ำกว่าของของลามิเนท (Siracusa, 2012)

ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ควรใช้ของลามิเนทที่มีวัสดุหลายชั้น ได้แก่ ชั้นของพอลิเอสเตอร์ ชั้นอะลูมิเนียม ฟอยด์และชั้นของไนลอน ซึ่งจะป้องกันการผ่านเข้าออกของไอน้ำและแก๊สจากบรรยากาศได้ดีกว่าการใช้ของพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีวัสดุชั้นเดียว การเก็บรักษาเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ควรเก็บในที่มืด แห้ง และเก็บรักษาได้ไม่ต่ำกว่า 45 วัน

5.3.4 การประเมินอายุการเก็บรักษาแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

จากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อนำเนื้อตาลสุกไปผสมกับแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง แล้วทำให้เกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันและรีโทรเกรเดชัน จะทำให้เนื้อตาลสุกมีความคงตัวของสีแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลจากกระบวนการรีโทรเกรเดชัน ซึ่งช่วยให้ปฏิกิริยาการสลายตัวของแคโรทีนอยด์เกิดช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกับสลายตัวของแคโรทีนอยด์ใน

เนื้อตาลสุกที่ผ่านการทำแห้งและไม่ผสมกับแป้ง อย่างไรก็ตามอัตราการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในแป้งก็สำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ ด้วย ได้แก่ การสัมผัสกับแสงสว่าง ทั้งแสงจากหลอดไฟและจากพระอาทิตย์ การสัมผัสกับอากาศและความชื้น รวมทั้งเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อตาลสุก กระบวนการแปรรูปที่ช่วยในการกำจัดปัจจัยเหล่านี้ จะช่วยชะลอการสลายตัวของสาร แคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกได้ รวมทั้งการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อช่วยป้องกันการผ่านของอากาศและแสงสว่าง

5.4 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า

- (1) เนื้อตาลสุกที่ผ่านการยีสตาล ควรนำมาให้ความร้อนก่อนนำไปบริโภค เนื่องจากมีจุลินทรีย์มากเกินไป จนอาจเกิดให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการบริโภค
- (2) การทำแห้งเนื้อตาลสุก ทำให้เนื้อตาลสุกมีสีซีดจางเมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาหนึ่ง
- (3) แป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกสามารถนำไปใช้บริโภคเป็นอาหารสุขภาพได้ เนื่องจากมีใยอาหาร และปริมาณสตาร์ชน้อยกว่าแป้งกึ่งสำเร็จรูปทั่วไป
- (4) งานวิจัยที่ควรทำต่อไป ได้แก่ การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก และการเพิ่มปริมาณเนื้อตาลสุกในแป้งกึ่งสำเร็จรูปเพื่อลดปริมาณสตาร์ชให้น้อยลง

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2560). ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาทางอาหารและภาชนะสัมผัสทางอาหาร ฉบับที่ ๓. คำนวณเมื่อ มิถุนายน 3 2560, จาก www.dmsc.moph.go.th/dmscnew/userfiles/files/1S_1286203.pdf
- กลอยใจ เขยกลิ่นเทศ. (2556). งานวิจัยเรื่องการผลิตสีผงสำหรับผสมอาหารจากวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้ง. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จินตนา วิบูลย์ศิริกุล และพยงค์ น้อยคล้าย. (2557). งานวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องยีสตาลและแยกน้ำแบบกึ่งอัตโนมัติออกจากผลตาลสุก. เพชรบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- ชยานนท์ ชีระเจตกุล. (2550). ผลของวิธีการทำแห้งและการเก็บรักษาต่อสมบัติของแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นฤมล เหลืองนภา. (2533). การผลิตและการใช้เนื้อตาลสุกผงในขนมไทยบางชนิด. วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิดดา หงส์วิวัฒน์. (2541). คนไทยอาหารไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด.
- บุญยกฤต รัตนพันธุ์. (2545). การศึกษากระบวนการผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา. (2544). การศึกษาการใช้แป้งฟักทองที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งชาลาเปา. พิษณุโลก : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- พจนา สีมันตร. (2557). การเปลี่ยนแปลงสีและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในฟักทองปิ้งสุก. วารสารแก่นเกษตร, 42, 870-875.

