รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อโครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์
Optimization the Production of the Instant Cooked Glutinous Rice to Increase Commercial Value of the Products.

รหัสโครงการ 4709009

โดย

ศุภัคษร มาแสวง
SUPUKSORN MASAVANG
วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์
WORALUKPANYATHITIPONG

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2568

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567
จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อโครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์

Optimization the Production of the Instant Cooked Glutinous Rice to Increase Commercial Value of the Products.

รหัสโครงการ 4709009

โดย

ศุภัคษร มาแสวง
SUPUKSORN MASAVANG
วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์
WORALUKPANYATHITIPONG

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2568

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567
จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์

ชื่อ นามสกุล ศุภัคษร มาแสวง และ วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์

บทคัดย่อ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เริ่มจาก 7 ครัวเรือนและขยายเป็น 171 ครัวเรือน มีพื้นที่นาเกือบ 1,783 ไร่ ผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ ข้าว “ข้าวอิ่ม” และข้าวฮางงอก ซึ่งได้รับมาตรฐานออร์แกนิค ฮาลาล และ OTOP 4 ดาว กลุ่มผสานภูมิปัญญาเดิมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การแช่ข้าว การควบคุมอุณหภูมิในการนึ่ง การอบแห้ง และการบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้ข้าวนึ่งสำเร็จรูปมีคุณภาพ ปลอดภัย และสามารถแข่งขันในตลาดได้ เกษตรกรในกลุ่มส่วนใหญ่มีอายุ 41–60 ปี พื้นที่เพาะปลูก 10–25 ไร่ ปัญหาหลักคือราคาข้าวผันผวน พึ่งพาพ่อค้าคนกลาง ต้นทุนสูง และเข้าถึงเทคโนโลยีการแปรรูปจำกัด การวิเคราะห์ SWOT พบว่าจุดแข็งคือความร่วมมือภายในกลุ่มและโรงสีขนาดเล็ก ขณะที่จุดอ่อนคือขาดองค์ความรู้ด้านการแปรรูป การตลาด และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ข้อเสนอแนะคือการสนับสนุนเครื่องจักร เทคโนโลยีการผลิต การพัฒนาแบรนด์และบรรจุภัณฑ์ การฝึกอบรม และสร้างเครือข่ายการตลาด เพื่อยกระดับกลุ่มสู่ความยั่งยืนและเพิ่มมูลค่าข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

การศึกษาเปรียบเทียบข้าวเหนียว 4 ชนิด ได้แก่ นาปีเก่า (OR), นาปีใหม่ (NR), นาปรังเก่า (OD) และนาปรังใหม่ (ND) พบว่าเมล็ดแต่ละชนิดแตกต่างกันด้านความยาว สี และความแข็ง ข้าวนาปีมักเม็ดยาว ข้าวเก่าดูดซึมน้ำได้ดีกว่าและแข็งกว่า ข้อมูลนี้เป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของข้าวเหนียว ผลการศึกษาผลกระทบของระยะเวลาแช่และกระบวนการแปรรูปต่อข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปพบว่าระยะเวลาแช่มีผลต่อความชื้นและคุณภาพของเมล็ด ความชื้นเพิ่มอย่างรวดเร็วใน 0–30 นาที และคงที่เมื่อแช่ 60 นาทีขึ้นไป การแช่ ≥60 นาทีช่วยให้เมล็ดดูดซึมน้ำดี เกิดเจลาติไนเซชันสูง เมล็ดโปร่งใสและเนื้อนุ่ม ข้าวนาปีใหม่ดูดซึมน้ำเร็ว ขณะที่ข้าวนาปรังเก่าดูดซึมน้ำน้อย เกิดรอยแตกและเนื้อสัมผัสแข็ง

การแช่แข็งข้าวเหนียวส่งผลต่อปริมาตรและความหนืดหลังหุงต้ม การแช่ 1 ชั่วโมงให้ปริมาตรสูงสุด แต่การแช่ 2–3 ชั่วโมงทำให้ปริมาตรและความหนืดลดลงจากรีโทรเกรเดชันของอะไมโลเพกติน การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วย XRD พบว่าข้าวดิบมีโครงสร้าง A-type ชัดเจน แต่เมื่อแช่น้ำนานขึ้น พีค A-type ลดลงและ V-type ปรากฏมากขึ้น การแช่แข็งก่อนอบแห้งทำให้เกิดโครงสร้างผสม A+V-type SEM แสดงว่าระยะเวลาแช่มีผลต่อรูปร่างและพื้นผิวของเมล็ด เม็ดบวม แตกเล็กน้อย และพื้นผิวขรุขระจนเข้าสู่การเจลาติไนเซชัน เมื่อตั้งเวลาแช่ 120 นาที เม็ดมีรูพรุนและสูญเสียรูปทรงเดิม ส่วนองค์ประกอบทางเคมีพบว่าความชื้นเพิ่มขึ้นตามเวลา ขณะที่ร้อยละคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันลดลงเล็กน้อยจากการเจือจาง น้ำที่ถูกดูดซับช่วยให้เมล็ดอ่อนตัวและเกิดเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ ส่งผลต่อความนุ่มและความเหนียวของผลิตภัณฑ์ การควบคุมระยะเวลาแช่ ชนิดข้าว และการแช่แข็งก่อนแปรรูปจึงมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และโครงสร้างของแป้งข้าวเหนียว การ

ปรับกระบวนการเหล่านี้ช่วยให้ข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปมีคุณภาพสูง เนื้อนุ่ม เหนียวสม่ำเสมอ และคืนสภาพหลังการปรุงได้ดี

คำสำคัญ: ข้าวเหนียว, ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป, การแช่ข้าว, อายุการเก็บของข้าวสาร

Project Optimization the Production of the Instant Cooked Glutinous Rice to Increase Commercial Value of the Products.
Authors Supuksorn Masavang and Woraluk Panyathitipong

ABSTRACT

The Lad Phatthana Organic Rice Community Enterprise, found in Ban Lat Subdistrict, Mueang District, Maha Sarakham Province, Thailand, started with seven households and has grown to 171 households, taking care of about 1,783 rai of paddy fields Its main products include “Khao Im” rice and germinated brown rice, which are certified under organic, Halal, and OTOP 4-star standards. The community integrates traditional knowledge with modern technologies, including rice soaking, controlled steaming, drying, and packaging, resulting in ready-to-eat steamed rice with high quality, safety, and market competitiveness. Most farmers in the community are aged 41–60 years, cultivating 10–25 rai per household. Major challenges include price volatility, dependence on intermediaries, high production costs, and limited access to processing technologies. SWOT analysis identified strengths such as internal collaboration and small-scale rice mills, whereas weaknesses include limited knowledge in processing, marketing, and product standardization. Recommendations include support for machinery, production technologies, brand and packaging development, training programs, and marketing network expansion to enhance sustainability and add value to ready-to-eat steamed glutinous rice. A comparative study of four glutinous rice types—old wet-season (OR), new wet-season (NR), old dry-season (OD), and new dry-season (ND)—revealed differences in grain length, color, and hardness. Wet-season rice tended to have longer grains, whereas aged rice absorbed water more effectively but was harder. The effects of soaking time and processing on semi-processed glutinous rice showed that soaking significantly influenced moisture content and grain quality. Moisture increased rapidly within 0–30 minutes and stabilized after 60 minutes. Soaking for ≥60 minutes enhanced water uptake, promoted gelatinization, and produced translucent, soft grains. New wet-season rice absorbed water faster, while old dry-season rice absorbed less, resulting in cracks and a firmer texture. Freezing affected post-cooking volume and viscosity, with one-hour freezing yielding maximum expansion, whereas 2–3 hours reduced volume and viscosity due to amylopectin retrogradation. X-ray diffraction (XRD) analysis indicated that raw rice exhibited distinct A-type crystalline structures, which decreased with prolonged soaking as V-type structures increased. Freezing prior to drying produced a stable mixed

A+V-type structure. Scanning electron microscopy (SEM) showed that soaking time influenced grain morphology and surface characteristics: grains swelled, developed minor cracks, and surface roughness increased with gelatinization. Soaking for 120 minutes produced porous grains with lost original morphology. Proximate analysis indicated that moisture increased with soaking time, whereas carbohydrate, protein, and lipid contents slightly decreased due to dilution. Water absorption facilitated grain softening and complete gelatinization, enhancing product tenderness and stickiness. Controlling soaking duration, rice variety, and freezing prior to processing is therefore critical to the physicochemical and structural properties of glutinous rice flour. Optimizing these processes ensures high-quality semi-processed steamed glutinous rice with a uniform soft and sticky texture and satisfactory restoration after cooking.

