



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิงทดแทน
ด้วยแป้งด้านการย่อย เพื่อยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าว
ช่อชิงบ้านกระอาณ อ.เทพา จ.สงขลา

Product development of dried noodle (Kanom-Jeen) from
native rice varieties, Cho Khing, replacing with resistance starch
to enhance product quality of Khao Cho Khing Community
Enterprise Group, Ban Kra An, Thepha District,
Songkhla Province

ปวีณา ดิกิจ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นิรัญญา บุญตัน

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ

ปรียาภรณ์ เดชอรัญ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปีงบประมาณ พ.ศ.2565

หัวข้อวิจัย	การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย เพื่อยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวช่อชิงบ้านกระอาณ อ.เทพา จ.สงขลา
ผู้ดำเนินการวิจัย	ปวีณา ดิกิจ ¹ , นิรัญญา บุญตัน ² และปรียาภรณ์ เดชอรัญ ³
หน่วยงาน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ¹ , วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ ² , คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ³
ปี พ.ศ.	2567

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้ง โดยเลือกใช้แป้งด้านการย่อยที่มีอะไมโลสสูง (High amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 330 (RS₃) ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักแห้ง จากนั้นเลือกสูตรเส้นขนมจีนที่ดีที่สุดมาศึกษาการอบแห้งและสภาวะที่เหมาะสมในการคืนตัวของเส้นขนมจีนอบแห้ง รวมทั้งวิเคราะห์คุณภาพของเส้นขนมจีนอบแห้ง ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและคุณสมบัติเชิงสุขภาพ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เส้นขนมจีนที่ได้มีความแข็งกระด้าง (Hardness; g) เพิ่มขึ้น ค่าความเหนียวหรือค่าการยึดเกาะ (Adhesiveness; g*sec) ลดลง ซึ่งส่งผลให้เส้นขนมจีนขาดเป็นเส้นสั้น ๆ ได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งด้านทานการย่อยมากขึ้น จะส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมลดลง โดยการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยอัตราส่วนร้อยละ 0 และ 10 มีคะแนนความชอบสูงสุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งผู้วิจัยเลือกเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 10 มาพัฒนาเป็นเส้นขนมจีนอบแห้งต่อ โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเส้นขนมจีน คือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 1 ชั่วโมง การแช่น้ำ 10 นาที และต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการคืนรูปเส้นขนมจีนอบแห้ง จากการวิเคราะห์คุณภาพของเส้นขนมจีนอบแห้งพบว่ามียอของปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และเถ้าเท่ากับ 80.37, 5.42, 2.65 และ 0.86 g/100g ตามลำดับ และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีวิเคราะห์ DPPH free radical scavenging assay, ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ ABTS radical cation decolorization assay เท่ากับ $68.78 \pm 1.75 \mu\text{g TE/g sample}$, $57.86 \mu\text{g Fe}^{2+}/\text{g sample}$ และ $84.00 \pm 2.32 \mu\text{g TE/g sample}$ ตามลำดับ และจากผลการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลแบบประมาณค่า (Glycemic index, GI) พบว่าเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิง (CKJ) มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 92.83 ± 4.87 ส่วนเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย 10% (CKS) มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 91.86 ± 3.95 ซึ่งการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยส่งผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลลดลงเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการแปรรูปเส้นขนมจีนซึ่งผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์ส่งผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวช่อชิงสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวช่อชิงที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป

คำสำคัญ ข้าวช่อชิง, แป้งด้านการย่อย, เส้นขนมจีนอบแห้ง

Research Title	Product development of dried noodle (Kanom-Jeen) from native rice varieties, Cho Khing, replacing with resistance starch to enhance product quality of Khao Cho Khing Community Enterprise Group, Ban Kra An, Thepha District, Songkhla Province
Researcher	Paweena Dikit ¹ , Nirunya Buntin ² and Preeyabhorn Detarun ³
Organization	Faculty of Science and Technology ¹ , College of Innovation and Management ² Faculty of Agro-industry, Prince of Songkla University
Year	2024

The purpose of this study was to investigate the use of resistant starch in place of rice flour to develop dried noodle (Kanom-Jeen). NOVELOSE 330 (RS3), a high-amylose corn starch (Hi-maize), was chosen at dry weight rates of 0, 10, 20, and 30%. The best Kanom-Jeen formula was then chosen in order to investigate drying and the optimal conditions for recovering dried Kanom-Jeen. Additionally, the quality of dried noodle was examined, including its physical, chemical, and health properties. According to the study, the ratio of resistant starch substitution increased, the hardness (g) of the rice flour increased, and the adhesiveness (g*sec) value decreased. As a result, Kanom-Jeen broke into small strands with ease. This was consistent with the sensory test results, which indicated that the overall like score decreased as the percentage of resistant starch substitution increased, with the maximum liking score being obtained when 0 and 10% resistant starch was substituted. But there was no statistically significant difference ($P > 0.05$). However, the substitution of 10% resistant starch was chosen to further develop into dried Kanom-Jeen. It was discovered that 70°C for 50 minutes and then lowering the temperature to 50°C for an hour was the optimal drying temperature for Kanom-Jeen production. Soaking Kanom-Jeen in water for 10 minutes and then boiling them for 5 minutes was the most effective way to recover them. The percentages of carbohydrate, protein, fat, and ash in dried Kanom-Jeen were 80.37, 5.42, 2.65, and 0.86 g/100 g, respectively. An assay for DPPH showed 68.78 ± 1.75 ug TE/g sample, an assay for FRAP showed 57.86 ug Fe²⁺/g sample, and an assay for ABTS showed 84.00 ± 2.32 ug TE/g sample. Moreover, the estimated glycemic index (GI) was also studied. The results showed that Kanom-Jeen from 100% Cho Khing rice flour (CKJ) had a glycemic index of 92.83 ± 4.87 , while Kanom-Jeen substituted with 10% resistant starch (CKS) had a glycemic index of 91.86 ± 3.95 . The replacement with resistant starch resulted in a slight decrease in the glycemic index. However, the differences were not statistically significant ($P > 0.05$). However, it was

found that the gelatinization process for Kanom-Jeen production resulted in a significantly higher glycemic index when compared to unprocessed Cho Khing rice flour.

Keywords Cho Khing rice, resistant starch, dried noodle (Kanom-Jeen)



กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปีงบประมาณ 2565 เป็นโครงการที่มุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิง รวมถึงการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีการพัฒนาเส้นขนมจีนอบแห้งให้แก่วิสาหกิจชุมชนข้าวช่อชิง บ้านกระอาณ อ.เทพา จ.สงขลา

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.นิริญา บุญตัน คณะวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริยาภรณ์ เดชอรัญ ผู้วิจัยร่วมที่ร่วมกันคิด ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในกระบวนการวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขรายงานงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่และครอบครัว ที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ปวีณา ดิกิจ และคณะ
ตุลาคม 2567



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	3
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิงเทพา	4
ภูมิปัญญาการทำเส้นขนมจีนของชุมชนบ้านกระอาน	5
แป้งด้านการย่อย	8
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
กรอบแนวคิดในการวิจัย	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
ศึกษาปริมาณแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมในการทำเส้นขนมจีน	12
การพัฒนาเส้นขนมจีนอบแห้งทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย	13
การวิเคราะห์คุณภาพเส้นขนมจีนอบแห้งทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย	14
การวิเคราะห์ทางสถิติ	16
การถ่ายทอดเทคโนโลยี	16
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
ผลการศึกษาปริมาณแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมในการทำเส้นขนมจีน	17
ผลการพัฒนาเส้นขนมจีนอบแห้งทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย	26
ผลการวิเคราะห์คุณภาพเส้นขนมจีนอบแห้งทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย	30
ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	42
อภิปรายผล	

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	43
บรรณานุกรม	
บรรณานุกรมภาษาไทย	44
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	46
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส	49
ภาคผนวก ข เอกสารรับรองพิจารณาจริยธรรมโครงการวิจัย	51
ภาคผนวก ค ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	53
ประวัติผู้วิจัย	54



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อย	12
4.1	ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนด้วยเครื่อง texture analyser	22
4.2	ค่าสีของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยที่แตกต่างกัน	23
4.3	ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	24
4.4	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	26
4.5	ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของเส้นขนมจีนอบแห้ง	27
4.6	ลักษณะปรากฏของเส้นขนมจีนหลังการคืนรูป	28
4.7	อัตราการดูดน้ำของเส้นขนมจีนอบแห้ง	29
4.8	การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิง	30
4.9	ผลการศึกษาค่าประกอบทางเคมีของเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิง	32
4.10	ค่าดัชนีการย่อยได้ Hydrolysis Index (HI) และค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณ Glycemic Index (GI) ของตัวอย่างแป้งข้าวช่อชิงและเส้นขนมจีน	34
4.11	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิง	37

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะเมล็ดข้าวพันธุ์ช่อชิง	5
2.2	การโม่ข้าวด้วยเครื่องโม่หิน	5
2.3	การหมักแป้งข้าวช่อชิงไว้ข้ามคืน	6
2.4	(ก) ลักษณะก้อนแป้งหลังการต้มในน้ำเดือด (ข) ครกบดสำหรับตำแป้งข้าวให้เป็นเนื้อเดียวกัน	6
2.5	การนวดแป้งข้าวก่อนทำเส้นบนกาบหมาก	7
2.6	(ก) กระบอกลีแปงข้าวสำหรับโรยเส้นขนมจีน (ข) อุปกรณ์โรยเส้นขนมจีน	7
2.7	ลักษณะเส้นขนมจีนที่ทำจากข้าวช่อชิง	8
4.1	ขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวสำหรับทำเส้นขนมจีน	18
4.2	ขั้นตอนการทำเส้นขนมจีน	19
4.3	ลักษณะของเส้นขนมจีนแป้งข้าวช่อชิงที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในปริมาณที่แตกต่างกัน	20
4.4	ผลการติดตามการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ภายในเวลา 120 นาที ของแป้งข้าวช่อชิงและผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีน	33
4.5	กิจกรรมภาคบรรยายให้ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทำเส้นขนมจีนอบแห้ง การควบคุมคุณภาพการผลิตและแนะนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบของคณะวิจัย	38
4.6	กิจกรรมภาคปฏิบัติขั้นตอนการเตรียมแป้งขนมจีน	39
4.7	กิจกรรมภาคปฏิบัติขั้นตอนการทำเส้นขนมจีน	40
4.8	ผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้ง	41
ค.1	ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	56

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ข้าวช่อขิงเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของตำบลท่าม่วง อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ซึ่งชาวนาชนิดนี้ได้หายไปจากท้องถิ่นเป็นเวลานานมาแล้ว แต่มีกลุ่มสตรีรวมตัวกันหันมาฟื้นฟูนาไร่ บ้านพรุชิง ตำบลท่าม่วง อำเภอเทพา พลิกฟื้นนาไร่ให้กลายเป็นนาข้าวพันธุ์โบราณ ซึ่งทุกวันนี้ข้าวช่อขิงไม่ได้เป็นแค่ข้าวบริโภคในครัวเรือนเท่านั้น แต่ยกระดับขึ้นเป็นสินค้าของดีประจำอำเภอเทพา ซึ่งในปัจจุบันข้าวสารวางจำหน่ายในราคา กิโลกรัมละ 50 บาท จากการศึกษาโครงการวิจัยของนักศึกษา ขวัญหทัย คงเอียง (2563) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวช่อขิงด้วยวิธี DPPH และ FRAP assay พบว่าสารสกัดจากข้าวช่อขิงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยค่า IC₅₀ เท่ากับ 830.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ 40.34 ± 1.68 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทลอกซ์ต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 12.11 ± 0.07 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และ 45.67 ± 1.86 มิลลิกรัมสมมูลของคาเทชินต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการส่งเสริมการผลิตข้าวพื้นเมืองในพื้นที่ให้เป็นข้าวเพื่อสุขภาพและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากข้าวช่อขิง ทั้งนี้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวช่อขิงบ้านกระอาโนในพื้นที่ต้องการสร้างอาชีพด้วยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่แปรรูปจากข้าว ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่มีการแปรรูป ได้แก่ เส้นขนมจีนข้าวช่อขิง เส้นละแซ ขนมครก ลอดช่อง เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนมีปัญหาความเหนียวนุ่มของเส้นขนมจีน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเส้นขนมจีนขาดเป็นเส้นสั้น ๆ ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่ข้าวที่นิยมเอามาทำขนมจีนเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (27.49-32.89%) ซึ่งทำให้ได้ลักษณะเส้นขนมจีนที่เหนียว นุ่มดี และผู้ผลิตนิยมใช้ข้าวเก่าทำขนมจีนมากกว่าข้าวใหม่ เพราะจะได้ปริมาณขนมจีนที่ผลิตได้มากกว่า (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่คิดค้นและพัฒนาการผลิตเส้นขนมจีนให้มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น โดยคิดค้นนำแป้งข้าวเจ้าชนิดอื่นมาผสมหรือผลิตเป็นเส้นขนมจีน เพื่อให้ได้เส้นขนมจีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น

ขนมจีนถือเป็นอาหารพื้นเมืองที่มีการผลิตและบริโภคกันอย่างกว้างขวาง เป็นอาหารที่อยู่คู่คนไทยมาเป็นเวลาช้านาน แต่ทั้งนี้ขนมจีนเป็นอาหารที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 1-2 วัน จึงไม่สามารถเก็บรักษาและส่งจำหน่ายไปยังพื้นที่ห่างไกล และนอกจากนี้คุณค่าทางโภชนาการของขนมจีนมีน้อย คือ เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต หากบริโภคเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ได้รับพลังงานมาก เสี่ยงต่อการเกิดโรคอ้วน และเพิ่มความเสี่ยงในการเป็นเบาหวานได้ ปัจจุบันมีคนหันมาใส่ใจสุขภาพของตนเองมากขึ้นเพราะตระหนักได้ว่าการรู้จักเลือกบริโภคอาหารที่ถูกหลักและมีประโยชน์ต่อร่างกายสามารถสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรงได้ จึงพยายามหาอาหารเสริมและผลิตภัณฑ์สุขภาพในรูปแบบต่าง ๆ มาบริโภค แป้งต้านทานการย่อย (resistant starch; RS) มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (probiotics) ซึ่งเป็นแป้งที่ไม่ถูกย่อยและไม่ถูกดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก มีประโยชน์คือ ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดที่มีประโยชน์บริเวณลำไส้ใหญ่ ที่เรียกว่า จุลินทรีย์สุขภาพหรือโพรไบโอติก (ธนากร รติธรรมธร, 2560) ดังนั้นแป้งต้านทานการย่อยจึงถูก

นำมาใช้ในการดัดแปรเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพในหลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ที่มีเส้นใยอาหารสูงออกมาจำหน่ายในรูปแบบทางการค้า เช่น แป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง (high amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 240 (RS2) และ NOVELOSE 330 (RS3) เป็นต้น (Sajilata et al., 2006) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจปรับปรุงคุณสมบัติและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของเส้นขนมจีนโดยการเสริมด้วยแป้งด้านการย่อยมีอะไมโลสสูง (High amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 330 (RS3) เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะปรับปรุงคุณภาพของเส้นขนมจีนในด้านโภชนาการและช่วยเพิ่มมูลค่าของเส้นขนมจีนให้มีมูลค่าสูงขึ้น ซึ่งพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยของปวีณา ดิกิจ และ นิธิญา บุญตัน (2563) ที่ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพันธุ์เมืองพันธุ์ช่อชิงในพื้นที่บ้านกระอาน อ.เทพา จ.สงขลา โดยการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์กัวร์กัมเพื่อเพิ่มความเหนียวและลดการขาดของเส้นขนมจีน

ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงโดยการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยเพื่อเป็นอาหารที่ดีต่อสุขภาพ และยังทำให้สามารถเก็บได้นาน มีน้ำหนักเบาและสะดวกในการขนส่ง ซึ่งอาจเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวพันธุ์เมืองพันธุ์ช่อชิง ช่วยให้เกษตรกรซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักและเป็นการสำคัญของประเทศมีรายได้เพิ่มขึ้น และเพื่อยกระดับรายได้ของครัวเรือนในพื้นที่อีกด้วย ทำให้คนในท้องถิ่นเห็นถึงคุณค่าและคุณประโยชน์ของข้าวพันธุ์พื้นเมือง ตลอดจนร่วมกันสนับสนุนให้มีการบริโภคหรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดสงขลาเพิ่มมากขึ้น และเพื่อส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์ข้าวพันธุ์พื้นเมืองของภาคใต้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งด้านการย่อยทดแทนแป้งข้าวช่อชิงในการผลิตเส้นขนมจีน
- 2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงที่ผสมแป้งด้านการย่อย
- 3) เพื่อประเมินค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) ของขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงผสมแป้งด้านการย่อยในระดับหลอดทดลอง

ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาปริมาณแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนจากแป้งข้าวช่อชิง โดยใช้แป้งด้านการย่อยที่มีอะไมโลสสูง (High amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 330 (RS₃) อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวช่อชิงต่อแป้งด้านการย่อย 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 จากนั้นเลือกสูตรเส้นขนมจีนที่ดีที่สุดมาศึกษาการอบแห้ง และวิเคราะห์คุณภาพของเส้นขนมจีนอบแห้ง ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลแบบประมาณค่า (Glycemic index, GI) และคุณสมบัติเชิงสุขภาพ

สมมติฐานการวิจัย

การใช้แป้งด้านการย่อยที่มีอะมิโลสสูงมาทดแทนการใช้ข้าวช่อขิงในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะช่วยให้ผลิตเส้นขนมจีนจากข้าวช่อขิงได้ดีขึ้น เส้นไม่ขาด นอกจากนี้แป้งด้านการย่อยมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกจะช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โปรไบโอติกที่มีประโยชน์ต่อร่างกายผู้บริโภคและการทำแห้งจะทำให้ขนมจีนเก็บได้นานและสะดวกต่อการขนส่งและการเก็บรักษา

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

ข้าวช่อขิง, แป้งด้านการย่อย, เส้นขนมจีนอบแห้ง

Cho Khing rice, resistant starch, dried noodles (Kanom-Jeen)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้องค์ความรู้และเทคโนโลยีเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อขิง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการยกระดับมาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นการยกระดับอาชีพและเสริมสร้างขีดความสามารถของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวช่อขิง บ้านกระอาน อ.เทพา จ.สงขลา
- 2) เกิดองค์ความรู้ใหม่ในพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้ง ซึ่งเป็นการนำทรัพยากรในท้องถิ่นมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มและยังเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ในท้องถิ่น เกิดการรวมกลุ่มในชุมชนอันจะส่งผลให้คุณภาพชีวิตของชาวบ้านและชุมชนดีขึ้น และนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนฐานรากให้เกิดการเติบโตและพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิงเตา

ข้าวพื้นเมือง หมายถึง ข้าวพันธุ์ดั้งเดิมที่มีปลูกอยู่ในท้องถิ่นตั้งแต่โบราณกาล ไม่อาจทราบแน่ชัดว่าปลูกมาตั้งแต่เมื่อใด มีลักษณะเป็นพันธุ์แท้ (pure line) แต่โดยทั่วไปดูเหมือนไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอทางพันธุกรรม ซึ่งพันธุ์ข้าวพื้นเมืองมีความสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี เชื่อว่าเป็นภูมิปัญญาของชาวนาไทยที่ปลูก รักษาพันธุ์มาหลายชั่วอายุ ทำให้คงไว้ซึ่งความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าว แต่ในปัจจุบันพันธุ์ข้าวพื้นเมืองกำลังเผชิญกับปัญหาที่เรียกว่า พันธุ์หายหรือพันธุ์เสื่อม (genetic erosion) เนื่องจากเกษตรกรหันมานิยมปลูกข้าวพันธุ์ใหม่ ตามนักปรับปรุงพันธุ์สร้างขึ้น ทำให้พันธุ์ข้าวดั้งเดิมสูญพันธุ์ไปจำนวนมาก ข้าวพื้นเมืองภาคใต้มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ ในประเทศไทย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติเชิงหน้าที่ และการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม (สำเร็จ แซ่ตัน, 2553) สำหรับในจังหวัดสงขลา ซึ่งมีพื้นที่ผลิตข้าวจำนวนมากที่กระจายอยู่ทั่วทั้งจังหวัด ส่วนมากมักนิยมปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่คนนิยมบริโภคเป็นส่วนใหญ่ อย่างเช่น ข้าวเงี้ยว ข้าวเล็บนก ข้าวช่อลุง ข้าวลูกปลา และข้าวช่อชิงเตา ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของตำบลท่าม่วง ในเขตพื้นที่อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

ข้าวช่อชิงเตา ถือเป็นหนึ่งในผลิตผลแห่งความภาคภูมิใจของชาวตำบลท่าม่วง นับเป็นความหอมกรุ่นของวิถีชีวิตที่บอกเล่าเรื่องราวของอดีตชนได้อย่างกลมกล่อมและเต็มไปด้วยรสชาติ ข้าวชนิดนี้ได้หายไปจากท้องถิ่นเป็นเวลานานมาแล้ว แต่ได้ถูกปลูกกระแสการบริโภคนิยมโดยกลุ่มสตรีพื้นฟูนาไร่ บ้านพรุชิง ตำบลท่าม่วง อำเภอเทพา ที่รวมตัวกันพลิกฟื้นนาไร่ให้กลายเป็นนาข้าวพันธุ์โบราณ โดยเริ่มจากเนื้อที่เพาะปลูกเพียง 2-3 ไร่ ในชุมชนพรุชิง ตำบลท่าม่วง จากนั้นก็ค่อย ๆ ขยายสู่ตำบลใกล้เคียงจนสามารถเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกได้มากกว่าเดิม

ข้อมูลทั่วไปของข้าวช่อชิงเตา ผลผลิตปัจจุบันปี 2560-2561 ต่อไร่ จำนวน 200-250 เรียง (กำมือ) น้ำหนักต่อเรียงประมาณ 2.0-2.5 กิโลกรัม รวมน้ำหนักทั้งหมด 400-625 กิโลกรัม/ไร่ มีพื้นที่การปลูกข้าวช่อชิงประมาณ 45 ไร่ในชุมชนบ้านกระอาณ รวมผลผลิตประมาณ 20 ตัน-ราคาพันธุ์ข้าวแบบเรียง 15 เรียง (1กระสอบ) 150 บาท ราคาข้าวเปลือก 25 บาท/กก. ราคาข้าวสารขัดกล้อง 50 บาท/กก. และราคาบรรจุภัณฑ์พร้อมจำหน่าย 100 บาท/กก. (ดารารัตน์ บางพระ)



ภาพที่ 2.1: ลักษณะเมล็ดข้าวพันธุ์ช่อชิง (ถ่ายโดยปวีณา ดิกิจ)

2. ภูมิปัญญาการทำเส้นขนมจีนของชุมชนบ้านกระอาน

ขั้นตอนที่ 1: เตรียมข้าวสารล้างทำความสะอาด 2-3 ครั้ง จนน้ำใสไม่ขุ่น นำข้าวแช่ในน้ำอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปลี่ยนถ่ายน้ำเก่าไม่ให้น้ำแช่ข้าวบูดและมีกลิ่นเหม็น

ขั้นตอนที่ 2: นำข้าวที่แช่น้ำทิ้งไว้ล้างให้สะอาดอีกครั้งหลาย ๆ น้ำ บดโม้ข้าวด้วยเครื่องมือข้าวและคอยเติมน้ำให้น้ำแป้งข้าวไหลออกมา



ภาพที่ 2.2: การโม้ข้าวด้วยเครื่องมือหิน (ถ่ายโดย ปวีณา ดิกิจ)

ขั้นตอนที่ 3: เทน้ำแป้งที่โม่ได้ลงในผ้าขาวบาง มัดแขวนทิ้งข้ามคืนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้น้ำแป้งข้าวตกตะกอนและแป้งแห้งสนิท ก่อนนำแป้งข้าวมาทอดให้เป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 2.3: การหมักแป้งข้าวช่อทิ้งไว้ข้ามคืน (ถ่ายโดยปวีณา ดิกิจ)

ขั้นตอนที่ 4: นำแป้งข้าวที่โม่ได้ลงไปต้มในน้ำเดือด 10-15 นาที คอยพลิกสลับด้านให้ผิวภายนอกสุกทั่วกันโดยเนื้อแป้งภายในยังมีความกึ่งสุกกึ่งดิบ จากนั้นนำแป้งข้าวมาตำให้เป็นเนื้อเดียวกันจนเหนียวและเกาะตัว



รูปที่ 2.4: (ก) ลักษณะก้อนแป้งหลังต้มในน้ำเดือด (ข) ครกบดสำหรับตำแป้งข้าวให้เป็นเนื้อเดียวกัน (ถ่ายโดยปวีณา ดิกิจ)

ขั้นตอนที่ 5: นำแป้งข้าวหลังจากตำเป็นเนื้อเดียวกันแล้วมานวดซ้ำอีกรอบ ก่อนที่จะใส่เครื่องบีบทำเส้นขนมจีน



ภาพที่ 2.5: การนวดแป้งข้าวก่อนทำเส้นบนกาบหมาก (ถ่ายโดยปวีณา ดิกิจ)

ขั้นตอนที่ 6: บีบโรยเส้นในน้ำต้มเดือดอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เส้นสุกจะลอยตัวขึ้น จากนั้น ตักเส้นขนมจีนขึ้น แช่ลงในน้ำอุณหภูมิห้องเพื่อให้เส้นขนมจีนหยุดความสุก และล้างทำความสะอาดเส้นขนมจีน และจับเส้นขนมจีนใส่ตะกร้าให้สะเด็ดน้ำจนแห้ง

(ก)



(ข)



ภาพที่ 2.6: (ก) กระบอกลี้น้ำสำหรับโรยเส้นขนมจีน (ข) อุปกรณ์โรยเส้นขนมจีน (ถ่ายโดยปวีณา ดิกิจ)



ภาพที่ 2.7: ลักษณะเส้นขนมจีนที่ทำจากข้าวซ้อมมือ (ถ่ายโดยปวีณา ดิกิจ)

3. แป้งต้านการย่อย (Resistant Starch; RS)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ที่สามารถถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกลูโคส ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์ องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของแป้ง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในแง่โครงสร้าง คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ รวมถึงขั้นตอนการถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในร่างกาย นอกจากนี้ยังมีแป้งสุภาพอีกกลุ่มหนึ่งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กของคนเรา เรียกแป้งกลุ่มนี้ว่า resistant starch ซึ่งเป็นอาหารเพื่อสุขภาพประเภทหนึ่งที่มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร อาทิ เช่น นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ปรับปรุงเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของอาหาร รวมถึงพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีเส้นใยอาหารสูง (จิรนาถ บุญคง, 2553)

แป้งต้านทานการย่อยจัดเป็นอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูง เป็นแหล่งอาหารจุลินทรีย์ที่ดีสำหรับจุลินทรีย์สุขภาพบริเวณลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดกระบวนการหมักและได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันชนิดสายสั้นที่สำคัญ คือ แอสิติก โปรพิโอเนต และบิวไทเรต ที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค แต่มีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ อาหารที่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง จะมีค่า Glycemic Index (GI) ต่ำ การรับประทานอาหารที่มีค่า GI ต่ำ เช่น ในถั่วชนิดต่าง ๆ ธัญชาติและผัก เป็นต้น สามารถช่วยควบคุมให้ระดับน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในระดับปกติได้ ช่วยเพิ่มความรู้สึกอิ่มและลดความอยากอาหาร ระดับอินซูลินลดลง ส่งผลต่อการลดระดับไขมัน ควบคุมระดับโคเลสเตอรอล ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและโรคเบาหวาน (ธนากร รติธรรมธร, 2560) มีงานวิจัยหลายเรื่องพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทแป้งด้วยการทดแทนด้วยแป้งต้านทานการย่อย เช่น Pongjanta and Lerdluksamee (2019) ปรับปรุงคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้เอนไซม์ทางอาหารและแป้งต้านการย่อยประเภทที่ 3 (RS III) โดยเปรียบเทียบกับเอนไซม์ 3 ชนิด คือ pululanase (PLN), amylase (AML) และ glucoamylase (GML) ซึ่งเติมลงไปในช่วงการแช่เมล็ดข้าวเป็นเวลา 16 ชั่วโมง และเปรียบเทียบการเติมแป้งต้านการย่อย RS III 0.1 - 2% ของสารละลายแป้งทั้งหมด พบว่าการใช้เอนไซม์ GML

และเติม RS III ความเข้มข้น 1% เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความต้านทานแรงดึงและมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด ทั้งนี้การเติม RS III ในสัดส่วนที่สูงขึ้นจะมีผลต่อปริมาณ RS content และใยอาหารสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ จิตรา อ่างทอง และ จิรวรรณ อุ่นเมตตาอารี (2560) พัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจืดสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพจากแป้งแก่นตะวัน พบว่าปริมาณแป้งแก่นตะวันร้อยละ 10 และสารไฮโดรคอลลอยด์ร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีคุณภาพสูงทั้งด้านสี ความเหนียวนุ่ม และการยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งจากงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปสู่การคิดค้นพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อสุขภาพที่สามารถสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจกับชุมชนได้

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรพิมล กลกิจวิวัฒน์ (2554) พัฒนาผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งเส้นใยอาหารสูงจากแป้งข้าวตัดแปรด้วยการใช้กรดซิตริก โดยศึกษาสภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งข้าวด้วยกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 M ที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 120°C เป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที ตามลำดับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่แป้งตัดแปร คือ 120°C เป็นเวลา 45 นาที เนื่องจากมีปริมาณแป้งทนการย่อยต่อเอนไซม์มากที่สุด (6.51 %) นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ 50°C และจากการแทนที่แป้งข้าวด้วยแป้งข้าวตัดแปร พบว่าเมื่อระดับการแทนที่มากขึ้นก๋วยเตี๋ยวมีปริมาณแป้งทนการย่อยต่อเอนไซม์ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและการดูดน้ำกลับเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็ง (hardness) ค่าแรงสูงสุดในการดึงและค่าแรงสูงสุดในการการลดลง โดยระดับการแทนที่ 20% ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยรวมสูงที่สุด

ปณิชนัท วชิรศิริ และ กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ (2554) ศึกษาการทดแทนข้าวขาวด้วยข้าวกล้องงอกในการผลิตขนมจีนแป้งหมักในปริมาณร้อยละ 25 50 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นขนมจีนที่ได้ โดยนำเส้นขนมจีนไปวัดค่าสี และเนื้อสัมผัส เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสแล้วพบว่าขนมจีนมีความเหนียวนุ่มน้อยลง เส้นขนมจีนมีสีเข้มขึ้น ปริมาณเถ้า เส้นใยอาหาร โปรตีน สูงกว่าขนมจีนที่ไม่มีการทดแทนด้วยข้าวกล้องงอก เส้นขนมจีนได้รับคะแนนการยอมรับในปริมาณแต่ร้อยละไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ และความชอบโดยรวมน้อยกว่าขนมจีนจากข้าวขาว

จารุพรรณ ไบนาค และคณะ (2558) พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้งผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยผสมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งข้าวขาวในปริมาณ 0 10 15 20 และ 25 % (ของน้ำหนักแป้ง) พบว่าขนมจีนอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ปริมาณ 25% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไม่แตกต่างกับขนมจีนที่ไม่ผสมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และหาปริมาณของกัวร์กัมที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตขนมจีนผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่อบแห้ง โดยเติมกัวร์กัม 0, 3, 4 และ 5% (ของน้ำหนักแป้ง) จึงพบว่าขนมจีนอบแห้งผสมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ 25% ที่เติมกัวร์กัม 5% มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale

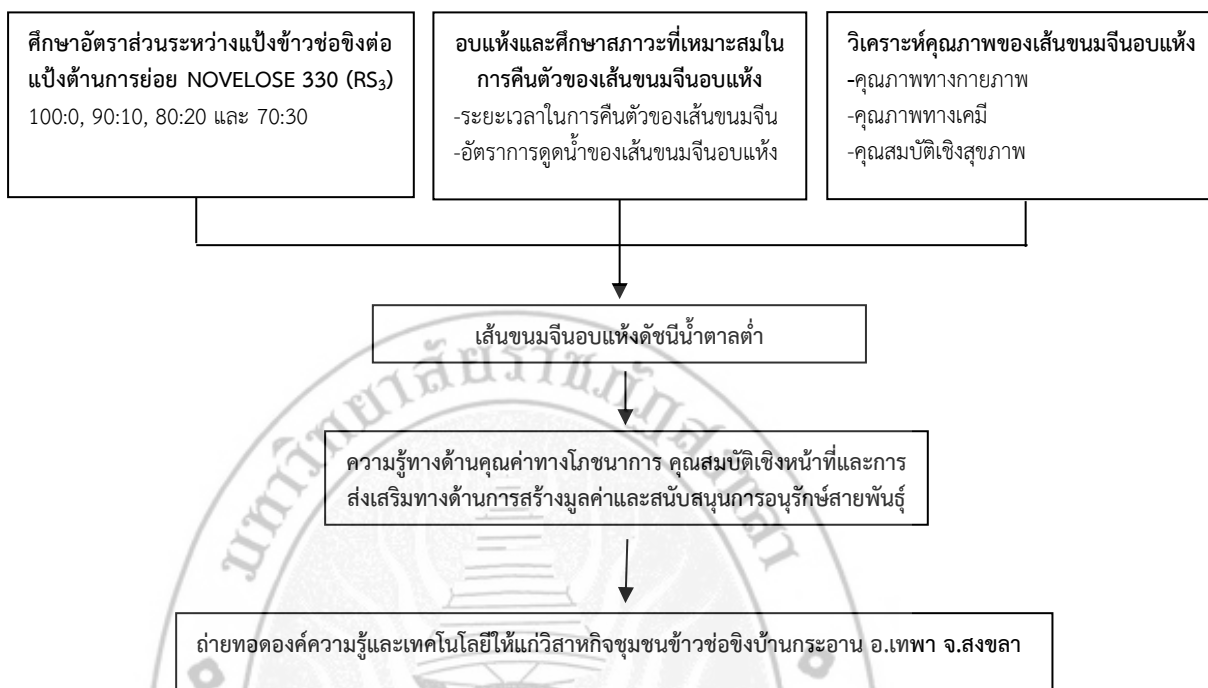
มานิชญ์ สุธีวัฒนานนท์ (2558) พัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าให้มีเยื่อใยอาหารมากขึ้น โดยผ่านกระบวนการเอ็กทราซันและกรรมวิธีการเตรียมแป้งที่ทำให้เกิดการทนการย่อยสูงสุดเพื่อให้ได้พาสต้าข้าวเจ้าที่มีคุณสมบัติหน้าที่ด้านสุขภาพมากขึ้น จากการเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยโดยการผสมแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการย่อยบางส่วนด้วยเอนไซม์อะไมเลสกับแป้งข้าวเจ้าที่ใช้สำหรับผลิตพาสต้าข้าวเจ้าในระดับ 5-7% พบว่าทำให้มีปริมาณแป้งทนต่อการย่อยในพาสต้าข้าวเจ้าต้มสุกแล้วเพิ่มขึ้นถึง 65% ทำให้ผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าที่ได้มีปริมาณเยื่อใยอาหารรวมสูงกว่า 2% ซึ่งถือว่าอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีเส้นใย ซึ่งจากเดิมเส้นใยเพียง 0.85% เท่านั้น

ขวัญหทัย คงเอียง (2563) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP assay รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดจากข้าวฮ่อซึ่งที่สกัดด้วยเอทานอล 80% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวฮ่อซึ่งมีปริมาณโปรตีน (7.06 กรัมต่อ 100 กรัม), ไขมัน (1.64 กรัมต่อ 100 กรัม), คาร์โบไฮเดรต (78.41 กรัมต่อ 100 กรัม), เส้นใย (0.34 กรัมต่อ 100 กรัม), เถ้า (0.84 กรัมต่อ 100 กรัม) และให้พลังงาน 356.62 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม และเมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดย DPPH assay สารสกัดจากข้าวฮ่อซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 830.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้วิตามินซีเป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay พบว่าสารสกัดจากข้าวฮ่อซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 40.34 ± 1.68 มิลลิโมลาร์สมมูลของโทลอกซ์ต่อกรัมสารสกัด นอกจากนี้ยังพบว่าการสกัดจากข้าวฮ่อซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกและ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 12.11 ± 0.07 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และ 45.67 ± 1.86 มิลลิกรัมสมมูลของคาเทชินต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ

ปวีณา ดิกิจ และ นิธิญา บุญตัน (2563) ปรับปรุงคุณภาพของเส้นขนมจีนโดยการเติมปริมาณกัวยักษ์ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งข้าว เมื่อวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และค่าแรงตัด (work of shear) ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าสูตรที่มีการเติมกัวยักษ์ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 239.99 ± 32.76 N/mm และ 267.84 ± 43.78 g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และจากการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคโดยการให้คะแนนความชอบแบบ 9 คะแนน (9 point Hedonic Scoring) ต่อคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ สี ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน พบว่าการเติมกัวยักษ์ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งข้าวได้รับการยอมรับมากที่สุด โดยมีค่าความชอบโดยรวม 8.06 ± 1.01

Oupathumpanont, O. and Suwonsichon, T. (2014) ศึกษาคุณสมบัติกลิ่นรสและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแป้งข้าวและเส้นขนมจีนที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus plantarum* A1 ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่ากลิ่นรสของแป้งหมักจะมีปริมาณเอทานอล อัลดีไฮด์ และคีโตนที่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาในการหมักต่างกัน ซึ่งการหมักจะช่วยปรับปรุงคุณภาพ กลิ่นรสของแป้งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

(1) ศึกษาปริมาณแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมในการทำเส้นขนมจีนจากแป้งข้าวช่อชิง

นำข้าวช่อชิง (ข้าวเก่า) จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวช่อชิงบ้านกระอาณ อ.เทพา จ.สงขลา มาเตรียมเส้นขนมจีนโดยนำข้าวช่อชิงมาล้างให้สะอาด จากนั้นนำข้าวมาแช่น้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1 : 2 โดยน้ำหนัก ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำข้าวที่แช่น้ำไว้มาล้างให้สะอาดหลายๆ น้ำ จากนั้นม่ด้วยเครื่องม่แป้ง ใส่แป้งในถุงผ้าดิบ ทบน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผสมแป้งข้าวช่อชิง กับแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน จากนั้นนำแป้งมานวดด้วยเครื่องนวดแป้งเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำก้อนแป้งไปนึ่งเป็นเวลา 5 นาที ให้ผิวนอกสุก พลิกสลับด้านให้ผิวนอกสุกทั่วกัน นำแป้งที่นึ่งแล้วมานวดต่ออีกเป็นเวลา 30 นาที จนเนื้อแป้งนวลละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเหนียวนุ่มระหว่างนั้นเติมกัวร์กัม 2 % ของน้ำหนักแป้ง (ปวีณา ดิกิจ และนิรุธญา บุญตัน, 2563) จากนั้นนำแป้งที่นวดเสร็จแล้วใส่กระบอกทำเส้นขนมจีนเพื่อที่จะบีบโรยเส้นลงในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 95-100 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นขนมจีนสุกสังเกตจากเส้นขนมจีนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ตักเส้นขึ้นมาแช่ในน้ำเย็นล้างผ่านน้ำให้สะอาด 2-3 รอบ ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำในตะกร้าจนแห้ง

ศึกษาผลของการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อย โดยเลือกใช้แป้งด้านการย่อยที่นิยมเติมในอาหารสุภาพและมีจำหน่ายทางการค้า คือ แป้งด้านการย่อยที่มีอะไมโลสสูง (High amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 330 (RS₃) (Sajilata *et al.*, 2006) โดยนำแป้งด้านการย่อยมาผสมกับแป้งข้าวช่อชิงเพื่อผลิตเป็นเส้นขนมจีน ตามวิธีการของพรพิมล กสิกิจวิวัฒน์ (2554) โดยศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวช่อชิงโดยแปรระดับแป้งด้านการย่อยต่อในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักแห้ง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1: อัตราส่วนการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อย

การทดแทน (ร้อยละ)	แป้งข้าวช่อชิง (ร้อยละ)	แป้งด้านการย่อย (ร้อยละ)
0	100	0
10	90	10
20	80	20
30	70	30

นำเส้นขนมจีนทุกชุดการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเส้นขนมจีน

- ตรวจวัดเนื้อสัมผัส: ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA-XT2i (Surrey, England) โดยนำเส้นขนมจีนมาตรวจสอบแรงตัด (cutting test) โดยใช้ใบมีดทำจากพลาสติก (Pasta

Quality Rig) ตัดลงบนตัวอย่างเส้นขนมจีนจำนวน 5 เส้นพร้อมกัน ด้วยความเร็ว 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะการตัด 4.5 มิลลิเมตร รายงานออกมาเป็นค่า Firmness หมายถึง ความแน่นเนื้อของตัวอย่าง ได้จากแรงต้านสูงสุดในการตัด หน่วยเป็นกรัม และ work of shear หมายถึง งานทั้งหมดที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างถูกตัดแยกออกจากกัน หน่วยเป็นกรัมต่ออนาที่ และตรวจสอบแรงกด (compression test) โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มม. กดตัวอย่างด้วยความเร็ว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กดลงบนเส้นขนมจีน 5 เส้นที่วางขนานกัน ด้วยระยะกด 75% ของความหนาของเส้น รายงานออกมาเป็นค่า Hardness หรือความแข็ง วัดจากแรงต้านสูงสุดที่ระยะที่กำหนด หน่วยเป็นกรัม และค่า Adhesiveness หรือพลังงานยึดเกาะ วัดจากงานที่ใช้ในการดึงหัววัดออกจากตัวอย่างหน่วยเป็นกรัมวินาที

- ตรวจวัดค่าสี : ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex EZ โดยนำเส้นขนมจีนบรรจุในถ้วยวัดและบันทึกค่าของสีในระบบของ Hunter เป็น L*, a* และ b* โดยค่า

L* แสดงความสว่าง มีค่าระหว่าง 0-100

a* แสดงค่าสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวก และแสดงค่าสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นลบ

b* แสดงค่าสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก และแสดงค่าสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นลบ

1.2 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเส้นขนมจีน

ตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้วิธี total plate count ตรวจหา *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus cereus* โดยใช้วิธี spread plate และตรวจหา *Escherichia coli* โดยใช้วิธี MPN อ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมจีน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547)

1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน

โดยการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 คะแนน (9-point hedonic scale) จากคะแนน 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ปฏิเสธผลิตภัณฑ์ขนมจีนและคุ้นเคยกับการบริโภคขนมจีนจำนวน 30 คน โดยมีเกณฑ์ในการทดสอบดังนี้ ลักษณะสี ความนุ่ม ความเหนียว ความยากง่ายในการดัดขาด กลิ่นรส รวมทั้งความชอบโดยรวมของเส้นขนมจีน

(2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย

เลือกสูตรเส้นขนมจีนที่ดีที่สุดจากข้อ (1) มาอบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดโดยเปรียบเทียบ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ ได้แก่ (1) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที (2) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (3) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเส้นขนมจีนที่อบแห้งแล้วมาวิเคราะห์สิ่งต่อไปนี้

2.1 ศึกษาค่าความชื้นของเส้นขนมจีนอบแห้ง (moisture content)

2.2 ศึกษาค่าปริมาณน้ำอิสระของเส้นขนมจีนอบแห้ง ด้วยเครื่องวัดค่า Water Activity

2.3 ศึกษาระยะเวลาในการคืนตัวของเส้นขนมจีน (กัญญา สอนสนิท และคณะ, 2565)

ศึกษาการคืนรูปของเส้นขนมจีนอบแห้ง โดยนำเส้นขนมจีนอบแห้งครั้งละ 1 จับ จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบการแช่เส้นขนมจีนอบแห้งเป็นเวลา 0, 5 และ 10 นาที จากนั้นนำเส้นไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที

2.4 ศึกษาอัตราการดูดน้ำของเส้นขนมจีนอบแห้ง (กัญญา สอนสนิท และคณะ, 2565)

นำเส้นขนมจีนที่คืนรูปด้วยเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 2.3 ผึ่งเส้นให้สะเด็ดน้ำในตะกร้า และปล่อยทิ้งไว้ 15 นาที ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาอัตราการดูดน้ำ จาก

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$$

โดย W_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการคืนรูป (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังการคืนรูป (กรัม)

(3) การวิเคราะห์คุณภาพของขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย

นำผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนที่ผ่านการอบแห้งแล้วในสภาวะที่เหมาะสมตามการศึกษาในข้อ 2 มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

3.1 คุณภาพทางกายภาพ

- ตรวจวัดสี : ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสี โดยนำเส้นขนมจีนบรรจุในถ้วยวัดและบันทึกค่าของสีในระบบของ Hunter เป็น L^* , a^* และ b^* โดยค่า

L^* แสดงความสว่าง มีค่าระหว่าง 0-100

a^* แสดงค่าสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวก และแสดงค่าสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นลบ

b^* แสดงค่าสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก และแสดงค่าสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นลบ

3.2 คุณภาพทางเคมี

- การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (Proximate composition)

- การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลแบบประมาณค่า (Glycemic index, GI) เป็นวิธีที่วัดดัชนีน้ำตาลที่ง่าย เป็นการวัดความสามารถการย่อยสลายซึ่งมีอยู่ในอาหารที่จะทดสอบ (Goni *et al.*, 1997)

หลักการวัดค่าโดยอาศัยจลนศาสตร์การย่อยสลายซึ่งมีอยู่ในอาหารที่จะทดสอบ เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ไม่จำเป็นต้องรับประทานอาหารที่ต้องการทดสอบและไม่ต้องมีการเจาะเลือดเพื่อวัดปริมาณน้ำตาลในเลือด วิธีนี้สามารถใช้ประมาณค่าดัชนีน้ำตาลในอาหารที่ทดสอบได้เบื้องต้นซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไป วิธีนี้อ้างอิงจาก Goni และคณะ (1997) ซึ่งเสนอโมเดลแสดงการทำนายระดับการย่อยสลายซึ่งมีอยู่ในอาหารที่ระยะเวลาใด ๆ จนถึงจุดสมดุล เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงระหว่างร้อยละการย่อยสลายที่เวลาเริ่มต้นและที่เวลาใด ๆ ดังสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ C คือ ร้อยละการย่อยสลายที่เวลาใด (t)

C_{∞} คือ ร้อยละการย่อยสลายที่จุดสมดุลหลังการย่อยผ่านไป 120 นาที

k คือ ค่าคงที่ทางจลศาสตร์

ค่า C_∞ และ k ของแต่ละทรีตเมนต์ประมาณค่าได้จากข้อมูลการย่อยสลาย

พื้นที่ใต้กราฟการย่อย (area under the hydrolysis curve, AUC) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$AUC = C_\infty(tf - t_0) - (C_\infty/k)[1 - \exp\{-k(tf-t_0)\}]$$

เมื่อ C_∞ คือ ร้อยละการย่อยสลายที่จุดสมดุลหลังจากการย่อย 120 นาที

tf คือ ระยะเวลาสุดท้ายของการย่อย (120 นาที)

t0 คือ ระยะเวลาเริ่มต้นของการย่อย (0 นาที)

k คือ ค่าคงที่ทางจลศาสตร์

ค่าดัชนีการย่อย (hydrolysis index, HI) แสดงอัตราการย่อยสลาย และค่าดัชนีน้ำตาลแบบประมาณค่าแสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายที่มีอยู่ในอาหารที่ทดสอบซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการย่อยของอาหารอ้างอิง (ขนมปังขาว) ค่าดัชนีการย่อยสามารถทำนายค่าไกลซีมิกได้ดี โดยคำนวณได้จากการหาค่าพื้นที่ใต้กราฟการย่อย (AUC) ของแต่ละทรีตเมนต์ด้วยค่าพื้นที่ใต้กราฟการย่อยของตัวอย่างควบคุม (ขนมปังขาว) ดังนั้นค่าดัชนีน้ำตาลของอาหารที่ทดสอบประมาณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$GI = 39.71 + 0.549HI$$

3.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านคุณสมบัติเชิงสุขภาพ

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมขนมจีนอบแห้ง 22 กรัม แช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด 8-10 นาทีจนเส้นสุกจนทั่ว แล้วตักเส้นขนมจีนขึ้นสะเด็ดน้ำให้แห้ง นำไปปั่นให้ละเอียด และสกัดตัวอย่างด้วยน้ำ DI ในอัตราส่วนของน้ำต่อขนมจีนอบแห้ง เท่ากับ 2:1 แช่ปิ้งเกอร์ใส่ตัวอย่างในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรอง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