- มนัสนันท์ บุญทราพงษ์. (2544). การพัฒนาแป้งข้าวเจ้าผสมและส่วนผสมสำเร็จรูปในการผลิตขนมตาลเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2548). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง (มผช.๗๓๐/๒๕๔๘). ค้นเมื่อ เมษายน 25, 2560, จาก <http://tcps.tisi.go.th>.
- รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม. (2549). การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกระบวนการอบแห้งลำไย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
- ลาวรรณ์ บัวสาย. (2551). งานวิจัยเรื่องการพัฒนากรรมวิธีการผลิตขนมเค้กจากเนื้อตาล. นครสวรรค์: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.
- ฤทัยรัตน์ มุมานินทร์. (2557). การผลิตแป้งบัวลอยสำเร็จรูป. สุรินทร์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
- วนิดา สระทองคำ. (2543). การทำแห้งผักทองด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Adams, M. R., & Moss, M. O. (2008). **Food Microbiology**. (3rd ed). Cambridge: RSC Publishing.
- Artnarong, S., Masniyom, P., & Manesri, J. (2016). Isolation of yeast and acetic acid bacteria from Palmyra palm fruit pulp (*Borassus flabellifer* Linn.). **International Food Research Journal**, 23(3), 1308-1314.
- Belitz, H. -D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). **Food Chemistry**. (4th ed). Berlin: Springer-Verlag, Berlin.
- Boon, C. S., McClements, D. J., & Weiss, J. (2010). Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 50, 515-532.
- Fellow, P. (2000). **Food Processing Technology : Principles and Practices**. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Gökmen, V., Savaş Bahçeci, K., Serpen, A., & Acar, J. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as blanching indicator enzyme in peas: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, 26, 406-410.

- Jansz, E. R., Wickremasekara, N. T., & Sumuduni, K. A. V. (2002). A review of the chemistry and biochemistry of seed shoot flour and fruit pulp of the Palmyrah palm (*Borassus Flabellifer* L.). **Journal of National Science Foundation Sri Lanka**, **30** (1&2), 61-87.
- McClary, B. V., Gibson, T. S., & Mugford, D. C. (1997). Measurement of total starch in cereal products by amyloglucosidase- α -amylase method collaborative. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists International**, **80**, 571-579.
- Pervin, S.; Islam, M. S., & Islam, M. N. (2008). Study on Rehydration Characteristics of Dried Bean (*Lablab Purpureus*) seeds. **Journal of Agriculture & Rural Development**, **6** (1&2), 157-163.
- Protective Packaging Corporation. (2017). **Moisture vapor transmission rate-MVTR**. Retrieved June 14, 2017, from <http://www.protectivepackaging.net/mvtr>.
- Ranganna, S. (1992). **Handbook of Analysis of Fruit and Vegetable Products**. New Delhi: Tata McGraw Hill.
- Ryckebosch, E., Muylaert, K., Eeckhout, M., Ruysen, T., & Foubert, I. (2011). Influence of drying and storage on lipid and carotenoid stability of the Microalga *Phaeodactylum tricornutum*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **59**, 11063-11069.
- Saranya, P., & Poongodi Vijayakumar, T. (2016). Preliminary phytochemical screening of raw and thermally processed palmyra palm (*Borassus flabellifer* linn.) fruit pulp. **Journal of Innovations in Pharmaceuticals and Biological Sciences**, **3**(1), 186-193.
- Siriamornpun, S., Tangkhawanit, E., & Kaewseejan, N. (2016). Reducing retrogradation and lipid oxidation of normal and glutinous rice flours by adding mango peel powder. **Food Chemistry**, **201**, 160-167.
- Siracusa, V. (2012). Food packaging permeability behavior: A report. **International Journal of Polymer Science**, **1**, 1-11.

Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch retrogradation: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. **14**, 568-585.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ผ.1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อตาลสุก

(1) วิธีการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ทำได้โดยเตรียมสารละลายผสม 2

หลอดทดลอง ดังนี้

(1.1) หลอดที่หนึ่ง ประกอบด้วยสารสกัดเอนไซม์ที่ใส่ที่สกัดได้ 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร ที่มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6 ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร

(1.2) หลอดที่สอง ประกอบด้วยสารละลาย Hydrogen peroxide เข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร (mol/L) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร และสารละลาย Guaiacol เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร (mol/L) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร

นำสารละลายในข้อ (1.1) และ (1.2) ผสมเข้าด้วยกัน ภายในเวลา 30 วินาที วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, Abs) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสที่อัตราเริ่มต้นดังสมการ (1)

$$\text{กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส} = \frac{(\text{Abs ที่เวลาสุดท้าย} - \text{Abs ที่เวลาเริ่มต้น})}{(\text{เวลาสุดท้าย} - \text{เวลาเริ่มต้น}) \times 0.5 \text{ ml}} \quad (\text{ผ.1})$$