Key word: Glutinous rice, Instant glutinous rice, Soaking time, Aging

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ (Optimization the Production of the Instant Cooked Glutinous Rice to Increase Commercial Value of the Products.) ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 และความร่วมมือจากคุณลุง ณตวรรษ อินทวงษ์ ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา เลขที่ 149 หมู่ที่ 2 ตำบลลาดพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ที่เป็นแหล่งข้อมูลในการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเป็นอย่างดีจนสามารถดำเนินการวิจัยได้สำเร็จลุล่วงตามแผนงานได้

อีกทั้งทางทีมวิจัยของขอบคุณคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน ผู้ช่วยวิจัย ที่ได้ทำงานวิจัยด้วยความมุ่งมั่น ทุ่มแรงกายและแรงใจจนสามารถดำเนินการวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และแผนงานที่กำหนดไว้ รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและความอนุเคราะห์จนทำให้โครงการวิจัยนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

ศุภัคษร มาแสวง
วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์

สารบัญ

หน้า	
บทคัดย่อ	**ก**
Abstract	**ค**
กิตติกรรมประกาศ	**จ**
สารบัญ	**ฉ**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญภาพ	**ญ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	5
1.5 สมสุติฐานงานวิจัย	6
1.6 กรอบแนวความคิดในการวิจัย	7
1.7 คำสำคัญ	8
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**9**
2.1 ความสำคัญและความเป็นมา	9
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	10
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว	12
2.4 ข้าวเหนียวพันธุ์ธัญสิริน	15
2.5 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)	16
2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน	18
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าว	19
2.8 การผลิตข้าวสำเร็จรูป (Instant rice)	20
2.9 กลไกของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป	29
2.10 ลักษณะจำเพาะและคุณภาพ	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	**50**
3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	50
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	50
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	51
3.4 สถานที่ทำการวิจัย	58
3.5 ระยะเวลาทำการวิจัย	58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล **59**

4.1 ผลการศึกษาภูมิปัญญาปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับกระบวนกำรผลิตข้าวนึ่งสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี 59

4.2 ผลการการสัมภาษณ์ชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ ณ กลุ่มวิสาหกิจ - ชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด จังหวัดมหาสารคาม 70

4.3 การศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต - ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป 75

4.4 ศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป 90

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ **108**

5.1 สรุปผล 108

5.2 ข้อเสนอแนะ 110

เอกสารอ้างอิง **112**

ภาคผนวก **118**

ภาคผนวก ก รูปภาพการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป 119

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ 123

ภาคผนวก ค ผลิตภัณฑ์ต้นแบบข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป 128

ภาคผนวก ง แนวคำถามการสัมภาษณ์เชิงลึกโดยใช้คำถามแบบกึ่งโครงสร้าง 129

ภาคผนวก จ เอกสารชี้แจงอาสาสมัคร 137

ประวัติผู้วิจัย **138**

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลเพกติน	19
2.2 การแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก	20
2.10 ข้าวสำเร็จรูปที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆร้าวหลังการอบแห้งลดลง	
2.11 ผลกระทบของปัจจัยหลากหลายต่อการย่อยแป้ง (Starch Digestibility) และค่าดัชนีน้ำตาล (Glycaemic Index) ของข้าว	34
2.5 ผลของส่วนผสมต่อคุณลักษณะของข้าวสำเร็จรูป	39
2.6 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวสำเร็จรูปจากข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ	48
4.1 ลักษณะทางสังคมและเศรษฐกิจของสมาชิกวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม	65
4.2 ข้อมูลต้นทุนการแปรรูปและรายได้จากผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม	66
4.3 กำไรสุทธิของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามประจำปี 2566	67
4.4 การจัดลำดับโครงการที่สมาชิกมีความต้องการเร่งด่วน	69
4.5 วิเคราะห์สถานการณ์ (SWOT) ของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์บ้านลาดพัฒนา	72
4.6 คุณภาพของข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ที่แช่น้ำก่อนทำการนึ่งที่เวลาแตกต่างกัน	76
4.7 ปริมาณความชื้นของข้าวสารของข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ที่แช่น้ำก่อนทำการนึ่งที่เวลาแตกต่างกัน	77
4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยระหว่างกลุ่ม (Tests of Between-Subjects Effects) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวเหนียววัตถุดิบสำหรับผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป	79
4.9 คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวที่เตรียมจากการแช่ข้าวสารในน้ำด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)	82
4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยระหว่างกลุ่ม (Tests of Between-Subjects Effects) ที่มีต่อคุณสมบัติทางความร้อนของข้าวเหนียว	84
4.11 คุณสมบัติการเกิดเจลาติไนเซชันและความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ของแป้งข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป	89
4.12 ปริมาณความชื้นข้าวสารที่แช่น้ำที่เวลาต่างๆ	90
4.13 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและความโปร่งแสงของเมล็ดข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่าน-การแช่น้ำด้วยเวลาแตกต่างกันก่อนนึ่ง	93
4.14 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของของเมล็ดข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่น้ำด้วยเวลาแตกต่างกันก่อนนึ่ง	94
4.15 ความหนืดของข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่ที่เวลาต่างๆ	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.16 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่มีระยะเวลาในการแช่ต่างกัน 99
4.17 ความหนาแน่น และอัตราการคืนรูปของข้าวเหนียวแช่แข็ง 99
4.18 คุณภาพในการหุงต้มของข้าวเหนียวแช่แข็ง 100
4.19 ความหนืดของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่แข็งที่เวลาต่างๆ 101
4.20 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่มีระยะเวลาในการแช่แข็งต่างกัน 102
4.21 องค์ประทางเคมีของข้าวนึ่งสำเร็จรูป (Proximate analysis) ที่เตรียมจากข้าวสารที่แช่น้ำด้วยระยะเวลาแตกต่างกันก่อนการนึ่ง 107

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว 11
2.2 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสมบัติการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง รวมถึงโครงสร้างระดับโมเลกุลของแป้ง ปริมาณน้ำ การมีอยู่ของเกลือ น้ำตาล โปรตีน ไขมัน และโพลี – แซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง 12
2.3 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกตินและอะไมโลส 13
2.4 ลักษณะโครงสร้างอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วยสาย A B และ C 14
2.5 ลักษณะโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline structure) ของเม็ดแป้ง 14
2.6 ระยะการเกิดเจลาติไนเซชัน 17
2.7 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งในชั้นลามิลลากึ่งผลึกเมื่อแป้งเกิดเจลาติไนซ์ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นจำกัด เส้นโค้งสีแดงแสดงสายโซ่สั้นของอะไมโลส; สายเกลียวคู่สีน้ำเงินเกิดจากการรวมตัวระหว่างอะไมโลเพคตินกับสายโซ่ปานกลางของอะไมโลส; สายเกลียวคู่สีดำพัฒนามาจากการรวมตัวกันของโมเลกุลอะไมโลเพคติน 17
2.8 โครงสร้องของอะไมโลเพกตินและอะไมโลส 19
2.9 เทคโนโลยีก่อนหุง หุง และหลังหุง พร้อมการจำแนกประเภทที่แตกต่างกันเพื่อผลิตข้าวสุกและข้าวสำเร็จรูปธรรมดา 22
3.1 สารละลายอะมิโลสมาตรฐานที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน 53
3.2 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณอะมิโลส (กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร 54
4.1 คุณจิราภรณ์ อินทะสร้อย เป็นประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนการลงพื้นที่กลุ่มเกษตรกรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 59
4.2 ผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม (ที่มา Facebook: ข้าวอิ่ม-เกตรเข้มแข็ง) 60
4.3 การลงพื้นที่กลุ่มเกษตรกรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 60
4.4 เครื่องบรรจุสุญญากาศและโรงสีชุมชน 61
4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดข้าวสารเหนียว 4 ชนิด 70
4.6 ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวเหนียวที่แช่ที่เวลาต่างๆ หลังการให้ความร้อน 91
4.7 ความหนืดของข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่ที่เวลาต่างๆ 97
4.8 ลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวที่แช่แข็งที่เวลาต่างๆ หลังการทำแห้ง 100
4.9 ความหนืดของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่แข็งที่เวลาต่างๆ 101