3.3.2 วิธีวิเคราะห์ DPPH (DPPH free radical scavenging assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Pyo และคณะ (2014) ทดสอบโดยปิเปตสารละลายตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร และสารละลาย DPPH ในเมทานอล ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงใน microplate ผสมให้เข้ากัน วางในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้ Trolox เป็นสารละลายมาตรฐานในการเปรียบเทียบและรายงานผลในหน่วยไมโครกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่าง ($\mu\text{g TE/g sample}$)

3.3.3 วิธีวิเคราะห์ FRAP (Ferric reducing antioxidant power assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Wang และคณะ (2021) เตรียมสารละลาย FRAP โดยใช้สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ และสารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-1,3,5-triazine) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ผสมกันในอัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทดสอบสารตัวอย่างโดยปิเปตสารละลายตัวอย่าง 20 ไมโครลิตรและสารละลาย FRAP 180

ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน วางในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร โดยใช้ Trolox เป็นสารละลายมาตรฐานในการเปรียบเทียบและรายงานผลในหน่วยไมโครกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่าง ($\mu\text{g TE/g sample}$)

3.3.4 ABTS (ABTS radical cation decolorization assay) วิเคราะห์ตามวิธีของ Rajurkar และ Hande (2011) เตรียมสารละลาย ABTS^{•+} โดยผสม ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ กับ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 1:1 เก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12-16 ชั่วโมงก่อนทำการวิเคราะห์ จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำ ปรับให้ได้ค่าดูดกลืนแสง 0.700 ± 0.020 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ทดสอบสารตัวอย่างโดยปิเปตสารละลายตัวอย่าง 20 ไมโครลิตรและสารละลาย ABTS^{•+} 180 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน วางในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร โดยใช้ Trolox เป็นสารละลายมาตรฐานในการเปรียบเทียบและรายงานผลในไมโครกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมตัวอย่าง ($\mu\text{g TE/g sample}$)

(4) การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (complete randomize design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการทดลองทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ยกเว้นการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสทำการวิเคราะห์ซ้ำอย่างน้อย 10 ซ้ำ

(5) ถ่ายทอดเทคโนโลยี

จัดโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวซอชิงบ้านกระอาน ต.ท่าม่วง อ.เทพา จ.สงขลา

บทที่ 4

ผลการวิจัย

(1) ศึกษาปริมาณแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมในการทำเส้นขนมจีนจากแป้งข้าวช่อชิง

ข้าวช่อชิงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้าวที่ได้จากกลุ่มวิสาหกิจข้าวช่อชิงบ้านกระอาน ตำบลท่าม่วง อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นข้าวเก่าที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี ก่อนนำมาทำเส้นขนมจีน จากการวิจัยของสุพัตรา ไกลวัลย์ (2563) วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าวช่อชิง พบว่ามีปริมาณอะไมโลสคิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ จัดว่าเป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มที่มีอะไมโลสปานกลาง ซึ่งมีลักษณะของข้าวสุกค่อนข้างนุ่มและมีความเหนียวเพียงเล็กน้อย เมื่อนำไปแปรรูปผลิตภัณฑ์จะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม แต่ขาดความเหนียวและความคงตัวในการยึดเกาะของแป้งข้าว มีความยืดหยุ่นน้อย รุจิรา ปรีชา และชูชาติ สวนกุล (2550) เก็บตัวอย่างข้าวที่ใช้ทำเส้นขนมจีนในเขตจังหวัดพัทลุง นครศรีธรรมราช และสงขลา รวม 32 ตัวอย่าง พบว่า แป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมในการทำเส้นขนมจีน มีค่าปริมาณอะไมโลสสูง (26.38 – 31.30%) ทั้งนี้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสมากกว่าร้อยละ 25 จัดเป็นข้าวที่มีอะไมโลสสูงเหมาะสำหรับการทำก๋วยเตี๋ยวหรือผลิตภัณฑ์เส้นต่าง ๆ เพราะเมื่อแป้งถูกทำให้สุกตามกระบวนการผลิตเย็นตัวลง แป้งจะเกิดภาวะคืนตัวและจับเชื่อมกันเป็นเส้นที่เหนียว ยืดหยุ่น ไม่แฉะติดมือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะนำแป้งด้านการย่อยที่มีอะไมโลสสูง (High amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 330 (RS₃) มาทดแทนปริมาณแป้งข้าวช่อชิง เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนข้าวช่อชิงและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ

ขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวสำหรับการทำเส้นขนมจีน (ภาพที่ 4.1) นำข้าวช่อชิง (ข้าวเก่า) ล้างด้วยน้ำให้สะอาด แช่ข้าวทิ้งไว้ข้ามคืน เทน้ำทิ้ง ล้างข้าวหลาย ๆ น้ำ จนน้ำที่ล้างใส ก่อนนำข้าวไปโม่ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อให้สิ่งสกปรกที่ติดมากับข้าวหลุดออก และการแช่ข้าวจะช่วยเพิ่มความชื้นให้เมล็ดข้าวทำให้ข้าวนิ่มและโม่ได้ง่าย นำข้าวที่ล้างผ่านน้ำเรียบร้อยแล้วไปโม่ด้วยเครื่องโม่แป้ง โดยใช้วิธีการโม่แบบเปียก ใส่น้ำพอคลุกคลิกไปในระหว่างโม่ข้าว ซึ่งการโม่ข้าวเป็นการทำให้เม็ดสตาร์ชและองค์ประกอบอื่น ๆ หลุดและแตกออกจากกัน ซึ่งขณะบดข้าวต้องเติมน้ำลงไปเพื่อลดอุณหภูมิขณะโม่ไม่ให้สูงเกินไป จากนั้นนำน้ำแป้งที่ผ่านการโม่ ใส่อ่างผ้าดิบ ผูกถุงมัดทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำข้ามคืน เพื่อกรองแยกน้ำออก ผสมแป้งข้าวช่อชิงกับแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน เลือกใช้แป้งด้านการย่อยที่มีอะไมโลสสูง (High amylose corn starch หรือ Hi-maize) ในรูปแบบ NOVELOSE 330 (RS₃) โดยแทนที่แป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 จากนั้นนวดแป้งข้าวให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำก้อนแป้งไปนึ่งเป็นเวลา 5 นาที ให้ผิวนอกสุก คอยพลิกสลับด้านให้ผิวนอกสุกทั่วกัน ให้แป้งด้านนอกสุกแต่ด้านในยังคงดิบ ซึ่งกระบวนการนี้อาศัยความร้อนจากไอน้ำทำให้แป้ง (starch) เกิดการเจลลิตในซีเซชันและโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ นำแป้งที่นึ่งแล้วมานวดอีกครั้งจนเนื้อแป้งละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องนวดผสมอาหาร 30 นาที เติมน้ำ 2 % ของน้ำหนักแป้ง (ปวีณา ดิกิจ และนิรยุญา บุญตัน, 2563) และเติมน้ำเล็กน้อยระหว่างนวดแป้ง นวดให้เข้ากันอีกครั้งจนแป้งเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเหนียว นำแป้งที่นวดเสร็จแล้วใส่กระบอกรีดเส้นขนมจีนเพื่อที่จะบีบโรยเส้นลงในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 95-100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.2) เมื่อเส้นขนมจีนสุกสังเกตจากเส้นขนมจีนลอยขึ้นสู่ผิว

น้ำ ตักเส้นขึ้นมาแช่ในน้ำเย็นล้างผ่านน้ำให้สะอาด 2-3 รอบ ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำในตะกร้าจนแห้ง เก็บตัวอย่างเส้นขนมจีนในถุงซิปล็อคเพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 4.1: ขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวสำหรับการทำเส้นขนมจีน

(a) นวดแป้งหลังการนึ่งอีกรอบ



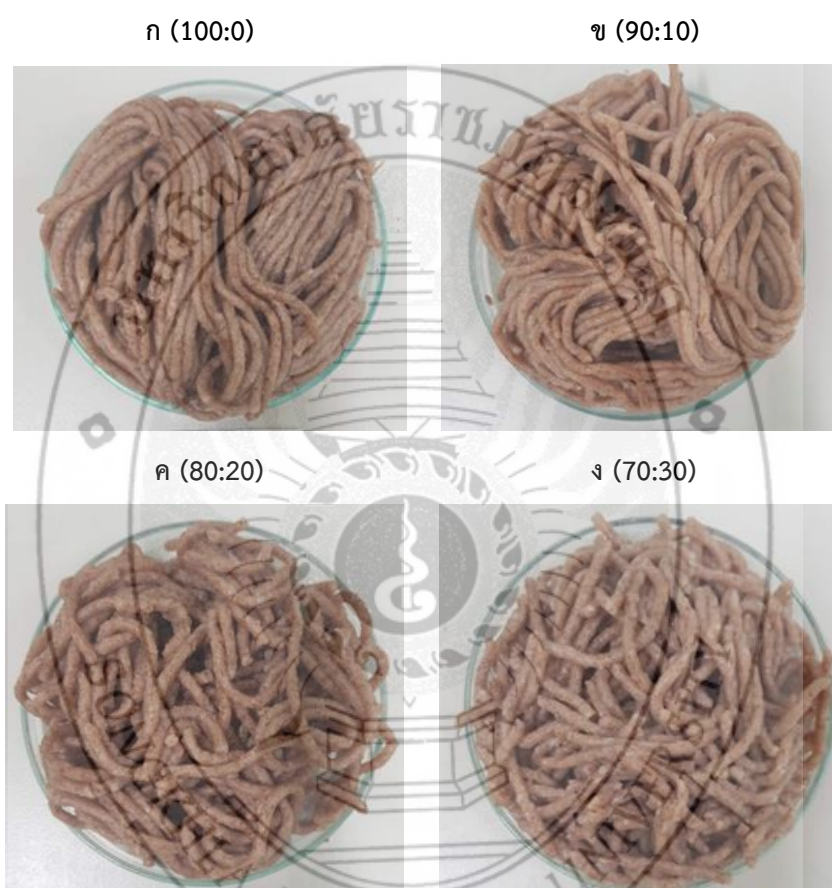
(b) การโรยเส้นขนมจีน



ภาพที่ 4.2: ขั้นตอนการทำเส้นขนมจีน

ทำการศึกษาอัตราส่วนของแป้งด้านการย่อยที่ทดแทนแป้งข้าวช่อชิงในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 เปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนที่ไม่มีการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย (ร้อยละ 0) เมื่อพิจารณาลักษณะของเส้นขนมจีนเบื้องต้นโดยใช้ความรู้สึก พบว่าอัตราส่วนของแป้งด้านการย่อยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ลักษณะของเส้นมีความแข็งมากขึ้นแต่ขาดเป็นเส้นสั้น ๆ ได้ง่าย โดยพบว่าการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 การจับเรียงเส้นมีเส้นขาดบ้างเล็กน้อย แต่เมื่อยิ่งเพิ่มปริมาณแป้งด้านการย่อยเส้นขนมจีนจะมีความแข็งกระด้างและขาดเป็นเส้นท่อนสั้น ๆ มากขึ้น สีของเส้นขนมจีนมีสีที่สวยตามธรรมชาติของแป้งข้าวช่อชิง จากการประเมินเบื้องต้นโดยใช้ความรู้สึกพบว่าการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ที่ส่งผลให้ลักษณะเส้นนุ่มและเส้นขาดน้อยที่สุด (ภาพที่ 4.3) และเมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนแป้งด้านการย่อยมากขึ้นในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 เส้นจะขาดเป็นเส้นสั้น ๆ มากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้แป้งด้านการย่อยที่เลือกใช้มาทดแทนแป้งข้าวช่อชิง เป็นแป้งด้านการย่อยที่จัดอยู่ในประเภทที่ 3 คือ แป้งคืนตัว (retrograded starch) จากกระบวนการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ที่เกิดขึ้นหลังจากการเพิ่มอุณหภูมิให้แป้งดิบโดยผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสสูง (ชนากร รติธรรมธร, 2560) ซึ่งตั้งสมมุติฐานว่าแป้งด้านการย่อยจะสามารถไปเพิ่มปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวสำหรับทำเส้นขนมจีน ส่งผลให้ไปปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ดีขึ้น ทั้งนี้สามารถแบ่งแป้งตามปริมาณอะไมโลสที่เป็นองค์ประกอบได้ 3 กลุ่ม คือ ข้าวที่มีอะไมโลสสูง (25-33%) ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลาง (20-25%) และข้าวที่มีอะไมโลสดำ (2-12%) โดยส่วนใหญ่ข้าวที่นิยมเอามาทำขนมจีนเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (Ishfaq et al., 2016) ปณต ณ์ท วชิรศิริ และกิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ (2554) ศึกษาการทดแทนข้าวขาวด้วยข้าวกล้องงอกในการผลิตขนมจีนแป้งหมักในปริมาณร้อยละ 20, 50, 75 และ 100 พบว่าการทดแทนข้าวขัดขาวด้วยข้าวกล้องงอกในปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง และเส้นขนมจีนมีความเหนียวนุ่มลดลง ทั้งนี้

เนื่องจากในข้าวกล้องมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าในข้าวขัดขาว เพราะข้าวกล้องไม่ผ่านกระบวนการขัดสีจึงยังมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือรำติดอยู่ ซึ่งส่วนนี้มีเส้นใยอาหารสูง เส้นใยนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้ดี ปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เส้นขนมจีนนุ่มขึ้นและมีความเหนียวลดลง เมื่อเพิ่มอัตราการทดแทนมากขึ้น เส้นขนมจีนที่ได้จึงมีความเหนียวลดลงและขาดง่ายขึ้น



ภาพที่ 4.3: ลักษณะของเส้นขนมจีนแป้งข้าวช่อชิงที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในปริมาณที่แตกต่างกัน (ก) 100:0 (ข) 90:10 (ค) 80:20 (ง) 70:30