(2) การวัดค่าสีของเนื้อตาลสุกและแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ทำได้ดังนี้ เครื่องวัดสีถูกตั้งค่าการวัดของเครื่อง ($45^\circ/0^\circ$ geometry, 10° observer) และถูกเทียบมาตรฐานกับแผ่นขาว (white tile) ที่มีค่ามาตรฐาน $L^* = 93.48$, $a^* = -1.09$, $b^* = 1.31$

(2.1) การวัดค่าสีของเนื้อตาลสุก ใช้ Port size 1.25 นิ้ว ไม่มีแก้ว ตัวอย่างเนื้อตาลสุกถูกใส่ในถ้วยแก้วตัวอย่างที่มียางสีดำปิดรอบข้างถ้วย แล้วปิดด้วยแผ่นสีขาว ทำการวัดค่าและบันทึกเป็นค่า $L^* a^* b^*$

(2.2) การวัดค่าสีของแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ใช้ Port size 1.25 นิ้ว มีแก้ว วางเส้นแบ่งกิ่งสำเร็จรูปลงบนแผ่นแก้ว เรียงเป็นระเบียบ จนปิดรูที่แสงส่องผ่านทั้งหมด ปิดด้วยฝาครอบโลหะสีดำ ทำการวัดค่าและบันทึกเป็นค่า $L^* a^* b^*$

(3) การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในเนื้อตาลสุกและแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ทำได้ดังนี้

(3.1) การสกัดสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อตาลสุกและแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ทำได้โดย นำเนื้อตาลสุกหรือแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก 0.5 กรัม ที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงแล้ว ถ้ามีน้ำอยู่ต้องกำจัดน้ำออกให้ได้มากที่สุด เติมตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซน (hexane) และอะซิโตน (acetone) ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ผสมให้ตัวอย่างกระจายตัวในตัวทำละลายผสม แล้วปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที (rpm) นาน 10 นาที แล้วแยกตัวทำละลายที่มีสีเหลือง เก็บในขวดสีชาในที่เย็น ทำการสกัดซ้ำด้วยวิธีการเดียวกันจนกว่าเนื้อตาลสุกหรือแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกไม่มีสี

(3.2) การวัดปริมาณสารแคโรทีนอยด์จากสารสกัด ทำได้โดย นำสารสกัดแคโรทีนอยด์ในตัวทำละลายผสมของเฮกเซนและอะซิโตน ล้างด้วยน้ำหลาย ๆ รอบ จนเฮกเซนใสแล้วแยกอะซิโตนออกโดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) แล้วกรองสารสกัดแคโรทีนอยด์ในเฮกเซนผ่านโซเดียมซัลเฟตเก็บสารสกัดในขวดสีชาในที่เย็น เจือจางสารสกัดแคโรทีนอยด์ในเฮกเซนแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 nm คำนวณปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารเบต้าแคโรทีน (purity > 99%) แล้วรายงานผลเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเทียบเท่าเบต้าแคโรทีน ($\mu\text{g-}\beta\text{-carotene equivalent/g-dried sample}$)

(4) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและของแข็งทั้งหมด ทำโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น โดยใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส บันทึกปริมาณความชื้นเป็น กรัม-น้ำ/100 กรัม-เนื้อตาลสุก และปริมาณของแข็งทั้งหมดได้จากการคำนวณตามสมการ (ผ.2)

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กรัม-ของแข็ง/100 กรัม-เนื้อตาลสุก)} = 100 - \text{ปริมาณความชื้น} \quad (\text{ผ.2})$$

(5) ปริมาณไขมันหยาบทั้งหมด ในเนื้อตาลสุกและแบ่งกิ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก ทำได้โดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย ตามข้อ (3.1) แล้วทำการกำจัดน้ำและอะซิโตนโดยใช้กรวยแยก และใส่สารสกัดไขมันในเฮกเซนในขวดก้นกลมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (w_{o1}) ระเหยเฮกเซนในเครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมที่มีไขมัน (w_{o2}) คำนวณปริมาณไขมันหยาบทั้งหมดตามสมการ (ผ.3)

$$\text{ปริมาณไขมันหยาบในเนื้อตาลสุก} = (w_{o2}-w_{o1})/\text{น้ำหนักเนื้อตาลสุกแห้ง} \quad (\text{ผ.3})$$

ปริมาณไขมันหยาบในแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก = $(wo_2 - wo_1) / \text{น้ำหนักแป้ง}$ (ผ.4)

(6) การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อตาลสุกทำได้โดย ชั่งตัวอย่างใส่บีกเกอร์ ขนาด 50 ml. เติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อย ให้ได้สารละลายความเข้มข้น 50% แล้วนำมาวัดค่าพีเอชด้วย เครื่องพีเอชมิเตอร์ โดยก่อนใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ทุกครั้ง ต้องทำการปรับตั้งค่ามาตรฐานของเครื่อง โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ มาตรฐานพีเอช 7.0 และ 4.0 ตามลำดับ ตามขั้นตอนในคู่มือการใช้งานของ เครื่อง

(7) ปริมาณจุลินทรีย์ในเนื้อตาลสุกและแป้งกึ่งสำเร็จรูป ทำได้ดังนี้

(7.1) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) วิธีการเตรียมอาหารทำโดย ให้ความร้อนส่วนผสมทั้งหมดด้วยกัน คนและต้มจนเดือดจนของแข็งละลายหมด แบ่งใส่หลอดทดลองหรือพลาสติกตามปริมาตรที่ต้องการ แล้วฆ่าเชื้อที่ 121 °C ที่ความดัน 15 psi นาน 15 นาที ปรับค่า pH สุดท้ายให้ได้ 7.0 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 25°C เทอาหารเลี้ยงเชื้อลงในจานเพาะเชื้อ และเก็บรักษาในตู้เย็น 2-8 องศาเซลเซียส

(7.2) จำนวนยีสต์และรา โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA) วิธีการเตรียมอาหาร ทำโดยละลาย PDA 39 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร ทำให้เดือดเพื่อละลาย PDA จนหมด ฆ่าเชื้อที่ 121 °C ที่ความดัน 15 psi นาน 15 นาที ก่อนใช้ให้เติบสารละลายกรดทาร์ทาริก 10% ปริมาณ 1.1 มิลลิลิตร ต่อ PDA 100 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

(8) การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่ผ่านการคั่ว

(8.1) การวิเคราะห์ Texture Profile Analysis (TPA) ทำได้โดยนำเส้นแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุกที่ผ่านการคั่ว ซึ่งเก็บรักษาในถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างรอการวิเคราะห์ ตัดเป็นเส้นยาวประมาณ 4 เซนติเมตร วางเรียงกัน 5 เส้น วัดคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส TPA ด้วยเครื่องมือ Texture analyzer (TA-XT2, Texture technologies Corp, USA) ใช้หัววัด HDP/BSW ตั้งค่าความเร็วก่อนทดสอบ 1 mm/s ใช้แรงกดจนกระทั่งเกิดการเสียรูปร่าง 78% ที่ความเร็ว 5 mm/s ความเร็วหลังทดสอบ 5 mm/s ช่วงระยะเวลาการหยุดระหว่างการกดครั้งที่ 1 และ 2 เท่ากับ 1 วินาที

(8.2) การวิเคราะห์แรงกด (Compression) โดยใช้หัววัด P/0.5r ตั้งค่าความเร็วก่อนทดสอบ 2 mm/s, ความเร็วในการทดสอบ 2 mm/s และความเร็วหลังทดสอบ 2 mm/s ใช้แรงกดจนกระทั่งเสียรูปร่าง 60%

ภาคผนวก ผ.2 แบบทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของแป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

แบบสอบถามความชอบโดยวิธี 5 Point Hedonic Scales แป้งกึ่งสำเร็จรูปจากเนื้อตาลสุก

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับและให้คะแนนความชอบตามความรู้สึกของท่านมากที่สุด
ในแต่ละคุณลักษณะ และกรุณาบ้วนปากด้วยน้ำดื่มก่อนชิมตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

1 หมายถึง ไม่ชอบมาก

2 หมายถึง ไม่ชอบ

3 หมายถึง เฉยๆ

4 หมายถึง ชอบ

5 หมายถึง ชอบมาก

รหัสตัวอย่าง

ลักษณะปรากฏ

สี

กลิ่นรสเนื้อตาลสุก

เนื้อสัมผัส

ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินตนา วิบูลย์ศิริกุล

ที่ทำงาน

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
 ตำบลนาวัน อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000
 โทรศัพท์ (032) 493270, 087-5492558
 โทรสาร (032) 493270
 E-mail : wiboonsirikul@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัย	ปริญญา	ปีจบ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	วท.บ. เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)	2540
Rutgers, The State University of New Jersey, U.S.A.	M.S. (Food Science)	2546
Kyoto University, Japan	D.Agri (Food Science and Biotechnology)	2551