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.10 ลักษณะทางโครงสร้างผลึก (Crytallinity) ของแป้งข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ใช้เวลาในการแช่ข้าวก่อนนึ่งแตกต่างๆ กัน ได้แก่ WR-N: ข้าวสารดิบ (Native), WR-30M: แช่ 30 นาที WR-60M: แช่ 60 นาที, WR-90M: แช่ 90 นาที, WR-120M: แช่ 120 นาที และ WR-90MF: แช่ 90 นาทีและทำการแช่แข็งก่อนอบแห้ง 103

4.11 ภาพจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบสแกน (SEM) ของแป้งข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ใช้เวลาในการแช่ข้าวก่อนนึ่งแตกต่างๆ กัน (A) ข้าวสารดิบ (Native) (B) แช่ 30 นาที (C) แช่ 60 นาที (D) แช่ 90 นาที (E) แช่ 120 นาที และ (F) แช่ 90 นาทีและทำการแช่แข็งก่อนอบแห้ง 105

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ข้าวเหนียว (Oryza sativa var. glutinosa) เป็นอาหารหลักของชาวเอเชีย ในประเทศไทยบริโภคในปริมาณมากเป็นอาหารหลักสำหรับมื้ออาหารประจำวันในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ทั้งสองภูมิภาคยังเป็นแหล่งเพาะปลูกหลักของข้าวเหนียวที่สำคัญอีกด้วย ข้าวเหนียวหุงโดยนึ่งหลังจากแช่น้ำแทนการต้มที่ต่างจากการหุงข้าวเจ้า ระยะเวลาในการแช่น้ำที่ยาวนานนั้นเกิดจากค่าการดูดซึมน้ำในข้าวเหนียวน้อยกว่าในข้าวเหนียว (Sowbhagya et al, 1994; Keeratipibul et al., 2008) ข้าวพันธุ์ กข6 เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนและตอนกลาง ส่วนข้าวพันธุ์ กข22 เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกนอกฤดูกาลหรือปลูกเป็นข้าวนาปี เนื่องจากทนต่อโรคและแมลงได้ดีกว่า กข6 (สมใจ สาลีโทและคณะ, 2560) ข้าวเหนียวหลังจากที่สีเอาเปลือกออกเมล็ดข้าวจะมีสีขาวและทึบแสง การหุงข้าวเหนียวต้องนำข้าวสารไปแช่น้ำประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปนึ่งในหวดและหม้อนึ่ง ขณะที่นึ่งเมล็ดข้าวสีขาวทึบแสงจะค่อยๆ กลายเป็นเมล็ดใสแสงส่องผ่านได้

ในโลกสมัยใหม่ปัจจุบัน ความกดดันทางสังคมที่มีการแข่งขันสูงทำให้ผู้คนในเมืองใหญ่หันมารับประทานอาหารที่ประหยัดเวลาและสามารถรับประทานได้อย่างรวดเร็ว อาหารที่ชื่นชอบมากที่สุดหลายประเภท ได้แก่ อาหารพร้อมรับประทานและอาหารสำเร็จรูป เช่น ข้าวพร้อมรับประทาน ข้าวสำเร็จรูป และอาหารปรุงสุกร้อนกึ่งสำเร็จรูป อาหารพร้อมรับประทานเชิงพาณิชย์เหล่านี้ต้องการวิธีการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพเป็นตัวอย่างของกระบวนการทำความเย็นอย่างรวดเร็วที่ทำให้เย็นลงทันทีเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักของข้าวสุก (Pansa-ead et al., 2014) ในทำนองเดียวกัน ข้าวเหนียวพร้อมรับประทานหรือข้าวเหนี่ยวนึ่งสำเร็จรูปจะมีน้ำหนักลดลงในกระบวนการทำความเย็นอย่างรวดเร็ว และบ่อยครั้งที่ข้าวเหนียวจะแข็งและมีกลิ่นหอมน้อยลง อย่างไรก็ตามการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนี่ยวนึ่งสำเร็จรูปอาจช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นได้ การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนี่ยวนึ่งสำเร็จรูปมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น สายพันธุ์ สภาวะการปลูก และอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น พันธุ์ข้าวเหนียวไทยเป็นสายพันธุ์ที่ได้มาจากข้าวอินดิกา (Indica rice) มีเมล็ดยาว สีขาวทึบ พันธุ์ที่นิยม ได้แก่ สันป่าตอง กข6 และ กข10 ในทางกลับกัน พันธุ์ กข4 ไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะข้าวหุงสุกมีเนื้อแข็งกว่าพันธุ์ กข6 และ กข10 ในบรรดาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ปริมาณอะมิโลสถือเป็นคุณสมบัติหลักที่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและความเงางามของข้าวหุงสุก ยิ่งมีปริมาณอะมิโลสสูงส่งผลให้ข้าวหุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและความเงาลดลง (Juliano, Onate, & del Mundo, 1965) ข้าวเหนียวแทบไม่มีปริมาณอะมิโลส (0-2%) จึงทำให้เมล็ดข้าวเหนียวเหนียวเกาะติดกัน แม้จะมีปริมาณอะมิโลสต่ำมากแต่ข้าวเหนียวแต่ละพันธุ์ก็ให้

คุณสมบัติและคุณรูปที่แตกต่างกันไปเมื่อถูกนำไปแปรรูป คุณลักษณะที่แตกต่างกันของข้าวเหนียวช่วยให้สามมรถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ทำให้เกิดความคงตัวใน ซอส น้ำเกรวี่ และพุดดิ้ง ทำให้ไม่เกิดการแยกตัวของน้ำระหว่างแช่แข็งและละลายที่พบในอาหารแช่แข็ง (Bean, Esser, & Nishita, 1984; Juliano & Hicks, 1996) ความแตกต่างในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวสามารถแยกแยะได้จากคุณสมบัติทางเคมีกายภาพอื่นๆ เช่น ค่าการย่อยในสารละลายด่าง ความคงตัวของเจลและอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน ตามที่รายงานโดย Kongseree (1979) พันธุ์ กข4 มีอุณหภูมิเจลาติไนซ์สูง (>74 C) ข้าวหุงสุกมีเนื้อแข็งและเหนียวน้อยกว่าข้าวพันธุ์ กข6 ซึ่งมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ต่ำกว่า (<70 องศาเซลเซียส) ดังนั้นผู้บริโภคจึงชอบข้าวหุงสุกจาก กข6 มากกว่าข้าวหุงสุกจาก กข4 นอกจากนี้ Sung และคณะ (2007) พบว่าการเก็บข้าวเหนียวเป็นเวลา 6 เดือนมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งโดยใช้รังสีแกมมามากกว่า ข้าวหุงสุกที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีความแข็งและมีกาวน้อยกว่าข้าวหุงสุกที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าว โดยทั่วไปควรเก็บข้าวเปลือกใหม่ไว้เป็นเวลา 3-4 เดือนก่อนแปรรูป และพบว่าข้าวที่มีอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวแล้วสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าและมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวสด (Howell and Cogburn, 2004) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษารวมถึงการเพิ่มความแข็งของเกรนและความหนืดสูงสุด (Siebenmorgan and Meullenet, 2004) ดังนั้นการนึ่งข้าวสุกจะทำให้ได้ผลผลิตที่แยกส่วนกันมากขึ้นและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น (Barber, 1972) จึงไม่ต้องสงสัยเลยว่าผลิตภัณฑ์ใด ๆ เช่น ก๋วยเตี๋ยว ที่ทำจากข้าวอายุมากจะเหนียวน้อยลง นอกจากนี้ Kanlayakrit และคณะ (2013) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวสารของข้าว 2 สายพันธุ์ ได้แก่ กาฬสินธุ์11 และข้าวดอกมะลิ105 ข้าวตัวอย่างถูกเก็บไว้หลังการเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 10 เดือน ใน 3 สภาวะที่แตกต่างกัน ได้แก่ ห้องเย็น (20±5 C), อุณหภูมิห้อง (30±5C) และคลังสินค้า (40±5C) พบว่าปริมาณอะมิโลสและโปรตีนของทั้งสองตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ความคงตัวของเจลแป้งสุก อัตราส่วนการยืดตัวของเจล และค่าความหนืดที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในการจัดเก็บ โดยข้าวพันธุ์กาฬสินธุ์ 11 มีค่าความคงตัวของเจลน้อยกว่าข้าวดอกมะลิ105 แต่มีค่าอัตราส่วนการยืดตัวของเจลแป้งสุกที่สูงกว่าภายใต้สภาวะการเก็บรักษาเดียวกัน ซึ่งผลการวิจัยนี้พบว่าทั้งข้าวเปลือกและข้าวสารในสภาพเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการแตกตัวของเม็ดแป้ง (Breakdown) ลดลงตามระยะเวลาในการจัดเก็บหลังการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแตกต่างของความหนืดสุดท้ายและค่าการแตกตัวของเม็ดแป้ง (Setback) เพิ่มขึ้น ส่วนค่า Setback ของข้าวกาฬสินธุ์11 สูงกว่าข้าวดอกมะลิ105 อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้สภาวะการเก็บรักษามีผลต่อค่าความหนืดที่วัดด้วยเครื่อง RVA ของข้าวเปลือกมากกว่าข้าวสาร ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสภาวะการเก็บรักษาของส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของทั้งข้าวเปลือกและข้าวสีเมื่อเปรียบเทียบ รวมถึงอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวของข้าว