1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเส้นขนมจีน

วัดค่าเนื้อสัมผัสของขนมจีนแบ่งข้าวซ่อซิง โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyser) ด้วยการวัดค่าแรงตัด (cutting/shearing force) ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างขาดจากกัน นำเส้นขนมจีนมาจัดเรียงชิดกันให้ได้ 5 เส้นพร้อมกัน วางลงบนแท่นตัด ทำการตัดตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว (pre-test speed) 0.17 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้วยระยะการตัด 4.5 มิลลิเมตร ซึ่งรายงานออกมาเป็นค่าความแน่นเนื้อ (Firmness; g) คือ ค่าแรงต้านสูงสุดที่ใช้ในการตัดเส้นขนมจีนขาดออกจากกันและค่าแรงตัด (Work of Shear; g*sec) คือ งานทั้งหมดที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างถูกตัดแยกออกจากกัน ถ้าใช้แรงในการตัดมากแสดงว่าเส้นขนมจีนมีความแน่นเนื้อมาก และยังแสดงถึงความคงทนของเส้นขนมจีนต่อการหุงต้มได้ รวมถึงการวัดค่าแรงกด (compression test) ซึ่งเป็นการทดสอบตัวอย่างโดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร กดตัวอย่างด้วยความเร็ว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยการกดลงบนเส้นขนมจีน 5 เส้นที่วางขนาดกัน ด้วยระยะกด 75% ของความหนาของเส้น ซึ่งรายงานออกมาเป็นค่าความแข็ง (Hardness; g) และค่าพลังงานยึดเกาะหรือความเหนียว (Adhesiveness; g*sec) ซึ่งแสดงถึงค่าความสามารถในการเกาะรวมกันของเส้นขนมจีน และยังชี้ถึงความคงทนของเส้นขนมจีนด้วย เปรียบเทียบค่าเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ผลแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าเส้นขนมจีนสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20 ให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าแรงตัดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าแรงกดพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เส้นขนมจีนที่ได้จะมีความแข็งกระด้างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเหนียวหรือค่าการยึดเกาะลดลง ซึ่งส่งผลให้เส้นขนมจีนขาดเป็นเส้นสั้น ๆ ได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของเส้นขนมจีนเมื่อยังเพิ่มอัตราแป้งด้านการย่อยมากขึ้น เส้นขนมจีนจะขาดเป็นเส้นสั้น ๆ มากขึ้น ทั้งนี้จึงส่งผลให้ไม่สามารถวัดค่าความเหนียว (Adhesiveness) ในขนมจีนสูตรที่เติมแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20 และ 30 เนื่องจากเส้นขนมจีนจะขาดเป็นเส้นสั้น ๆ ค่อนข้างเยอะ อย่างไรก็ตามถึงแม้เส้นขนมจีนสูตรที่แทนที่ด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20 จะมีความแน่นเนื้อสูงสุดแต่เส้นจะมีความแข็งจึงส่งผลให้เส้นขนมจีนขาดได้ง่าย ดังนั้นจะพบว่าการแทนที่แป้งด้านการย่อยในปริมาณที่สูงขึ้นจะเพิ่มความแข็งกระด้างของเส้นขนมจีนและในขณะเดียวกันความแน่นเนื้อจะลดลงจึงส่งผลให้เมื่อแทนที่ด้วยแป้งด้านการย่อยที่สูงขึ้นจะทำให้เส้นขนมจีนขาดเป็นเส้นสั้น ๆ มากขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนของการแทนที่ด้วยแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เส้นขาดน้อยที่สุด คือ การแทนที่ด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 จึงเลือกใช้อัตราส่วนนี้ในขั้นตอนถัดไปในการศึกษาการทำเส้นขนมจีนอบแห้งต่อไป ทั้งนี้อาจจะเป็นไปได้ว่าในแป้งด้านการย่อยที่นำมาใช้ยังคงมีปริมาณไขมันหลงเหลืออยู่ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ลิพิดที่ไม่ละลายน้ำและโปรตีนที่เกาะอยู่รอบ ๆ เม็ดแป้ง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลอะมิโลสในระหว่างการคั่วตัวของแป้งหลังให้ความร้อน (Park et al., 2020) ดังนั้นจึงทำให้การคั่วตัวของแป้งขนมจีนเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ เส้นขนมจีนที่ได้จึงมีความแข็งเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเหนียวในการยึดเกาะลดลง จึงส่งผลให้เส้นขนมจีนขาดมากขึ้นเมื่อแทนที่แป้งด้านการย่อยในปริมาณที่สูงขึ้น จากการศึกษาของ (Shompoosang et al., 2019) Shompoosang et al. (2019) พบว่าสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นหรือปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนโดยการกำจัดเอาโปรตีนออกจากแป้งขนมจีนด้วยกระบวนการ

หมักแป้งขนมจีนโดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ย้อยโปรตีน *Enterobacter ludwigii* สายพันธุ์ SK01 ในกระบวนการหมักแป้งขนมจีน เมื่อเปรียบเทียบกับหมักแป้งขนมจีนโดยไม่เติมหัวเชื้อ พบว่าการเติมหัวเชื้อในกระบวนการหมักความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ความยาวในการแตกหัก (breaking length) ความสว่างและความขาว (brightness and whiteness) ของเส้นขนมจีนมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้พบว่ากระบวนการหมักแป้งขนมจีนโดยเติมหัวเชื้อและไม่เติมหัวเชื้อสามารถลดปริมาณโปรตีนในแป้งหมักลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก 80 mg/g ลดลงเหลือ 18.2 ± 0.5 mg/g และ 26 ± 0.6 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ (Shompoosang et al., 2022) Shompoosang et al. (2022) ยังได้ศึกษาการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของเส้นขนมจีนโดยการดัดแปลงกระบวนการหมักแป้งขนมจีน ด้วยการหมักในสภาพของแข็ง (solid state fermentation) เป็นเวลา 3 วัน และหลังจากนั้นเป็นน้ำแป้งแล้วทำการหมักต่อในสภาพของเหลว (submerged fermentation) อีก 2 วัน เปรียบเทียบกับกระบวนการหมักแบบทั่ว ๆ ไปและไม่หมัก พบว่าการใช้แป้งที่ดัดแปลงกระบวนการหมักได้เส้นขนมจีนที่ขาวและนุ่มกว่าการใช้กระบวนการหมักแป้งแบบทั่วไป และในขณะเดียวกันพบว่าเส้นขนมจีนมีความยืดหยุ่นสูงกว่าเส้นขนมจีนที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก

ตารางที่ 4.1: ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนด้วยเครื่อง Texture Analyser

substitution level (% by weight)	Texture			
	Firmness (g)	Work of shear (g*sec)	Hardness (g)	Adhesiveness (g*sec)
0	106.40 ± 5.13^b	$1,020.54 \pm 41.49^b$	$3,801.30 \pm 572.92^c$	-92.65 ± 11.78^b
10	93.46 ± 8.43^c	923.79 ± 64.41^c	$4,823.47 \pm 441.81^b$	-107.17 ± 7.92^a
20	113.26 ± 4.69^a	$1,139.16 \pm 18.96^a$	$9,273.91 \pm 742.63^a$	Non detected
30	83.84 ± 3.32^d	756.69 ± 24.50^d	$9,378.73 \pm 869.33^a$	Non detected

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

- 0 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 0
 10 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 10
 20 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20
 30 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 30

วัดค่าสีของเส้นขนมจีนทั้ง 4 ชุดการทดลอง ที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.2) พบว่าการทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งด้านการย่อยส่งผลให้ค่าสีของเส้นขนมจีนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยรายงานเป็นค่า L^* , a^* และ b^* ซึ่งค่า L^* แสดง

ความสว่าง มีค่าระหว่าง 0 - 100 ซึ่งค่าที่เข้าใกล้ 0 จะแสดงถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างมืด ส่วนค่าที่เข้าใกล้ 100 แสดงถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่มีความสว่าง a^* แสดงถึงค่าสีแดงและสีเขียว เมื่อมีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง ในขณะที่ถ้ามีค่าติดลบจะแสดงถึงสีเขียว และค่า b^* จะแสดงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อมีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงค่าสีเหลือง ในขณะที่ถ้ามีค่าติดลบจะแสดงค่าสีน้ำเงิน ผลแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 30 มีค่าความสว่างสูงที่สุด รองลงมา คือ ตัวอย่างเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20, 10 และ 0 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าความสว่าง (L^*) ของเส้นขนมจีนแป้งทุกชุดการมีค่าค่อนข้างมืดเล็กน้อย อยู่ในช่วง 41.44 ถึง 45.13 ส่วนค่า a^* มีค่าอยู่ในช่วง 8.56 ถึง 9.90 ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีแดงเล็กน้อย และค่า b^* มีค่าอยู่ในช่วง 8.42 ถึง 10.24 แสดงถึงความเป็นสีเหลืองเล็กน้อย ซึ่งพบว่าการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เส้นขนมจีนมีค่าความสว่างสูงขึ้น ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวช่อชิงมีสารสีน้ำตาลอ่อนจากรงควัตถุที่พบในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าว ซึ่งไม่ได้ถูกขัดสีออก ส่วนแป้งด้านการย่อยมีสีขาว จึงส่งผลให้เมื่อแทนที่แป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยในปริมาณที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้เส้นขนมจีนที่ออกมาสีที่สว่างขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 4.2: ค่าสีของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยที่แตกต่างกัน

substitution level (% by weight)	Hunter		
	L^*	a^*	b^*
0	41.44 ± 0.56^c	9.17 ± 0.05^b	9.52 ± 0.10^b
10	42.92 ± 1.03^b	9.90 ± 0.19^a	10.24 ± 0.19^a
20	42.88 ± 0.93^b	8.99 ± 0.15^b	8.73 ± 0.21^c
30	45.13 ± 0.67^a	8.56 ± 0.19^c	8.42 ± 0.29^c

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

0 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 0

10 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 10

20 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20

30 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 30

1.2 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเส้นขนมจีน

เนื่องจากเส้นขนมจีนมีความชื้นและสารอาหารค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้เส้นขนมจีนเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยา จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์พบว่าเส้นขนมจีนทุกชุดการทดลองที่มีการแทนที่ด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่ต่างกัน มีค่าปริมาณจุลินทรีย์ผ่านเกณฑ์คุณภาพด้าน

จุลินทรีย์ทุกชุดการทดลองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเลขที่ 500/2547 ซึ่งกำหนดให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม, *Staphylococcus aureus* ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม, *Bacillus cereus* ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ *Escherichia coli* ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม สรุปดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3: ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่ต่างกัน

substitution level (% by weight)	Microorganism type			
	Total plate count (CFU/g)	<i>S. aureus</i> (CFU/g)	<i>B. cereus</i> (CFU/g)	<i>E. coli</i> (MPN/g)
0	3.1×10^3	< 10	< 10	< 3.0
10	2.3×10^4	< 10	< 10	< 3.0
20	9.2×10^3	< 10	< 10	< 3.0
30	1.7×10^5	< 10	< 10	< 3.0

0 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 0

10 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 10

20 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20

30 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 30

1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีน

ผลการศึกษารายการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิงที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนต่างกัน โดยให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) จากคะแนน 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน พิจารณาคะแนนความชอบในประเด็นลักษณะที่ปรากฏ สี ความนุ่ม ความเหนียวและความชอบโดยรวม พบว่าคะแนนความชอบในทุกประเด็นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยมากขึ้น จะทำให้เส้นขนมจีนขาดได้ง่ายขึ้น เส้นมีลักษณะเป็นเส้นสั้น ๆ จึงส่งผลให้คะแนนความชอบลดลง (ตารางที่ 4.4) โดยพิจารณาในแต่ละประเด็นดังนี้

ด้านลักษณะปรากฏ พบว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย (0%) และทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยอัตราส่วนร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยคะแนนความชอบจะลดลงเมื่อทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เส้นขนมจีนขาดออกเป็นเส้นสั้น ๆ จึงส่งผลให้คะแนนความชอบประเด็นลักษณะปรากฏลดลง

ด้านความชอบสี เส้นขนมจีนทุกชุดการทดลองมีคะแนนความชอบในเรื่องสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยที่มากขึ้น ส่งผลให้เส้นขนมจีนมีความสว่างมากขึ้น ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อคะแนนความชอบประเด็นเรื่องสี

ด้านความนุ่ม เส้นขนมจีนทุกชุดการทดลองมีคะแนนความชอบในประเด็นความนุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับความชอบด้านสี

ด้านความเหนียว พบว่าการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10 และ 20 ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับ ชุดการทดลองที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 30 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ความเหนียวของเส้นขนมจีนลดลง จนเส้นขนมจีนขาดได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนด้วยเครื่อง Texture Analyser ที่พบว่าชุดการทดลองที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 เส้นขนมจีนจะขาดค่อนข้างเยอะ

ด้านความชอบโดยรวม พบว่าเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งด้านทานการย่อยมากขึ้น จะส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมลดลง โดยชุดการทดลองที่ไม่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย (0%) และทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยอัตราส่วนร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนแป้งทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดแก่ผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนที่แทนที่ด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 0 และ 10 ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะพัฒนาเป็นเส้นขนมจีนเพื่อสุขภาพด้วยการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเลือกเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 10 มาทำการศึกษการพัฒนาเป็นเส้นขนมจีนอบแห้งต่อไป

ตารางที่ 4.4: ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนที่ต่างกัน

substitution level (% by weight)	Acceptance Sensory Properties				
	appearance	color	softness	stickiness	Overall acceptability
0	7.48 ± 1.39 ^a	7.24 ± 1.16 ^a	7.04 ± 1.77 ^a	7.00 ± 1.76 ^a	7.44 ± 1.56 ^a
10	7.48 ± 1.05 ^a	7.32 ± 1.07 ^a	7.04 ± 1.51 ^a	6.64 ± 1.87 ^{ab}	7.36 ± 1.52 ^a
20	6.76 ± 1.85 ^{ab}	6.88 ± 1.17 ^a	6.08 ± 1.89 ^a	5.92 ± 1.96 ^{ab}	6.68 ± 1.65 ^{ab}
30	6.16 ± 2.10 ^b	7.08 ± 1.08 ^a	6.08 ± 2.16 ^a	5.72 ± 1.97 ^b	6.08 ± 2.23 ^b

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

0 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 0

10 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 10

20 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 20

30 คือ เส้นขนมจีนทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยร้อยละ 30

(2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย

จากการศึกษาปริมาณแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนจากแป้งข้าวช่อชิงในตอนต้นที่ 1 พบว่าปริมาณแป้งด้านการย่อยที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งข้าวช่อชิง คือ ร้อยละ 10 ดังนั้นจึงเลือกสูตรการทำเส้นขนมจีนโดยการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนดังกล่าว มาพัฒนาต่อเป็นเส้นขนมจีนอบแห้ง พัฒนาเส้นขนมจีนอบแห้งด้วยวิธีการใช้ตู้อบรมร้อนแบบลาด ศึกษาเปรียบเทียบสภาวะในการอบแห้งเส้นขนมจีนที่ต่างกัน 3 สภาวะ คือ (1) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที (2) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงเหลือ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (3) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงเหลือ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเส้นขนมจีนอบแห้งมาศึกษาสิ่งต่อไปนี้

2.1 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของเส้นขนมจีนอบแห้ง

ผลการหาอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสม เปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ ได้แก่ 1) 70 องศาเซลเซียส 50 นาที 2) 70 องศาเซลเซียส 50 นาที ต่อด้วย 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 3) 70 องศาเซลเซียส 50 นาที ต่อด้วย 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้ง (มผช.140/2546) กำหนดปริมาณความชื้นของขนมจีนอบแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก และค่าปริมาณน้ำอิสระต้องมีค่าน้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำอิสระต่ำสุดที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จากตารางที่ 4.5 พบว่าเส้น

ขนมจีนแห้งที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่างกัน มีปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.28 - 0.68 จากการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที ค่า a_w ยังคงสูงกว่า 0.60 ซึ่งยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้ง ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และต่อด้วย 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และต่อด้วย 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าเส้นขนมจีนมีค่า a_w เท่ากับ 0.28 เท่ากันทั้ง 2 สภาวะ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกสภาวะในการอบแห้งโดยใช้ อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และต่อด้วย 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้ค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและ ป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารมีผลโดยตรงต่อคุณภาพและการเก็บรักษาสภาพผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากเป็นค่าที่ใช้บอกปริมาณน้ำที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้ตลอดจนการ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ พืชรี เกล็ดแสง และอาทิตย คัดลอก (2559) ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมใน การอบแห้งเส้นขนมจีนโดยอบที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 70 80 และ 90 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ค่า a_w และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นเกณฑ์การเลือกและศึกษาการคืนตัวของเส้นขนมจีน พบว่าอุณหภูมิที่ เหมาะสมในการอบแห้งเส้นขนมจีน คือ 70 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.572 ความชื้นเท่ากับ 7.509 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และคณะ (2565) พัฒนาระบบการผลิตขนมจีนน้ำปูชาโรโคลอบแห้ง หาระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ อบแห้ง โดยนำเส้นขนมจีนน้ำปูชาโรโคลไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 55, 65 และ 75 องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 275 นาทีเป็นสภาวะที่เหมาะสม ที่สุดในการผลิตเส้นขนมจีนน้ำปูชาโรโคลอบแห้ง ทั้งนี้หากใช้ความร้อนสูงและระยะเวลานานเกินไปใน กระบวนการอบแห้ง จะทำให้การหดตัวของเส้นขนมจีนในระหว่างการอบแห้งเกิดขึ้นเร็ว ส่งผลต่อ ความตึงผิวในแกนกลางเส้นและส่งผลให้เกิดการเสียรูปได้ (Ahmed et al., 2016)

ตารางที่ 4.5: ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของเส้นขนมจีนอบแห้ง

Treatment	moisture	a_w
1	6.58 ± 0.14 ^a	0.68 ± 0.03 ^a
2	6.23 ± 0.22 ^b	0.28 ± 0.04 ^b
3	6.27 ± 0.13 ^{ab}	0.28 ± 0.01 ^b

(1) อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที

(2) อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(3) อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2 ศึกษาระยะเวลาในการคืนรูปของเส้นขนมจีน