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระยะเวลา 5 ปี

ระดับนานาชาติ

1. Wiboonsirikul, J. Mori, M., Khuwijitjaru, P., Adachi, S. 2013. Properties of extract from okara by its subcritical water treatment. International J. Food Properties. 16(5), 974-982
2. Wiboonsirikul, J., Nakata, K., Kobayashi, T., Khuwijitjaru, P., Adachi, S. 2015. Degradation of disaccharides containing two glucoses units in subcritical water. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering. 10(5) : 681-686.

3. Klinchongkon, K., Khuwijitjaru, P., Wiboonsirikul, J., Adachi, S. 2015. Extraction of oligosaccharides from passion fruit peel by subcritical water treatment. Journal of Food Process Engineering. doi: 10.1111/jfpe.12269

4. Wiboonsirikul, J. 2016. Differentiation between adulterated and non-adulterated palm sap using physical and chemical properties combined with discriminant analysis. International Food Research Journal. 23(1) : 61-67.

5. Wiboonsirikul, J., Watanabe, Y., Omori, A., Khuwijitjaru, P., Adachi, S. 2016. Antioxidative properties of stearyl ascorbate food matrix system. Journal of oleo science. 65(6) : 487-492.

6. Watanabe, Y., Khuwijitjaru, P., Hamai, Y., Wiboonsirikul, J., Adachi, S. 2016. Antioxidative property of acyl ascorbate in cookies containing iron. Japan Journal of Food Engineering, 17(2) : 77-81.

การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ

1. Wiboonsirikul, J., Kaewsawang, A., Kaewsawad, P., Kanana, R. 2013. Changes in physical and chemical properties of Palmyrah palm juices added with different types of sugar. Burapa University International Conference 2013. Thailand, July 4-6, 2013.
2. Kanana, R., Keowsawat, P., Wiboonsirikul, J., Promwong, S. 2013. Microwave and chemical properties of ready-to-drink Palmyrah palm juice. 2nd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation. August 5-7, 2013.
3. Wiboonsirikul, J., Adachi, S. 2014. Antioxidative properties of mulberry leaves treated with subcritical water. 1st Joint ACS AGFD-ACS ICST Symposium, Thailand, March 4-5, 2014.
4. จินตนา วิบูลย์ศิริกุล, พรชนก ชัยชนะ. 2560. คุณภาพเนื้อตาลสุกที่ผ่านการให้ความร้อน. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 19-21 มกราคม 2560.

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ

การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร

การประเมินคุณภาพอาหารระหว่างการเก็บรักษา

ประกาศนียบัตรบางส่วนที่ได้รับ

1. ประกาศนียบัตร หลักสูตร การกำหนดกระบวนการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ โดย สถาบันอาหารและภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 8-10 กันยายน 2554
2. ประกาศนียบัตร หลักสูตร Train the Trainer ด้านมาตรฐานระบบการจัดการความปลอดภัยของอาหาร (ISO 22000) โดย อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ (MASCI), 8-12 กรกฎาคม 2556.
3. ประกาศนียบัตร หลักสูตร ผู้ควบคุมการผลิต (Retort Supervisor) ในการผลิตอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำและชนิดที่ปรับกรด. โดยศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 20-24 กรกฎาคม 2558.
4. วุฒิบัตร หลักสูตร การเสริมทักษะการวินิจฉัยสถานประกอบการภายใต้โครงการ “ปรับแผนธุรกิจและเพิ่มขีดความสามารถ SMEs” โดย สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. 8-10 ตุลาคม 2558
5. ประกาศนียบัตร การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง ข้อกำหนดมาตรฐานสากลสำหรับห้องปฏิบัติการ : ISO/IEC 17025 โดย สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ 7-8 กรกฎาคม 2559.
6. ประกาศนียบัตร การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การเสริมทักษะและเทคนิคการทดสอบทางเคมีและทางจุลชีววิทยาตามหลักสากล. โดย สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ 20-22 ธันวาคม 2559

หลักการเผยแพร่ผลงานวิจัย