อีกทั้งก่อนการแปรรูปข้าวเหนียว ข้าวสารจะผ่านการการเตรียมเบื้องต้นก่อนการหุง เช่น การแช่ข้าว (Yeh et al., 1992) ที่เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการนึ่งข้าว ตามด้วยนึ่งและทำให้เมล็ดข้าวแห้ง

ก่อนนึ่งข้าวเหนียวที่เป็นข้าวสารต้องแช่น้ำนานๆ เพื่อทำให้เมล็ดข้าวนิ่ม ซึ่งช่วยให้แป้งดูดซึมน้ำได้ในระหว่างการปรุงอาหาร Kashaninejad และคณะ (2007) รายงานว่าอุณหภูมิในการแช่มีผลอย่างมากต่อจลนพลศาสตร์ของการแช่ข้าว พบว่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้นจาก 25-70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการแช่น้ำลดลงตามอุณหภูมิการแช่ที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำระหว่างการแช่ข้าวมีตั้งแต่ 5.58x10-11 ถึง 3.57x10-10 m2/s ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา ในระหว่างการแช่ข้าว ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นของเมล็ดข้าว และความพรุนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการแช่ข้าว

การวิจัยล่าสุดเกี่ยวกับกระบวนการข้าวหุงสุก ข้าวหุงสุก และข้าวเหนียวมีขั้นตอนการแช่ การแช่ข้าวจะทำให้ข้าวมีความกระด้างต่ำและมีความเหนียวสูงสำหรับข้าวทุกชนิด Pansa-ead และคณะ (2014) รายงานว่าข้าวเหนียวและข้าวเหนียวที่หุงแล้วลดลงเมื่อเวลาแช่เพิ่มขึ้น เวลาแช่นานขึ้นจะทำให้การดูดซึมน้ำในข้าวสูงขึ้น ส่งผลให้ข้าวหุงสุกนิ่มและเหนียวน้อยลงการวิจัยล่าสุดเกี่ยวกับข้าวหุงสุก ข้าวหุงสุก และข้าวเหนียวมีขั้นตอนการแช่ การแช่ข้าวจะทำให้ข้าวมีความกระด้างต่ำและมีความเหนียวสูงสำหรับข้าวทุกชนิด และทีมวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวเขาวงษ์และ กข6 ในระหว่างระหว่างการเก็บรักษาในกล่องข้าวไม้ไผ่สาน พบว่าสายพันธุ์ของข้าวเหนียว คือ ข้าวเหนียว กข6 และข้าวเหนียวเขาวงษ์ ส่งผลต่อคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาข้าวนึ่งสุกในภาชนะไม้ไผ่สาน ผลการศึกษาพบว่าความกระด้างของข้าวหุงสุกระหว่างการเก็บรักษาที่ 0-24 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าว กข 6 และข้าวเขาวงษ์มีการเปลี่ยนแปลงที่ 6 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการเก็บรักษา 0-12 ชั่วโมง ข้าวที่หุงสุกแล้วจะใสและอุ่น แต่เมล็ดข้าวที่หุงแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ในชั่วข้ามคืนจะมีสีขุ่นและเย็นมากกว่า อย่างไรก็ตามความแข็งของข้าวเขาวงษ์หุงสุกในการเก็บรักษา 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าต่ำกว่าความแข็งของ กข6 ความเหนียวของข้าวหุงสุกจะเปลี่ยนไปเมื่อเก็บรักษา 6 ชม. สำหรับทั้งสองสายพันธุ์ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความเหนียวหลังการเก็บรักษา 24 ชม. พบว่าค่าความเหนียวของข้าว กข6 สูงกว่าข้าวเขาวงษ์ ผลการทดลองเหล่านี้บ่งชี้ว่าข้าวเขาวงษ์หุงสุกมีค่าความแข็งคงตัวในภาชนะนานถึง 12 ชั่วโมง ซึ่งยาวกว่า กข6 มาก กล่าวอีกนัยหนึ่งข้าวหุงสุกสูญเสียน้ำในอัตราที่ช้ากว่า กข6

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปดังที่กล่าวมานี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของวัตถุดิบต่อคุณภาพของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนของข้าวเหนียวไทยที่นิยมปลูกมากในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2 สายพันธุ์ คือพันธุ์ กข6 ในรูปแบบข้าวนาปีทั้งที่เป็นข้าวใหม่ (3-6 เดือน) และข้าวเก่า (2 ปี) และพันธุ์ กข22 ในรูปของข้าวนาปรัง และข้าวเหนียวขาวเชิงการค้า ตราข้าวทอง จากนั้นจึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและความร้อนกับคุณลักษณะคุณภาพของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป ที่มีขั้นตอนการแช่ข้าวด้วยเวลาแตกต่างกัน (30-120 นาที) รวมถึงขั้นตอนการลดอุณหภูมิเพื่อให้แป้งในเมล็ดข้าวคืนตัวซึ่งจะช่วยให้เมล็ดข้าวนึ่งไม่เกาะตัวกันก่อนนำไปอบแห้ง โดยได้ใช้วิธีการแช่เย็น (24 ชั่วโมง) และแช่แข็ง (1-3 ชั่วโมง) อีกทั้งศึกษาคุณสมบัติที่สำคัญ

ของข้าวเหนียวที่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมได้จริง ด้วยความสำคัญและปัญหาดังกล่าวทำให้คณะทีมวิจัยได้จัดทำโครงการยกระดับกลุ่มผู้ผลิตข้าวสู่มาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์อย่างครบวงจร โดยระดมองค์ความรู้ นวัตกรรม และบุคลากร ร่วมกันพัฒนาข้าวให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนโดยการแปรรูปข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข6 ทั้งข้าวใหม่และข้าวเก่า ที่เป็นผลิตผลข้าวนาปี และข้าวพันธุ์ กข22 ที่ปลูกนอกฤดูกาลหรือข้าวนาปรัง เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวเหนียว และยังคงอัตลักษณ์ของกลุมวิสาหกิจข้าวอีกด้วย ทำให้เกิดประโยชน์ต่อกลุ่มเกษตรกร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากวัตถุดิบข้าวพันธุ์ กข6 ที่เป็นข้าวเก่าและข้าวใหม่ และ กข22 ซึ่งเป็นข้าวนาปรัง

1.2.2 เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่มีขั้นตอนการแช่ข้าวก่อนการนึ่งที่ระเวลาแตกต่างกัน (30-120 นาที) และการลดอุณหภูมิของข้าวเหนียวนึ่งสุกก่อนการอบแห้งด้วบวิธีการแช่เย็น (24 ชั่วโมง) และการแช่แข็ง (1-3 ชั่วโมง)