เลือกชุดการทดลองที่ 2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซนเซียสเป็นเวลา 50 นาที และ 50 องศาเซนเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งเส้นขนมจีน มาใช้ในการศึกษาระยะเวลาในการคืนรูปของเส้นขนมจีน ทั้งนี้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) เป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีน ซึ่งปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มสามารถสังเกตได้จากลักษณะการยุบตัวของน้ำที่ใช้ในการต้ม โดยสิ่งที่ละลายลงสู่น้ำที่ใช้ต้มจะเป็นแป้งหรืออะไมโลสที่หลุดออกมาจากเส้นขนมจีน ทั้งนี้ข้าวช่อจึงมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าในข้าวขัดขาว เพราะเป็นข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการขัดสีจึงยังมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือรำติดอยู่ ซึ่งส่วนนี้มีเส้นใยอาหารสูง เส้นใยนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้ดี ปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เส้นขนมจีนนุ่ม มีความเหนียวลดลง และขาดง่ายขึ้น ดังนั้นเพื่อลดระยะเวลาในการต้มเส้นเพื่อคืนรูปเส้นขนมจีน จึงใช้วิธีการแช่เส้นขนมจีนก่อนนำมาต้ม จากการเปรียบเทียบการนำเส้นขนมจีนไปแช่น้ำเป็นเวลา 0, 5 และ 10 นาที ก่อนนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที พบว่าวิธีการนำเส้นขนมจีนอบแห้งแช่น้ำ 10 นาที ก่อนการนำเส้นไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที เป็นระยะเวลาที่ดีที่สุดที่ลดการหลุดของแป้งจากเส้นขนมจีนอบแห้ง (แสดงดังตารางที่ 4.6) สังเกตจากลักษณะความยุบตัวของน้ำที่ใช้ต้ม ทั้งนี้การใช้ระยะเวลาในการต้มสั้นลงจะทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.6: ลักษณะปรากฏของเส้นขนมจีนหลังการคืนรูป

ระยะเวลาการแช่เส้นขนมจีนแห้ง (นาที)	ลักษณะของเส้นขนมจีนหลังคืนรูป
0	เส้นขนมจีนมีอัตราการดูดน้ำและคืนตัวยังไม่เต็มที่ ยังเกาะตัวเป็นก้อน ใจกลางเส้นยังมีความเป็นไต
5	เส้นขนมจีนมีการพองตัวและอัตราการดูดน้ำเพิ่มขึ้น ใจกลางเส้นยังมีความเป็นไตเล็กน้อย
10	เส้นขนมจีนมีความสุกพอดี มีการพองตัวและอัตราการดูดน้ำเต็มที่ ใจกลางไม่เป็นไต

2.3 ศึกษาอัตราการดูดน้ำของเส้นขนมจีนอบแห้ง

หลังจากศึกษาระยะเวลาในการคืนรูปที่เหมาะสม เลือกใช้วิธีการนำเส้นขนมจีนอบแห้งแช่น้ำ 10 นาที ก่อนการนำเส้นไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเปรียบเทียบอัตราการดูดน้ำกลับของเส้นขนมจีนอบแห้งทั้ง 3 สภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการดูดซับน้ำแสดงถึงปริมาณน้ำที่แป้งดูดซึมเข้าสู่เม็ดแป้ง และเป็นดัชนีบ่งบอกการเกิดเจลลาตินในเซชัน (Gelatinization) ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งแตกออกและพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลถูกทำลาย น้ำจึงเข้าสู่เม็ดแป้งและจับกับหมู่ไฮดรอก

ซิลได้มากขึ้น แป้งจึงสามารถดูดซับน้ำได้สูง (ภรินิตย์ ลบลม, 2564) ซึ่งผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนที่ต้องการ คือ มีอัตราการพองตัวหรือน้ำหนักหลังคั้นรูปสูงแต่ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มแล้วต้องไม่เปื่อยยุ่ยและไม่ขาดออกจากกัน น้ำหนักหลังคั้นรูปหรือต้ม (Cooking yield) ของเส้นขนมจีนแสดงถึงการพองตัวซึ่งเกิดจากความสามารถในการดูดซับ ดูดซึม และการกักเก็บน้ำของเม็ดแป้งระหว่างการต้มให้สุกในน้ำเดือด นำค่าน้ำหนักก่อนและหลังการคั้นรูปมาคำนวณรายงานออกมาเป็นค่าอัตราการดูดน้ำ (ตารางที่ 4.7) โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้สภาวะในการอบแห้งที่แตกต่างกัน มีผลทำให้น้ำหนักที่ได้หลังการต้มแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าสภาวะการอบแห้งชุดการทดลองที่ 2 คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ทำให้เส้นขนมจีนมีการดูดน้ำกลับสูงที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยให้ค่าการดูดน้ำเท่ากับ 165.94 ± 2.69 % ซึ่งเป็นผลจากโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่แตกต่างกันทำให้มีความสามารถในการจับน้ำที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้น้ำหนักหลังการต้มเพิ่มขึ้น กัญญา สอนสนธิ และคณะ (2565) พัฒนาเส้นขนมจีนข้าวไรซ์เบอร์รี่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งข้าวเจ้า พบว่าเส้นขนมจีนที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งข้าวเจ้าที่ 40:60 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด 5.9 ± 1.22 คั้นรูปด้วยการต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที มีอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 146.60 ± 0.19 ซึ่งพบว่าการแทนที่ด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในอัตราส่วนที่สูงขึ้น เส้นขนมจีนจะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นตามลำดับ แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าเส้นขนมจีนที่มีอัตราการดูดซึมน้ำมากจะส่งผลให้เส้นนิ่มและเละและขาดง่าย

ตารางที่ 4.7: อัตราการดูดน้ำของเส้นขนมจีนอบแห้ง

Treatment	ค่าการดูดน้ำ (%)
1	150.76 ± 1.56^b
2	165.94 ± 2.69^a
3	121.15 ± 6.87^c

(1) อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที

(2) อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(3) อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(3) การวิเคราะห์คุณภาพของขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย

นำผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนที่ผ่านการอบแห้งแล้วในสภาวะที่เหมาะสมตามการศึกษาในข้อ 2 คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

3.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

- **ตรวจวัดสี** : ด้วยวัดสีด้วยระบบ Hunter Lab พบว่าเส้นขนมจีนหลังอบแห้งมีค่า L^* , a^* และ b^* ลดลง ซึ่งจะส่งผลให้สีของเส้นขนมจีนเข้มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนก่อนการอบแห้ง ผลแสดงดังตารางที่ 4.8 ทั้งนี้ค่า L^* ที่เข้าใกล้ 0 จะแสดงถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างมืด ส่วนค่าที่เข้าใกล้ 100 แสดงถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่มีความสว่าง a^* แสดงถึงค่าสีแดงและสีเขียว เมื่อมีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง ในขณะที่ถ้ามีค่าติดลบจะแสดงถึงสีเขียว และค่า b^* จะแสดงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อมีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงค่าสีเหลือง ในขณะที่ถ้ามีค่าติดลบจะแสดงค่าสีน้ำเงิน ทั้งนี้จากการศึกษาผลของการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวกล้องหอมมะลิหนึ่งร่วมกับแป้งข้าวผสมต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี ของสุณัน ปานสาคร และคณะ (2018) ศึกษา พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงขึ้น หลังการอบแห้ง ซึ่งการลดลงของค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงหลังการอบแห้งอาจมีสาเหตุเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนโดยมีความร้อนทั้งจากการนึ่งและการอบแห้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลที่ได้ คือ สารประกอบที่มีสีน้ำตาล จึงสังเกตได้ว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีสีเข้มขึ้นเมื่ออบแห้ง เช่นเดียวกับเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิงการอบแห้งส่งผลต่อความเข้มขึ้นของผลิตภัณฑ์ประกอบกับข้าวช่อชิงเป็นข้าวที่มีสี ดังนั้นจึงส่งผลให้เส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิงที่ผ่านการอบแห้งมีสีที่เข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นขนมจีนก่อนการอบแห้ง

ตารางที่ 4.8: การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิง

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*
เส้นขนมจีนก่อนอบแห้ง	42.92 ± 1.03^a	9.90 ± 0.19^a	10.24 ± 0.19^a
เส้นขนมจีนหลังอบแห้ง	21.98 ± 1.54^b	9.04 ± 0.21^b	9.12 ± 0.35^b

3.2 คุณภาพทางเคมี

- การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (Proximate composition)

เมื่อนำเส้นขนมนจีนอบแห้งมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และพลังงานพบว่าเส้นขนมนจีนอบแห้งจากข้าวช่อขิงมีร้อยละของปริมาณสารดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.9 ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารพันธุ์ช่อขิงที่ไม่ผ่านการแปรรูปใด ๆ ของปวีณา ดิกิจ และนิรญา บุญตัน (2563) พบว่าข้าวช่อขิงมีร้อยละของปริมาณ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 78.41 โปรตีนร้อยละ 7.06 ไขมันร้อยละ 1.64 เถ้าร้อยละ 0.84 ความชื้นร้อยละ 12.05 และพลังงาน 367.01 Kcal/100 g ซึ่งมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับข้าวช่อขิงที่ผ่านการแปรรูปเป็นเส้นขนมนจีนอบแห้ง ซึ่งข้าวที่มีอยู่ในปัจจุบันจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาพันธุ์ และคณะ (2543) ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105, หอมสุพรรณบุรี, กข 7, กข 23, สุพรรณบุรี 60, เหลืองประทิว 123 ชัยนาท 1 และปทุมธานี 60 พบว่ามีปริมาณโปรตีนในช่วงร้อยละ 11.30-12.37 ไขมันในช่วงร้อยละ 0.60-1.04 นอกจากนี้วิภากร ทิรัก (2021) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวกล้องที่ปลูกในระบบอินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ใน จ.นครราชสีมา ได้แก่ พันธุ์หอมแดง เหลืองประทิว พญาลิ้มแกง ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดในขณะที่ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด ทั้งนี้พบว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะกระด้าง เคี้ยวยาก การเกาะตัวลดลง อีกทั้งปริมาณโปรตีนในข้าวที่สูงจะทำให้การดูดซึมน้ำช้าเนื่องจากโปรตีนจะปิดกั้นรอบเม็ดแป้ง นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนที่สูงในข้าวยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวลดลงเนื่องจากเม็ดแป้งเกาะตัวได้น้อย ดังนั้นปริมาณโปรตีนจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าวในการนำไปทำผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ปริมาณไขมันก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้งข้าว แม้โดยส่วนใหญ่แป้งข้าวจะมีไขมันประกอบอยู่ต่ำร้อยละ 1 แต่ไขมันที่อยู่ในเม็ดแป้งจะรวมตัวกับอะไมโลสเป็น amylose-lipid complex ซึ่งไม่ละลายน้ำเกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ช้า ลดความสามารถในการพองตัว การละลายและการจับตัวกับน้ำ

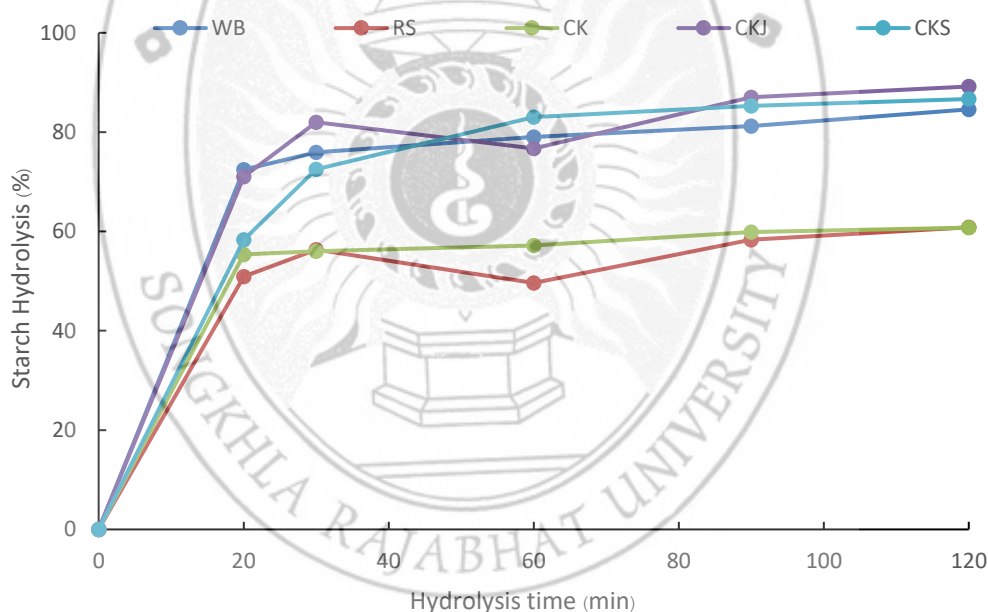
ตารางที่ 4.9: ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิง

Chemical properties	Percentage	Referent Method
Protein	5.42 g/100 g	In-house method TE-CH-042 based on AOAC (2019) 981.10
Fat	2.65 g/100 g	AOAC (2019) 948.15
Moisture	10.70 g/100 g	AOAC (2019) 950.46 (B)
Ash	0.86 g/100 g	AOAC (2019) 923.03
Carbohydrate	80.37 g/100 g	Journal of AOAC International; 1993.p8
Total Energy	367.01 Kcal/100 g	Journal of AOAC International; 1993.p106

- การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลแบบประมาณค่า (Glycemic index, GI)

ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) หรือ GI เป็นหน่วยวัดผลของคาร์โบไฮเดรตต่อระดับน้ำตาลในเลือด คาร์โบไฮเดรตจะแตกตัวเป็นน้ำตาลอย่างรวดเร็วในระหว่างการย่อยอาหารโดยค่า GI มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นกับว่าอาหารนั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดมากหรือน้อย หลังการบริโภคอาหารนั้น เป็นเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง ซึ่งค่า GI สามารถจำแนกได้ 3 ระดับ คือ ค่า GI สูง (มีค่ามากกว่า 70) ค่า GI ปานกลาง (56-69) และค่า GI ต่ำ (มีค่าน้อยกว่า 55) โดยการบริโภคอาหารที่มีค่า GI ต่ำ หรือมีค่า GI ลดลง จะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และลดความเสี่ยงในการเกิดโรคได้ ประเมินค่าดัชนีน้ำตาล (GI) โดยใช้เทคนิคติดตามการย่อยแป้งในตัวอย่างด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลอง เป็นเวลา 120 นาที คำนวณหาค่าคงที่ของการย่อยได้ (the kinetic constant; k), ค่าดัชนีการย่อยได้ (HI) โดย $HI = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของขนมปังขาว (Reference food)}} \times 100$ จากนั้นคำนวณหาค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณ (Glycemic Index; GI) โดย $eGI = 39.71 + (0.549 \times HI)$ (ธาริณี นิลคำแหง, 2021) จากการพิจารณาการปลดปล่อยน้ำตาลโดยใช้เทคนิคการติดตามการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลองในตัวอย่างข้าวช่อชิง แป้งด้านการย่อย และเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิง แสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่าตัวอย่างแป้งด้านการย่อย (RS) ปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่ที่สุดโดยมี % hydrolysis เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที เท่ากับ 50.94 ± 1.85 % รองลงมา คือ แป้งข้าวช่อชิง (CK) 55.36 ± 4.46 % ตามด้วยขนมจีนข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย 10% (CKS),

ขนมจีนข้าวฮ่อชิง (CKJ) และขนมปังขาว (WB) โดยมี % hydrolysis เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที เท่ากับ 58.36 ± 7.25 , 71.04 ± 7.05 และ 72.46 ± 5.75 % ตามลำดับ และเมื่อเวลาผ่านไปครบ 120 นาที พบว่าแป้งข้าวฮ่อชิง (CK) มี % hydrolysis ต่ำที่สุดเท่ากับ 60.76 ± 4.11 รองลงมา คือ แป้งด้านการย่อย (RS), ตามด้วยขนมปังขาว (WB), ขนมจีนข้าวฮ่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย 10% (CKS), และ ขนมจีนข้าวฮ่อชิง (CKJ) โดยมี % hydrolysis เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที เท่ากับ 84.58 ± 8.50 , 86.67 ± 4.23 และ 89.19 ± 8.48 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะพบว่าตัวอย่างเส้นขนมจีนเป็นตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปซึ่งผ่านกระบวนการเชิงกลโดยการไม่ทำให้ขนาดอนุภาคมีขนาดที่เล็กลง ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงอนุภาคเม็ดแป้งได้ง่าย และนอกจากนี้เส้นขนมจีนผ่านการให้ความร้อนเกิดกระบวนการเจลาติไนซ์ของเม็ดแป้งซึ่งเม็ดแป้งจะบวมและแตกออก ส่งผลให้ง่ายต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ และปลดปล่อยน้ำตาลออกมาได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ % hydrolysis ของเส้นขนมจีนสูงกว่าแป้งข้าวและแป้งด้านการย่อย แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย 10% จะมีการปลดปล่อยน้ำตาลที่ช้ากว่าเส้นขนมจีนที่ใช้แป้งข้าวฮ่อชิงอย่างเดียว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแป้งด้านการย่อยที่เติมลงไปสามารถลดการปลดปล่อยน้ำตาลให้ช้าลงได้