1.2.3 เพื่อนำองค์ความรู้การแปรรูปข้าวที่แสดงถึงอัตลักษณ์ของชุมชนไปถ่ายทอดแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีข้าวเป็นวัตถุดิบในท้องถิ่น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. การดำเนินการวิจัยเป็นการวิจัยและพัฒนา โดยใช้การวิจัยแบบคุณภาพและปริมาณ ซึ่งตัวปัจจัยที่ทำกาศึกษาในงานวิจัย ได้แก่

1.1 ชนิดของสารเหนียว โดยข้าวเหนียวที่ใช้ในการทำวิจัยเพื่อผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเป็นข้าวที่ปลูกในพื้นที่ จังหวัดนครราชสีมา โดยตัวอย่างข้าวสารที่ใช้ ได้แก่

- พันธุ์ กข 6 ข้าวใหม่ นาปี อายุการเก็บ 3-6 เดือน (KD6NR)
- พันธุ์ กข 6 ข้าวเก่า นาปี อายุการเก็บ 2 ปี (KD6OR)
- พันธุ์ กข 22 ข้าวใหม่ นาปรัง อายุการเก็บ 3-6 เดือน (KD22OD)
- ข้าวขาวเชิงการค้า ตราข้าวทอง (KD6C)

1.2 เวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวก่อนนำไปนึ่ง (30, 60, 90 และ 120 นาที)

1.3 วิธีที่ใช้ในการทำให้ข้าวคืนตัวเพื่อให้เม็ดข้าวนึ่งร่วมไม่เกาะกันเป็นก่อน ได้แก่

- การแช่เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
- การแช่แข็งที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง

2. การผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป ทำโดยการแช่ข้าวสารแต่ละชนิดในน้ำที่อุณหภูมิห้องที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที ทำการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำข้าวเหนียวสุกไปแช่เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือแช่แข็งเป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศา

เซลเซียสในตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 15 ชั่วโมง พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จึงบรรจุในถุงบรรจุแบบสุญญากาศเพื่อเก็บรักษา

3. การเปรียบเทียบสภาวะที่แตกต่างกันที่ใช้ในการผลิตข้าวเหนียวนึ่งจากการใช้ข้าวเหนียวชนิดต่างๆ โดยการทดสอบทางกายภาพและทางเคมี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อค (Randomized Complete Block Design, RCBD) นำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยนโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRT)

4. ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวสารที่แช่น้ำด้วยเวลาแตกต่างกัน ได้แก่ ค่าความชื้น ความขาว ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco-Analyzer ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันและค่าพลังงานด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวัดค่าความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD ค่า Glycemic index ปริมาณอะมิโลส และคุณค่าทางโภชนาการ (Proximate analysis) เป็นต้น

5. ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวนึ่งสำเร็จรูป ได้แก่ ค่าความชื้น ความขาว ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco-Analyzer ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันและค่าพลังงานด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) และการวัดค่าความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD ค่า Glycemic index ปริมาณอะมิโลส และคุณค่าทางโภชนาการ (Proximate analysis) เป็นต้น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. สำรวจความต้องการของของกลุ่มเกษตรกรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา อ. เมือง จ. มหาสารคาม

2. การทบทวนวรรณกรรม จากบทความวิจัย เอกสาร ตำรา บทความวิชาการเกี่ยวกับการผลิตเกี่ยวกับการผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป เช่น คุณสมบัติบัติเฉพาะของข้าวแต่ละสายพันธุ์ ข้าวที่มีอายุการกับแตกต่างกัน การบวนการนึ่งข้าวที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเหนียว กระบวนการให้ความเย็นเพื่อให้ข้าวคืนตัวที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเหนียวนึ่ง กระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวเหนียว สภาวะการเก็บรักษาข้าวนึ่งสำเร็จรูป การทำแห้ง และการเก็นรักษา เป็นต้น

3. ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบข้าวสารชนิดต่างๆ และข้าวสารหลังแช่น้ำที่ (30, 60, 90, 120 นาที) ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวสารที่แช่น้ำด้วยเวลาแตกต่างกัน ได้แก่ ค่าความชื้น ความขาว ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco-Analyzer ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันและค่าพลังงานด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวัดค่าความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD ค่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณอะมิโลส และคุณค่าทางโภชนาการ (Proximate analysis) เป็นต้น

4. ศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำหรับจากวัตถุดิบข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ด้วยสภาวะการผลติที่แตกต่างกัน โดยทำการแช่ข้าวในน้ำสะอาดอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:2 และควบคุมเวลาใน

การแช่ข้าวที่ต่างกัน (30, 60, 90, 120นาที) และทำการนึ่งเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำข้าวเหนียวนึ่งสุกไปทำให้ข้าวคืนด้วยการแช่เย็น 24 ชั่วโมง หรือแช่แข็งเป็นเวลา 1, 2 และ 3 โมง ก่อนนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวนึ่งสำเร็จรูป ได้แก่ ค่าความชื้น ความขาว ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco-Analyzer ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันและค่าพลังงานด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) และการวัดค่าความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD ค่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณอะมิโลส และคุณค่าทางโภชนาการ (Proximate analysis) เป็นต้น

5. ประมวลผลทางสถิติ แปลผล วิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการทำวิจัย
6. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์
7. คืนข้อมูลการวิจัยให้กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย โดยการฝึกอบรมเพื่อถ่ายทอดความรู้ที่ได้จากการวิจัยให้กับกลุ่มเกษตรกรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา อ. เมือง จ. มหาสารคาม
8. เผยแพร่งานวิจัยโดยการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ/นานาชาติ

1.6 สมมติฐานหลักของงานวิจัย

สมมติฐานของงานวิจัยนี้คือ ชนิดของสายพันธุ์ข้าวเหนียว อายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาในการแช่ข้าว และวิธีการลดอุณหภูมิหลังจากการนึ่ง มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

โดยสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายสมมติฐาน ดังนี้:

1. สมมติฐานด้านวัตถุดิบและอายุการเก็บเกี่ยว

ข้าวเหนียวต่างสายพันธุ์จะให้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน: ข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6, กข22, และข้าวขาวเชิงการค้า จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณอะมิโลส, อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน, และความหนืด ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ได้ อายุการเก็บเกี่ยวส่งผลต่อคุณภาพข้าวเหนียว: ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ที่เป็นข้าวเก่า (อายุ 2 ปี) จะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างจากข้าวใหม่ (อายุ 3-6 เดือน) เช่น อาจมีการดูดซึมน้ำที่ดีกว่าและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

2. สมมติฐานด้านกระบวนการผลิต

ระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์: การแช่ข้าวเหนียวด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน (30, 60, 90, และ 120 นาที) จะทำให้ข้าวดูดซึมน้ำได้ไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป โดยวิธีการลดอุณหภูมิหลังการนึ่งมีผลต่อการคืนตัวของแป้ง: การแช่เย็น (24 ชั่วโมง) และการแช่แข็ง (1-3 ชั่วโมง) หลังจากการนึ่ง จะช่วยให้แป้งในเมล็ดข้าวคืนตัว (retrogradation) และทำให้เมล็ดข้าวไม่เกาะตัวกัน ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ความร่วนและเนื้อสัมผัส

3. สมมติฐานด้านความสัมพันธ์ของคุณภาพ

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป: คุณสมบัติเริ่มต้นของวัตถุดิบ (เช่น ปริมาณอะมิโลส, ความหนืดของแป้ง) จะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ได้

จากสมมติฐานเหล่านี้ งานวิจัยจะทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น (ชนิดของข้าว, อายุ, เวลาแช่, และวิธีการลดอุณหภูมิ) มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปอย่างไรบ้าง และสามารถใช้ปัจจัยเหล่านี้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้จริงหรือไม่

1.6 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

1.7 คำสำคัญ

ข้าวนึ่งสำเร็จรูป, ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง, การแช่น้ำ, การแช่แข็ง, อายุการเก็บรักษาข้าว

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เข้าใจความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ: งานวิจัยนี้จะช่วยให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งว่าปัจจัยต่างๆ เช่น สายพันธุ์ข้าวเหนียว (กข6, กข22), อายุการเก็บรักษา (ข้าวใหม่ vs. ข้าวเก่า), เวลาในการแช่ข้าว, และ วิธีการลดอุณหภูมิหลังการนึ่ง (แช่เย็น vs. แช่แข็ง) ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปอย่างไร