ภาพที่ 4.4: ผลการติดตามการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ภายในเวลา 120 นาที ของแป้งข้าวฮ่อชิงและผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีน โดยใช้ตัวอย่างขนมปังขาวเป็นตัวอย่างอ้างอิงเปรียบเทียบ

นอกจากนี้ค่าดัชนีการย่อยได้ (HI) เป็นอีกพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการย่อยแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในอาหารและความสามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าดัชนีน้ำตาล (GI) ในตัวอย่างได้ จากการทดลองพบว่าดัชนีน้ำตาลของแป้งข้าวฮ่อชิงมีค่าเท่ากับ 77.22 ± 3.15 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง ($GI > 70$) และเมื่อนำแป้งข้าวฮ่อชิงมาแปรรูปเป็นเส้นขนมจีนพบว่าค่าดัชนีน้ำตาลมีค่าสูงขึ้น โดยพบว่าเส้นขนมจีนจากข้าวฮ่อชิง (CKJ) มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ $92.83 \pm$

4.87 ส่วนเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย 10% (CKS) มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 91.86 ± 3.95 อย่างไรก็ตามพบว่าแป้งด้านการย่อยที่ทดแทนแป้งข้าวช่อชิงมีค่าดัชนีน้ำตาลลดลงเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Hydrolysis Index (HI) และ ค่า Glycemic Index (GI) พบว่าเมื่อตัวอย่างอาหารมีค่า HI ต่ำ จะส่งผลให้ค่า GI ต่ำลงด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอาหารที่มีค่า HI ในระดับต่ำแสดงว่ามีความสามารถในการทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในระดับสูง จากการทดลองพบว่าแป้งข้าวช่อชิงและแป้งด้านการย่อยจะมีค่า HI เท่ากับ 68.32 ± 5.73 และ 63.64 ± 4.29 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้ค่า GI มีค่าต่ำโดยมีค่า GI เท่ากับ 77.22 ± 3.15 และ 74.65 ± 2.35 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเส้นขนมจีนซึ่งอาจจะเนื่องมาจากเส้นขนมจีนผ่านกระบวนการแปรรูปและการเจลาติไนซ์จึงส่งผลให้ค่า HI และ GI มีค่าสูงกว่าแป้งข้าวช่อชิง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 4.10: ค่าดัชนีการย่อยได้ Hydrolysis Index (HI) และ ค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณ Glycemic Index (GI) ของตัวอย่างแป้งข้าวช่อชิงและเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิง

sample	Hydrolysis Index (%)	Glycemic Index
WB	93.40 ± 6.21^a	90.99 ± 3.41^a
RS	63.64 ± 4.29^b	74.65 ± 2.35^b
CK	68.32 ± 5.73^b	77.22 ± 3.15^b
CKJ	96.76 ± 8.88^a	92.83 ± 4.87^a
CKS	94.99 ± 7.20^a	91.86 ± 3.95^a

หมายเหตุ: WB = ขนมปังขาว, RS = แป้งด้านการย่อย, CK = ข้าวช่อชิง, CKJ = เส้นขนมจีนข้าวช่อชิง, CKS เส้นขนมจีนข้าวช่อชิงผสมแป้งด้านการย่อย 10%

ข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (GI) ที่หลากหลาย ค่า GI ของข้าวคำนวณได้โดยอิงจาก % CHO ที่แปลงเป็นกลูโคส ซึ่งส่วนประกอบหลักของเมล็ดข้าวที่ส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาล คือ ปริมาณอะไมโลส ปริมาณใยอาหาร วิธีการปรุงอาหาร และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว โดยข้าวที่หุงใหม่ ๆ มีปริมาณอะไมโลสสูงจะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นน้อยกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ และข้าวที่หุงสุกกว่า ข้าวกล้องมีดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขัด ข้าวที่มีใยอาหารสูงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงเมื่อ

เทียบกับข้าวที่มีใยอาหารต่ำ กระบวนการหุงข้าวทำให้มีดัชนีน้ำตาลสูง เนื่องจากกระบวนการเจลาติไนซ์เซชัน และนอกจากนี้กระบวนการแปรรูปข้าวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวมีการเปลี่ยนค่า GI ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลมาจากเครื่องปรุงรส เครื่องเคียง และวิธีการแปรรูป ซึ่งวิธีการปรุงอาหารที่ส่งเสริมให้เกิดการเจลาติไนซ์จะรบกวนโครงสร้างแป้งจึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มค่า GI (Dwiningsih and Alkahtant, 2023) นอกจากนี้ปัจจัยด้านสายพันธุ์ข้าว และปริมาณอะมิโลสที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้รวมทั้งส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลในอาหารแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้ เช่น ขนาดของเม็ดแป้ง โครงสร้างและความหนาแน่นของผลึกของแป้ง ระดับการเจลาติไนซ์เซชัน การพองตัวของเม็ดแป้ง การแตกตัวของผลึกแป้งในระหว่างกระบวนการหุงต้ม รวมทั้งปริมาณโปรตีนและไขมันที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร ซึ่งปริมาณ โปรตีน และ ไขมันที่มีอยู่ในอาหาร สามารถไปจับโมเลกุลของอะมิโลสในอาหารกลายเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนระหว่าง amylose-protein complexes และ amylose-lipid complexes และส่งผลให้การปลดปล่อยน้ำตาลในโครงสร้างเกิดได้ช้าลง มีผลไปลดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดได้ (ธาริณี นิลคำแหง, 2021) Chutima Lerdluksamee et al. (2024) รายงานดัชนีน้ำตาลของข้าวไทย 10 สายพันธุ์ที่ขึ้นทะเบียนเป็นข้าว GI ได้แก่ ข้าวล้านนา ไร่ลิ้มผัวเพชรบูรณ์ กาสสินธุ์ขาววง หอมมะลิพะเยา หอมมะลิทุ่งกุลาร้องไห้ หอมมะลิสุนทร เหลืองปะทิวชุมพร ไร่ดอกข่าพังงา สังข์หยดเมืองพัทลุง และ แจ็กช่วยเส้าให้ พบว่าข้าว GI ของไทยมีดัชนีน้ำตาลปานกลางถึงสูง โดยมีดัชนีน้ำตาลตั้งแต่ 62.3 (สังข์หยดเมืองพัทลุง) จนถึง 82.3 (กาสสินธุ์ขาว) ซึ่งค่าดัชนีนี้เป็นผลมาจากพันธุ์ข้าวมากกว่าลักษณะภูมิศาสตร์ คาร์บ สมะวรรณ และคณะ (2022) ศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณ (pGI) ของข้าวเมล็ดสีที่ปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวทับทิมชุมแพ ข้าวสังข์หยดพัทลุงและข้าวลิ้มผัว จากการศึกษาพบว่าข้าวเมล็ดสีทุกสายพันธุ์มีค่า pGI ในระดับที่สูง โดยข้าวสังข์หยดพัทลุงมีค่า pGI ต่ำที่สุด (75.74 ± 0.08) และนอกจากนี้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว Tangthanantorn et al. (2021) พัฒนาการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสดและแห้งที่มีแป้งด้านการย่อยสูงจากแป้งกล้วย (BF) พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่ใช้แป้งกล้วยแทนที่แป้งสาลี 10 ถึง 40% มีคุณสมบัติการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป จัดประเภทเป็นอาหารที่มีปริมาณ RS สูง และมีค่า GI ปานกลาง ซึ่งการเพิ่มไฮโดรคอลลอยด์ลงในสูตรของเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งช่วยส่งเสริมคุณภาพและปรับปรุงเนื้อสัมผัส รวมทั้งเพิ่มปริมาณ RS และลด GI โดย 1.0% Xanthan Gum เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดีที่สุดในสูตร DBF30 สำหรับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง โดยให้คุณภาพการปรุงอาหารที่ดี มีปริมาณ RS สูงมาก และ GI ปานกลาง

3.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านคุณสมบัติเชิงสุขภาพ

ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวฮ่อชิง สูตรที่เหมาะสม คือ สูตรที่ทดแทนข้าวฮ่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยปริมาณ 10% อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เตรียมขนมจีนอบแห้ง 22 กรัม แช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด 8-10 นาที จนเส้นสุกจนทั่ว แล้วตักเส้นขนมจีนขึ้นสะเด็ดน้ำให้แห้ง นำไปปั่นให้ละเอียด และสกัดตัวอย่างด้วยน้ำ DI ในอัตราส่วนของน้ำต่อขนมจีนอบแห้ง เท่ากับ 2 : 1 แช่ปิกเกอร์ใส่ตัวอย่างในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรอง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยทำการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ 2,2-azobis (3-ethylbenzothial-6-sulfonic acid) (ABTS) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าเส้นขนมจีนอบแห้งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ $69.78 \pm 1.75 \mu\text{g TE/g sample}$, $57.86 \pm 1.56 \mu\text{g Fe}^{2+}/\text{g sample}$ และ $84.00 \pm 2.32 \mu\text{g TE/g sample}$ จากการทดสอบด้วยวิธีการ DPPH, FRAP และ ABTS ตามลำดับ โดยวิธี DPPH assay เป็นการทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH[•] ของสารสกัดตัวอย่าง โดยสารสกัดตัวอย่างจะทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลของ DPPH[•] วิธี ABTS^{•+} assay เป็นการทดสอบความสามารถของต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูล ABTS^{•+} ที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{K}_2\text{H}_2\text{O}_8$) ส่วนวิธี FRAP assay เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของสารต้านอนุมูลอิสระต่อสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก ซึ่งจากการศึกษาของขวัญหทัย คงเอียง (2563) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP assay ของสารสกัดจากข้าวฮ่อชิงที่สกัดด้วยเอทานอล 80% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวฮ่อชิงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP $40.34 \pm 1.68 \text{ mg TE/g sample}$ และมีค่า IC_{50} เท่ากับ $830.56 \mu\text{g/ml}$ ด้วยวิธี DPPH ซึ่งจะพบว่าข้าวฮ่อชิงที่ไม่ได้ผ่านการแปรรูปจะมีปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวฮ่อชิงที่ผ่านการแปรรูปเป็นเส้นขนมจีนอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ากระบวนการแปรรูปข้าวเป็นเส้นขนมจีนอบแห้งยังคงส่งผลให้มีปริมาณสารสำคัญในเส้นขนมจีนหรือยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการแก่ผู้บริโภค ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของปฐมพร แววคุ้ม (2563) วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเส้นก๋วยจั๊บกึ่งสำเร็จรูปที่พัฒนามาจากแป้งข้าวกล้องสี พบว่ากระบวนการผลิตเส้นก๋วยจั๊บกึ่งสำเร็จรูปให้เส้นก๋วยจั๊บกึ่งสำเร็จรูปยังมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้เส้นก๋วยจั๊บกึ่งสำเร็จรูปมีคุณค่าและสารอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นก๋วยจั๊บกึ่งสำเร็จรูปที่ขายตามท้องตลาด นอกจากนี้ภรณ์ดิษฐ์ ลบลม (2564) ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเส้นขนมจีนแป้งหมักอบแห้งเสริมโปรไบโอติกโดยการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวมะลินิลสุรินทร์ พบว่าเส้นขนมจีนที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระวัดด้วยวิธี DPPH[•] อยู่ในช่วง $146.69 - 160.28 \text{ mg Trolox equivalents/100 g}$ และการอบแห้งเส้นขนมจีนที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.11: ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวฮ่อชิง

วิธีวิเคราะห์	ผลวิเคราะห์
DPPH	$69.78 \pm 1.75 \mu\text{g TE/g sample}$
FRAP	$57.86 \pm 1.56 \mu\text{g Fe}^{2+}/\text{g sample}$
ABTS	$84.00 \pm 2.32 \mu\text{g TE/g sample}$



4. การถ่ายทอดเทคโนโลยี

คณะวิจัยได้ดำเนินการจัดโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการและถ่ายทอดองค์ความรู้การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิงให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวช่อชิง บ้านกระอาวน อ.เทพา จ.สงขลา เมื่อวันที่ 7 กันยายน 2567 ณ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โดยมีตัวแทนจากทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและนักเรียนในหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพชั้นปีที่ 3 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาเลือกเรียนอาหารหมักดองเดิม (บูรณาการงานวิจัยกับการเรียนการสอนและบริการวิชาการ) กิจกรรมในครั้งนี้ได้บรรยายให้ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการเส้นขนมจีนอบแห้ง การควบคุมคุณภาพการผลิต และแนะนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบของคณะวิจัย โดยผู้เข้าร่วมโครงการได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองทุกขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นตอนการไม่แป้ง นวดแป้ง ทำเส้น รวมถึงเรียนรู้เทคโนโลยีการอบแห้งเส้นขนมจีน โดยมีรูปกิจกรรมแสดงดังนี้



ภาพที่ 4.5: กิจกรรมภาคบรรยายให้ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทำเส้นขนมจีนอบแห้ง การควบคุมคุณภาพการผลิต และแนะนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบของคณะวิจัย



ภาพที่ 4.6: กิจกรรมภาคปฏิบัติขั้นตอนการเตรียมแป้งขนมจีน



ภาพที่ 4.7: กิจกรรมภาคปฏิบัติขั้นตอนการทำเส้นขนมจีน



ภาพที่ 4.8: ผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้ง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 เป็นสูตรที่ดีที่สุดที่เลือกมาพัฒนาเส้นขนมจีนอบแห้ง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเส้นขนมจีน คือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที และลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่เส้นขนมจีนมีค่าความชื้นเท่ากับ 6.23 ± 0.22 และมีค่า a_w เท่ากับ 0.28 ± 0.04 เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้ง (มผช.140/2546) กำหนดปริมาณความชื้นของขนมจีนอบแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก และค่าปริมาณน้ำอิสระต้องมีค่าน้อยกว่า 0.6 และสภาวะที่เหมาะสมในการคั้นรูปเส้นขนมจีนอบแห้ง คือ แช่น้ำ 10 นาที และต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากการวิเคราะห์คุณภาพของเส้นขนมจีนอบแห้งพบว่ามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีวิเคราะห์ DPPH, FRAP และ ABTS เท่ากับ 68.78 ± 1.75 ug TE/g sample, 57.86 ug Fe^{2+} /g sample และ 84.00 ± 2.32 ug TE/g sample ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการแปรรูปข้าวเป็นเส้นขนมจีนอบแห้งยังคงส่งผลให้มีปริมาณสารสำคัญในเส้นขนมจีนหรือยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการแก่ผู้บริโภค และจากผลการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลแบบประมาณค่า (Glycemic index, GI) พบว่าเส้นขนมจีนให้ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวช่อชิงสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวช่อชิงที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป นอกจากนี้ติดตามการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลองในตัวอย่างข้าวช่อชิง แป้งด้านการย่อย และเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิง เมื่อเวลาผ่านไปครบ 120 นาที แป้งข้าวช่อชิง (CK) มี % hydrolysis ต่ำที่สุดเท่ากับ 60.76 ± 4.11 รองลงมา คือ แป้งด้านการย่อย (RS), ตามด้วยขนมปังขาว (WB), ขนมจีนข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย 10% (CKS), และขนมจีนข้าวช่อชิง (CKJ) โดยมี % hydrolysis เท่ากับ 84.58 ± 8.50 , 86.67 ± 4.23 และ 89.19 ± 8.48 ตามลำดับ ทั้งนี้เส้นขนมจีนผ่านการให้ความร้อนเกิดกระบวนการเจลาติไนซ์ของเม็ดแป้งซึ่งเม็ดแป้งจะบวมและแตกออก ส่งผลให้ง่ายต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ และปลดปล่อยน้ำตาลออกมาได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ % hydrolysis ของเส้นขนมจีนสูงกว่าแป้งข้าว

อภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าสามารถทดแทนแป้งข้าวช่อชิงด้วยแป้งด้านการย่อยแค่ 10 % เมื่อยิ่งเพิ่มอัตราส่วนแป้งด้านการย่อยมากขึ้นในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 เส้นจะขาดเป็นเส้นสั้น ๆ มากขึ้นตามลำดับ จึงส่งผลให้คะแนนความชอบลดลงเมื่อทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้ข้าวช่อชิงที่นำมาทำเส้นขนมจีนเป็นข้าวกล้องซึ่งไม่ผ่านกระบวนการขัดสีจึงยังมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือรำติดอยู่ ซึ่งส่วนนี้มีเส้นใยอาหารสูง เส้นใยนี้มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้ดี ปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เส้นขนมจีนนี้ขึ้นและมีความเหนียวลดลง เมื่อเพิ่มอัตราทดแทนมากขึ้น เส้นขนมจีนที่ได้จึงมีความเหนียวลดลงและขาดง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปข้าวเป็นเส้นขนมจีนอบแห้งยังคงส่งผลให้มีปริมาณสารสำคัญในเส้นขนมจีนหรือยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการแก่ผู้บริโภคซึ่งพิจารณาจากค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีวิเคราะห์ DPPH, FRAP และ ABTS และจากการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลแบบประมาณค่า (Glycemic index,

GI) พบว่าเส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวช่อชิง (CKJ) มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 92.83 ± 4.87 ส่วนเส้นขนมจีนจากข้าวช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย 10% (CKS) มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 91.86 ± 3.95 ซึ่งการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยส่งผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลลดลงเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การแปรรูปเส้นขนมจีนซึ่งผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์เซชันส่งผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวช่อชิงสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวช่อชิงที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของเส้นขนมจีนข้าวช่อชิงด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติมแทนวิธีการทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อย ทั้งนี้ถึงแม้ว่าแป้งด้านการย่อยสามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลของแป้งข้าวได้แต่เนื่องจากสามารถทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยได้แค่ 10% เท่านั้นในการทำเส้นขนมจีน จึงไม่เห็นความแตกต่างในการลดค่าดัชนีน้ำตาลลงอย่างชัดเจน และนอกจากนี้กระบวนการแปรรูปข้าวส่งผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวเพิ่มขึ้นอีกด้วย



เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- ขวัญหทัย คงเอียง. (2563). ถูภัยด้านอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมือง 5 สายพันธุ์ ใน จ.สงขลา. โครงการวิจัยนักศึกษา สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- คำรบ สมะวรรณนะ, พิมพชนก พริกบุญจันทร์, ธวัชชัย ศุภวิทิตพัฒนา และปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา. (2022). ค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณของข้าวเมล็ดสีที่ปลูกในประเทศไทย. Khon Kaen Agriculture Journal Suppl. 1: 124-129.
- จารุพรรณ ไบนาค, รัตนาพร วงศ์ภักดี และอโนชา สุขสมบูรณ์. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้งผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 46(3): 361-364.
- จิตรา อ่างทอง และ จิรวรรณ อุ่นเมตตาอารี. (2560). ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยจั๊บอุบลกิ่งสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพจากแป้งแค้นตะวัน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- จิรนาถ บุญคง (2553). Resistant Starch: แป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร. 6(1): 1-8.
- ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาญวัฒน์, ประนอม มงคลบรรจง, ลือชัย อารยะรังษฤษฎ์, งามชื่น คงเสรี และวิชัย หิรัญยูปกรณ์. (2543). คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารจำนวน 8 สายพันธุ์. วารสารวิชาการเกษตร. 18(2): 164-169.
- ธาริณี นิลคำแหง. (2564). การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว กข43 และผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการเลียนแบบการย่อยของน้ำตาล. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยสยาม. 16(1): 59-77.
- ธนากร รติธรรมธร. (2560). แป้งด้านการย่อย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 22(1): 166-176.
- ปฐมพร แววคุ้ม. (2563). สมบัติเชิงหน้าที่และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของแป้งข้าวกล้องสีและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยจั๊บอุบล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ปวีณา ดิกิจ และ นิรุธญา บุญดิน (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนแป้งหมักอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิง ในพื้นที่บ้านกระอาน อ.เทพา จ.สงขลา. รายงานวิจัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- ปัทมณท์ วชิรศิริ และกิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. (2554). การทดแทนข้าวขาวด้วยข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกในขนมจีนแป้งหมัก. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 29: 11-20.
- พัชรี เฉลิมแสน และอาทิตย์ คินนอก. (2559). การทำเส้นแห้งขนมจีน. รายงานวิจัย สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

- พรพิมล กสิกิจวิวัฒน์. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งเส้นใยอาหารสูงจากแป้งข้าวดีดแปรรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภรินดิษฐ์ ลบม. (2564). การผลิตเส้นขนมจีนแป้งหมักและเส้นขนมจีนแป้งหมักอบแห้งเสริมโปรไบโอติกโดยการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวมะลินิลสุรินทร์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
- มานิชญ์ สุธีรชีรวพัฒนานนท์. (2558). การเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้า. รายงานการวิจัย สำนักวิชาการเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- รุจิรา ปรีชา และชูชาติ สวนกุล. (2550). พันธุ์และคุณภาพแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมจีน. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. 231-240.
- วิณากร ที่รัก. (2020). องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ต่าง ๆ จากการปลูกในระบบอินทรีย์ของจังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 39(1): 65-71.
- สุนัน ปานสาคร, จตุรงค์ ลังกาพันธ์, อาริยา ไชยพล และอภิสิทธิ์ สุขประसार. (2561). ผลของการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวผลิตจากแป้งข้าวกล้องหอมนิลนึ่งร่วมกับแป้งข้าวผสม. แก่นเกษตร. 46(1): 111-128.
- สำเริง แซ่ตัน. (2553). ข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ เล่มที่ 2. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2: กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebens-Wiss. Technol.* 28: 25-30.
- Dwiningsih, Y. and Alkahtant, J. (2023). Glycemic index of diverse rice genotypes and rice products associated with health and diseases. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology.* 5(1): 1-14.
- Goni, I., Alonso, A.G. and Calixto, F.S. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr Res.* 17(3): 427-437.
- Lerdluksamee, C., Srikaeo, W. and Srikaeo, K. (2024). Glycemic responses of special rice: Case study in Thai geographical indication rice cultivars. *Agriculture and Natural Resources.* 58: 13-22.
- Oupathumpanont, O. and Suwonsichon, T. (2014). Change of sensory characteristic of fermented rice flour and fermented rice noodle (Kanom-jeen) during fermentation by *Lactobacillus plantarum* A1. *J. Appl. Sci. Res.* 9(12): 6063-6071.
- Pongjanta J. and Lerdluksamee, C. (2019). Quality improvement of Thai flat rice noodle restructured with starch digested enzyme and resistant rice starch type III. *Adv. in Nut. & Food Sci.* 1-13.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S. and Kullami, P.R. (2006). Resistant starch: A review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety.* 5(1): 1-17.
- Shompoosang, S., Marui, J., Yodin, K., Varichanan, P. and Panthavee, W. (2019). Effect of proteolytic bacteria on texture and colour quality of khanom-jeen, traditional Thai fermented rice noodles. *Letters in Applied Microbiology.* 69(5): 339–345.
- Shompoosang, S., Marui, J., Varichanan, P., Dueramae, S. and Panthavee, W. (2022). Improving the texture and color of *khanomjeen*, a Thai fermented rice noodle, using a modified rice fermentation method. *Food Science and Technology Research.* 28(1): 95–103.
- Tangthanantorn, J., Wichienchot, S. and Sirivongpaisal, P. (2022). Development of fresh and dried noodle products with high resistant starch content from banana flour. *Food Science and Technology.* 42: e68720.



ภาคผนวก ก

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส



แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale 9 point

ผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิง

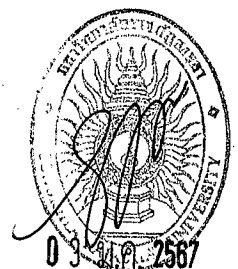
คำแนะนำ: ท่านจะได้รับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจำนวน 4 ตัวอย่าง กรุณาสังเกตลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ ต้มกลิ่น จากนั้นจึงเริ่มรับประทาน โดยเริ่มจากตัวอย่างทางซ้ายไปทางขวา และในระหว่างการทดสอบกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความชอบตามความรู้สึก โดยให้คะแนนระดับความชอบดังนี้

ระดับของความชอบ	ระดับคะแนน	ระดับของความชอบ	ระดับคะแนน
ชอบมากที่สุด	9	ไม่ชอบเล็กน้อย	4
ชอบมาก	8	ไม่ชอบปานกลาง	3
ชอบปานกลาง	7	ไม่ชอบมาก	2
ชอบเล็กน้อย	6	ไม่ชอบมากที่สุด	1
เฉยๆ	5		

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง			
1. ลักษณะปรากฏ				
2. สี				
3. กลิ่น				
4. รสชาติ				
5. ลักษณะเนื้อสัมผัส				
6. ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ







คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

Songkhla Rajabhat University Human Research Ethics Committee

160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 เบอร์โทรศัพท์ 074 260 286

เอกสารรับรองการยกเว้นพิจารณาจริยธรรมโครงการวิจัย

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ดำเนินการให้การรับรองการยกเว้นพิจารณาจริยธรรมโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นมาตรฐานสากลได้แก่ Declaration of Helsinki, The Belmont Report, CIOMS Guideline International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice หรือ ICH-GCP) และ 45CFR 46.101(b)

ชื่อโครงการ : การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนอบแห้งจากข้าวพื้นเมืองพันธุ์ช่อชิงทดแทนด้วยแป้งด้านการย่อยเพื่อยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวช่อชิงบ้านกระอาน อ.เทพา จ.สงขลา

เลขที่โครงการวิจัย : HREC No. 056/2566

ผู้วิจัยหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ดิกิจ

สังกัดหน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ผู้ร่วมวิจัย : 1. อาจารย์ ดร.นิรญา บุญตัน

สังกัดหน่วยงาน : วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2. อาจารย์ ดร.ปรียาภรณ์ เดชอรัญ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารรับรอง

1. แบบเสนอโครงการวิจัย
2. เอกสารชี้แจงข้อมูลแก่ผู้เข้าร่วมการวิจัย
3. หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย
4. เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

ลงนาม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ดิกิจ กังสนันท์)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา



ภาคผนวก ค

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ





ภาพที่ ค-1: ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวปวีณา ดิกิจ
- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Paweena Dikit, Ph.D
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานที่สังกัด หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ.เมือง จ. สงขลา 90000
4. หมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร 0-8946-3368-0 (มือถือ)
5. อีเล็ททรอนิกส์ (e-mail) paweena.di@skru.ac.th
6. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2553 ปริญญาโท (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พ.ศ. 2548 วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) เกียรตินิยมอันดับ 1 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
7. ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่

Saimmai, A. Riansa-ngawong, W., Maneerat, S. and **Dikit, P.** (2020). Application of biosurfactants in the medical field. *Walailak Journal of Science and Technology*. 17(2): 154-166.

Dikit, P. , Maneerat, S. and Saimmai, A. (2019). Production and application of biosurfactant produced by *Agrobacterium rubi* L5 isolated from Mangrove sediments. *Applied Mechanics and Materials*. 886: 98 - 104.

Dikit, P. , Maneerat, S. and Saimmai, A. (2019). The effective emulsifying property of biosurfactant-producing *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* ST1 obtained from palm oil contaminated sites. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 55(6): 615-625.

Saimmai, A., Riansa-ngawong, W., Maneerat, S. and **Dikit, P.** (2017). Microbial diversity analysis of thermophilic hydrogen-producing consortia from hot spring in the south of Thailand and evaluate cashew apple juice as a substrate. *J. Sci. Technol.* 36(6): 803-812.

Dikit, P., H-Kittikun, A. and Maneerat, S. (2015). Survival of encapsulated potentially probiotic *Lactobacillus plantarum* D6SM3 with bioemulsifier derived from spent yeast in simulated gastrointestinal conditions. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 37(4), 425-432.

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวนิรยุญา บุญตัน
- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Nirunya Buntin, Ph.D
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
3. หน่วยงานสังกัด วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏ
สงขลา ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000
4. หมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร 0-9543-0334-6

5. อีเล็ททรอนิกส์ (e-mail) nirunyb444@gmail.com

6. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2560 ปริญญาโท (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พ.ศ. 2551 วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พ.ศ. 2547 วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

7. ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่

Buntin, N., Hongpattarakere, T., Ritari, J., Douillard, F.P., Paulin, L., Boeren, S., Shutty, S.A., and de Vos, W.M. (2017) An inducible operon is involved in inulin utilization in *Lactobacillus plantarum* strains, as revealed by comparative proteogenomics and metabolic Profiling. Appl. Environ. Microbial. 80(2): e02402-16 Impact Factor (2017) =3.823 (Q1)

Buntin, N., de Vos, W.M and Hongpattarakere, T. (2017) Variation of mucin adhesion, cell surface characteristics and molecular mechanisms among *Lactobacillus plantarum* isolated from different habitats. Appl. Microbial. Biotechnol. 101:7663-7674. Impact Factor (2017) =3.81 (Q1)

Buntin, N. and Hongpattarakere, T. 2014. Antimicrobial activity and plantaricin (*pln*) encoding genes of *Lactobacillus plantarum* isolated from various sources. J. Biotechnol. 185 (Supplement): S74. (May 2014) IF (2014)=2.871

Hongpattarakere, T., **Buntin, N.** and Nuylert, N. 2016. Histamine development and bacterial diversity in microbially-challenged tonggol (*Thunnus tonggol*) under temperature abuse during canning manufacture. J. Food Sci. Technol. 53(1): 245–256. Impact Factor (2014) = 2.203

Hongpattarakere, T., Rattanaubon, P. and **Buntin, N.** 2013. Improvement of freeze-dried *Lactobacillus plantarum* survival using water extracts and crude fibers from food crops. Food Bioprocess Technol. 6:1885-1896. Impact Factor (2013) = 3.12

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางปรียาภรณ์ เดชอรัญ
- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Preeyabhorn Detarun, Ph.D
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานสังกัด คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
4. หมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร 0-8674-2599-9

5. อีเล็ททรอนิกส์ (e-mail) preeya.h@psu.ac.th

6. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2559 ปริญญาโท (อาหารสุขภาพและโภชนาการ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พ.ศ. 2549 วท.ม. (โภชนศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2546 วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล

7. ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่

Detarun P., Srichamnaturakit V., Isaramalai S., Rakpanusit T. 2022. Enhancing nutritional care with egg white supplementation on serum albumin level for home-based bed-ridden elderly patients. *Functional Foods in Health and Disease*. 12(6): 308-324. (**Scopus, Q3**)

Owolabi L.O., Dat-arun P., Takahashi Y., Yupunqui C., Wichienchot S. 2020. Gut microbiota metabolism of functional carbohydrates and phenolic compounds from soaked and germinated purple rice. *Journal of Functional Foods*. 66:1-13.

Dat-arun P., Chakree K., Settharaksa S. 2019. Fatty acid profile, phenolic compounds and potential antioxidant activity of fresh and cooked massaman curry paste. *Functional Foods in Health and Disease*. 9(8): 543-557.

Dat-arun P., Leelawattana R., Chinachoti P. 2018. Effects of Namya Kanom Jeen powder extract on hypoglycemic and anti-oxidant properties in Alloxan-induced diabetic rats. *Bioactive Compounds in Health and Disease*. 1(12): 86-100.

Hmadhlu, P., Sae-Wong C., and Chinachoti P. 2016. Anti-oxidative and anti-inflammatory properties of Southern Thai foods extracts. *International Food Research journal* 23(6):2440-2448.

Settharaksa, S., Jongjareonrak, A., Hmadhlu, P., Chansuwan, W. and Siripongvutikorn, S. 2012. Flavonoid, phenolic contents and antioxidant properties of Thai hot curry paste extract and its ingredients as affected of pH, solvent types and high temperature. *International Food Research Journal* 19(4): 1581-1587.