1.7.2 สร้างองค์ความรู้ใหม่: ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของข้าวสารและข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป เช่น ค่าความหนืดด้วยเครื่อง RVA, อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน, และค่าความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD จะเป็นข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปอ้างอิงและต่อยอดในงานวิจัยอื่นๆ ในอนาคตได้

1.7.3 พัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์: งานวิจัยนี้จะให้ กระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสำเร็จรูปเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันที่ต้องการความรวดเร็วและสะดวกสบาย

1.7.4 สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร: การแปรรูปข้าวเหนียว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของท้องถิ่น ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีคุณภาพ จะช่วย เพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตข้าว ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นและสามารถสร้างความยั่งยืนให้กับชุมชนได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

“ข้าว” จัดเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า (Gramineae) จัดอยู่ในสกุล(genus) ออไรซ่า (Oryza) สกุลนประกอบด้วยชนิด (species) ต่าง ๆ ถึง 25 ชนิดแต่ชนิดที่เพาะปลูกเป็นอาหารมีเพียง 2 ชนิด คือ ข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และ ข้าวปลูกแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) ซึ่งข้าว ที่คาขายกนในตลาดโลกเกอบทงหมดเปนขาวที่ปลูกจากแถบเอเชย สามารถแบ่งได้ตามแหล่งปลูก อีกคือ ข้าวอินดิกา (Indica) มีลักษณะเมล็ดยาวรี ต้นสูง เป็นข้าวที่ปลูกในเอเชียเขตมรสุม ตงแต จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย อินเดีย และศรีลังกา ขาวพนธุ์นคนพบครงแรกในอนเดย และ ต่อมาได้พัฒนาไปปลูกที่ทวีปอเมริกาข้าวจาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวที่ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี มีลักษณะเมล็ดป้อมกลมรี ต้นเตยข้าวจาวานกา (Javanica) ปลูกในอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ มีเมล็ดป้อมใหญ่ แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะให้ผลผลิตต่ำ (ข้าว, 2547)

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารประจำวันมากกว่าในภูมิภาคอื่นๆ สำหรับประเทศไทยแล้ว ข้าวเป็นพืชอาหารประจำชาติที่มีตำนานประวัติศาสตร์ยาวนาน ปรากฏเป็นร่องรอยพร้อมกับอารยธรรมไทยมาไม่น้อยกว่า 5,500 ปี ซึ่งมีหลักฐานจากเครื่องปั้นดินเผา เถ้าถ่านในดิน และโบราณวัตถุอื่น ๆ (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2552) ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย โดยนอกจาก เป็นอาหารที่มีการบริโภคเป็นหลักของคนไทยและเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรแล้ว ไทยยังเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 1 ของโลก โดยในปี2554 ไทยมีส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 30 ซึ่งนำรายได้เข้าสู่ ประเทศมากกว่าสองแสนล้านบาท (สมาคมโรงสีข้าวไทย, 2555)

สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กล่าวถึง พันธุ์ข้าว ที่ใช้ปลูกในประเทศไทยปัจจุบันสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการเจริญเติบโตของพันธุ์ และแบ่งได้ตามลักษณะของชนิดเนื้อแป้งของเมล็ด ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว เป็นต้น ปัจจุบันการแบ่งตามลักษณะที่เกษตรกรคุ้นเคยเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1) ข้าวนาปี (พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง) เป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกได้เฉพาะในฤดูฝนหรือที่เกษตรกรเรียกว่า ข้าวนาปี ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีการออกดอกตรงตามฤดูกาลเพราะต้องการช่วงแสงจ้าเพาะเพื่อการออกดอก ไม่ว่าจะปลูกข้าวพันธุ์นั้นเมื่อใด ตัวอย่างเช่น พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) จะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคมของทุกปี ซึ่งไม่ว่าจะปลูกข้าวพันธุ์นี้เมื่อใดก็จะออกดอกในช่วงเดือนตุลาคมเท่านั้น

2) ข้าวนาปรัง (พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง) เป็นพันธุ์ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวค่อนข้างแน่นอน เมื่อมีอายุครบถึงระยะเวลาออกดอกข้าวพันธุ์นั้นจะออกดอกได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยช่วงแสงเป็นตัวกำหนด ทำให้ข้าวชนิดนี้สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่เกษตรกรมักจะเรียกว่า ข้าวนาปรัง แม้ว่าจะปลูกได้ทั้งในฤดูนาปี ที่อาศัยน้ำฝน และในช่วงฤดูแล้งที่ต้องอาศัยน้ำชลประทาน พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรใช้ปลูกในขณะนี้มีทั้งข้าว พันธุ์พื้นเมือง ข้าวเจ้า และข้าวเหนียวที่ปลูกเพื่อใช้บริโภคในครัวเรือน และ

พันธุ์ข้าวดีของทางราชการที่ได้รับ การรับรองจากกรมวิชาการเกษตร และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกอยู่ทุกวันนี้

นอกจากนี้ชนิดของข้าวสามารถจำแนกได้ตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

1) ข้าวเหนียว เมล็ดข้าวสารจะมีลักษณะขุ่น มีอะมิโลสเป็นสัดส่วนประกอบทางเคมีประมาณ ร้อยละ 0.2 และมีอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ซึ่งทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกจะนุ่มจับตัวติดเหนียวเป็นก้อนได้และมี ลักษณะใส มีแป้งอะมิโลสอยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

2) ข้าวเจ้า เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวใส มีปริมาณอะมิโลสเป็นสัดส่วนประกอบทางเคมีประมาณ ร้อยละ 20-34 ที่เหลือเป็นอะมิโลเพคติน ซึ่งมีผลให้ข้าวสารที่นำไปหุงเป็นข้าวสุกจะมีสีขาวขุ่น มีลักษณะร่วนไม่ เกาะติดกัน อัตราส่วนของส่วนประกอบทางเคมีทั้งสองชนิดนี้ จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณสมบัติ การหุงต้มที่ต่างกัน คือ ข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าว อะไมโลสต่ำส่งผลให้ข้าวสุกมีลักษณะร่วน ส่วนข้าวที่มีอะไมโลสต่ำจะดูดน้ำ และขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวที่มี อะไมโลสสูง ข้าวจะเหนียวและนุ่มกว่า

2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าว ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือผล เรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) และส่วนเนื้อผล หรือผลแท้ (true fruit หรือ caryopsis grain) หรือข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) ประกบ กันโดยแกลบจะถูกกำจัดออกระหว่างการสีข้าว (ชาญ มงคล, 2536) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วยขน หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (pedicel) สวนเนอ ผล หรือข้าวกล้อง (รูปที่ 2.1) มีส่วนประกอบเรียงลำดับจากชั้นนอกถึงชั้นใน ดังนี้ คือเยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) นิวเซลลัส (nucellus) เยื่อหุ้มชั้นใน (aleurone layer) เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) หรือส่วนของข้าวสาร ในส่วนนี้ประกอบด้วย เยื่อชั้นในสุด (subaleurone) และส่วนของเนื้อสตาร์ช (starchy endosperm) ซึ่งมีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของเมล็ดทั้งหมด) ซึ่งประกอบด้วยเม็ดสตาร์ชมีลักษณะห้าเหลี่ยมขนาดประมาณ 2 – 10 ไมครอน จับเป็นกลุ่มแน่นส่วนโปรตีนมีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาด 1 – 4 ไมครอน แทรกอยู่กับเม็ดสตาร์ชที่กระจาย ตัวอย่างอิสระโดยมีเม็ดไขมันอยู่ใกล้ ๆ แต่มีในปริมาณน้อยกว่าโปรตีน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.2.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ดหรือแกลบ (hull)

อรอนงค์, (2556) ทำหน้าที่หุ้มเมล็ดเอาไว้ภายใน มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าว มีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ประมาณร้อยละ 68 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 19.2-24.5 แพนโทแซน (pantosans) ประมาณร้อยละ 15 และเถ้า (ash) ร้อยละ 13.2-29.0 (ประกอบด้วย ซิลิกา (silica) ประมาณร้อยละ 86.9-97.3

2.2.2 เปลือกหุ้มผล (pericarp)

เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มรอบเมล็ด มีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีผนังเซลล์บาอยู่ชั้นนอกสุด มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงสร้าง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส โปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุต่างๆ

2.2.3 เมล็ดภายในเมล็ดประกอบด้วย

2.2.3.1 เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือseed coat) เป็นผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อุดมไปด้วยไขมัน จึงทำให้มีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่เนื้อเมล็ด

2.2.3.2 ชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer หรือ nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดลักษณะโปร่งใส ประกอบด้วยสารให้สี เช่นเดียวกบในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

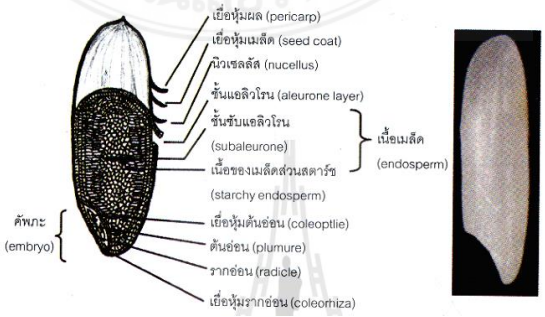
2.2.3.3 ชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) มีลักษณะเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ และมีนิวเคลียสอยูตรงกลาง ประกอบด้วยโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยในข้าวประกอบด้วยเซลล์ชั้นที่ 1 ถึง 7 ชั้น

2.2.4 คัพภะ (germ หรือ embryo)

เป็นส่วนที่เรียกว่าจมูกข้าวเป็นตำแหน่งรวมของส่วนที่จะงอกเป็นต้นข้าวต้นใหม่ คัพภะเป็นส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (plumule) และส่วนที่จะงอกเป็นรากกำเนิด (radicle) ทั้งสองส่วนนี้ยึดติดกันด้วยปล้องที่สั้นมากเรียกว่า มีโซคอททิล (mesocotyl) ยอดอ่อนจะห่อหุ้มลักษณะที่คล้ายใบเรียกว่า เยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) ส่วนของคัพภะทั้งหมดอยู่ในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด และคัพภะอยู่ติดกับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านท้องของเมล็ด (ventral side) ในส่วนนี้จะอุดมไปด้วยสารอาหารแร่ธาตุ และวิตามิน เพื่อการเจริญเติบโตสารอาหารที่มีมากคือ โปรตีนอยู่ในรูป (protein bodies) ไขมันอยู่ในรูป (lipid bodies) วิตามินที่มากคือ วิตามินบี (thiamine) วิตามินอี (tocopheral)

2.2.5 เนื้อเมล็ด (endosperm)

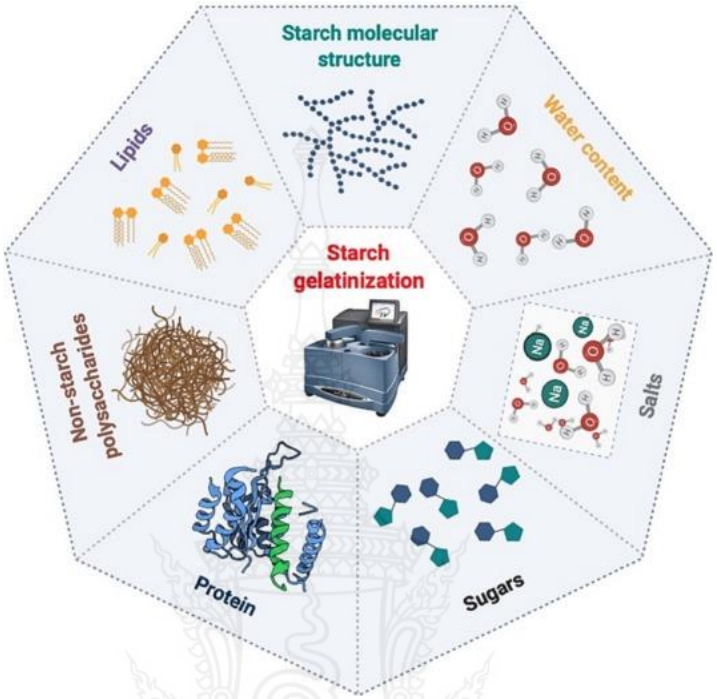
มีประมาณร้อยละ 68-70 ของเมล็ดข้าวภายในเซลล์ ประกอบด้วยสตาร์ช (starch) และโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสตาร์ชของข้าวมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยมลักษณะเม็ดส่วนใหญ่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่มโปรตีนที่พบในเนื้อเมล็ดอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ชโดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม ซึ่งพบอยู่ในชั้นติดกับชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (**ที่มา :** อรอนงค์, 2556)

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

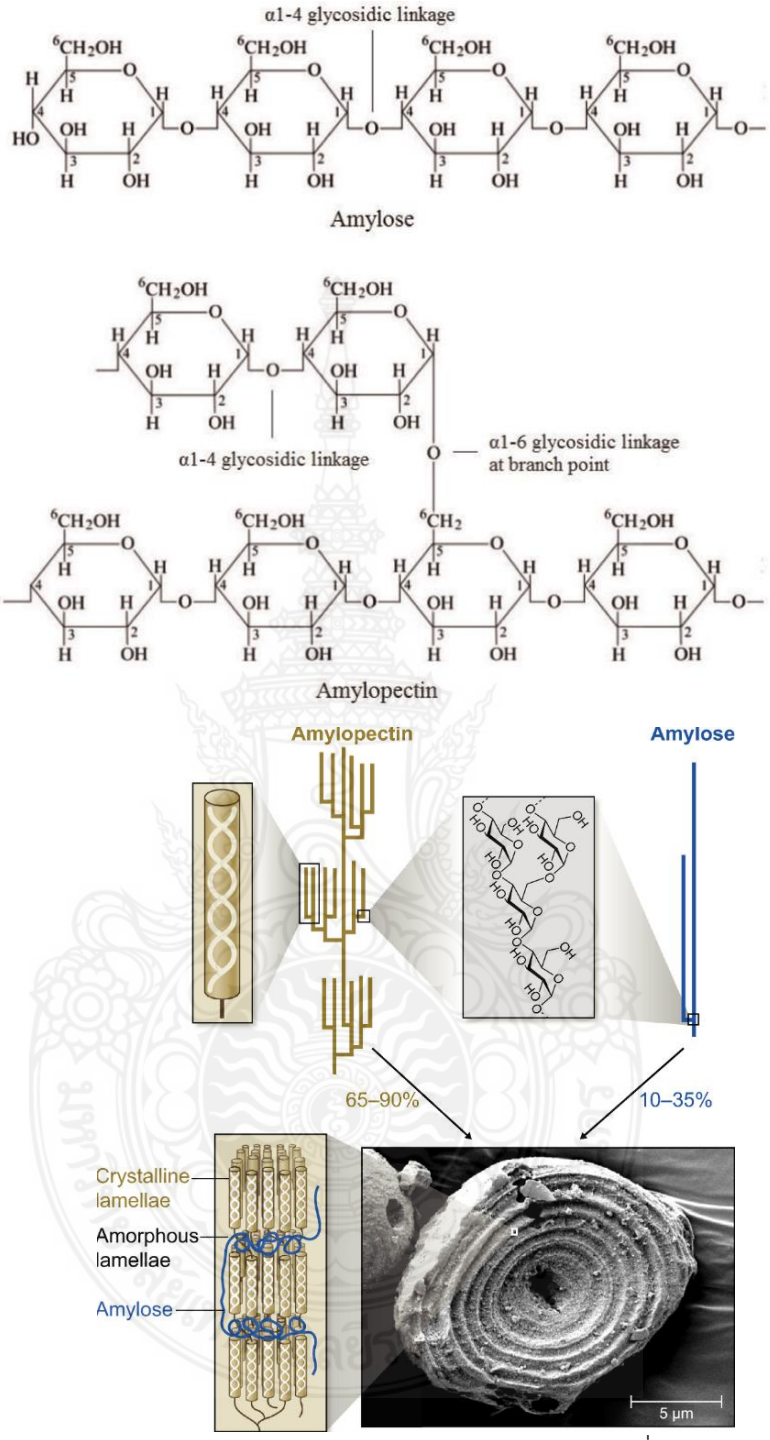
องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และ น้ำ หรือความชื้น



รูปที่ 2.2 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสมบัติการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง รวมถึงโครงสร้างระดับโมเลกุลของแป้ง ปริมาณน้ำ การมีอยู่ของเกลือ น้ำตาล โปรตีน ไขมัน และโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (ที่มา : Li et al., 2022)

2.3.1 สตาร์ช

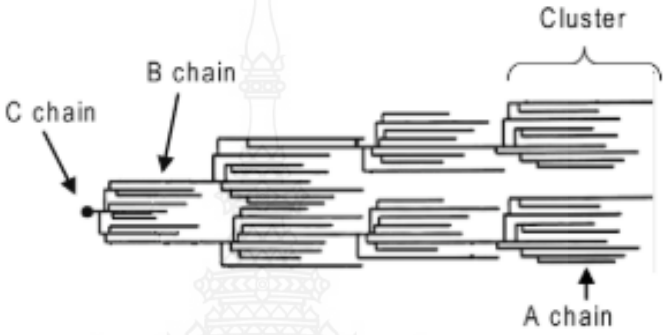
สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลแซกคาไรดทพบมากที่สุดในเนื้อเมล็ดของข้าว เม็ดสตาร์ชมีรูปร่างลักษณะเป็นหลายเหลี่ยมและมีขนาดเล็กประมาณ 29 ไมครอนรวมตัวกันอยู่ภายในอะไมโลพลาส (amyloplast) จำนวน 20-60 เม็ดสตาร์ชเป็นกลุ่มก้อน กลมหรือยาวรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลมเม็ดสตาร์ชในอะไมโลพลาสนี้ประมาณ 739 ไมครอน โครงสร้างทางเคมีของสตาร์ชจะประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวที่มี ขนาดใหญ่โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยสารประกอบทางเคมี 2 ชนิด คือ อะมิโลส และอะไมโลเพคติน โดยอะมิโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยต่อกันเป็น สายโซ่ยาวแบบขดเป็นเกลียวแบบฮิลิกซ์ (helix) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic bond และส่วนน้อยเป็น α-1,6-glucosidic bond ในขณะที่อะไมโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสโดยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic bond ในขณะที่ส่วนที่เป็น กิ่งก้านสาขาซึ่งเป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic bond ดังแสดง ในรูปที่ 2.3



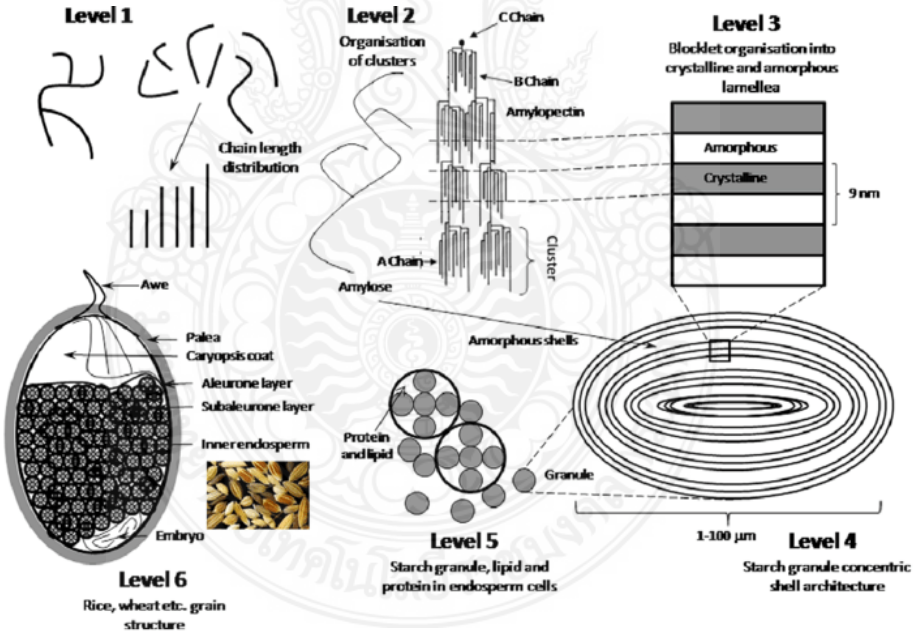
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ (a) อะมิโลส (b) อะไมโลเพคติน (ที่มา : Seung, 2020)

Anthony et al. (2010) แสดงแบบจำลองลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพคตินดังรูปที่ 2.4 โครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพคตินจะประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ สาย A (A chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียวไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure) สาย B (B chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่าสาย C (C chain) ซึ่งเป็นสายแกน

ที่ประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพคตินแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสาย C หนึ่งสาย เท่านั้นเม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะมิโลสและอะไมโลเพคตินจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) และส่วนอสัณฐาน (amorphous) ดังรูปที่ 2.5 ส่วนสายโซ่สั้นของอะไมโลเพคตินจัดเรียงตัวใน ลักษณะเกลียวม้วนคู่ (double helices) ซึ่งบางส่วนเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึกส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและสายโซ่ยาวของอะไมโลเพคติน (Anthony et al., 2010)



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วยสายA B และ C (**ที่มา :** Anthony et al., 2010)



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline structure) ของเม็ดแป้ง (**ที่มา :** Anthony et al., 2010)

เมล็ดข้าวมีคุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณอะมิโลส โดยข้าวเหนียวจะมีปริมาณอะมิโลสต่ำที่สุด อยู่ระหว่าง 0 – 2% ส่วนในพวกข้าวเจ้ายังแบ่งออกได้อีกเป็น ข้าวอะมิโลสต่ำ กลาง และสูง ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสอยู่ระหว่าง 7–20%, 20–25% และมากกว่า 25% ตามลำดับ โดยปกติเม็ดสตาร์ชจะไม่ละลายในน้ำเย็น แต่เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนผสมน้ำกับเม็ดสตาร์ชนั้น เม็ด

สตาร์ชจะดูดซึมน้ำเข้าไป พองตัวมากขึ้นจนในที่สุดจะแตกออก ทำให้เกิดความ หนืดข้น เรียกว่า เจลลาติไนเซชัน ลักษณะที่สำคัญนี้มีผลต่อการนำไปแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ซึ่งปริมาณอะมิโลสมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวสุก ความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งข้าว ความเหนียว การขยายปริมาตร ความแข็ง ความขาว และความเลื่อมมันของเมล็ดข้าวสุก (Juliano, 1971) เป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น และทำ ให้ข้าวนุ่มน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอะมิโลส (Retrogradation) (Anthony et al., 2010)

2.3.2 โปรตีน

โปรตีนในข้าวแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามสมบัติทางการละลาย คือ

อัลบูมิน (albumin) มีปริมาณ 3.8-8.8% ของโปรตีนทั้งหมดเป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำ หรือละลายในน้ำที่มีกรดอยู่เพียงเล็กน้อยและตกตะกอนทันทีเมื่อได้รับความร้อน โปรตีนนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์

โกลบูลิน (globulin) มีปริมาณ 9.6-10.8% ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในน้ำเกลือ

โปรลามิน (prolamin) มีปริมาณ 2.6-3.3% ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในเอทานอลเข้มข้น 70-80%

กลูตีลิน (glutelin) มีปริมาณ 66-78% ละลายในน้ำซึ่งมีกรดหรอด่างเล็กน้อย โปรตีนชนิดนี้เป็นโปรตีนหลักที่พบบ่อยเป็นจำนวนมากในข้าวและสามารถแยกออกมาได้โดยการใช้สารละลายด่างดังนั้นในกระบวนการผลิตแป้งสตาร์ชข้าวทั่วไปจึงใช้การล้างแป้งฟลาวร์ข้าวด้วยสารละลายด่างโปรตีนในข้าวมีกลูตีลินเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโอรีซินิน (Oryzenin) (Matsuo, Futsuhara, Kikuchi and Yamaguchi, 1997)

2.3.3 ไขมัน

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณ 1-3% โดยพบมากที่สุดในส่วนของ คัพภะ รองลงมาคือส่วนเปลือก และมีในส่วนเนื้อเมล็ดน้อยที่สุด ทำให้ในข้าวกล้องมีไขมันมากกว่า ข้าวสาร คือ มีไขมันอยู่ถึง 1.5-2.5% ส่วนในข้าวสารมีเพียง 0.5-1.2 % ไขมันเหล่านี้อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์ของกรดไขมันเป็นส่วนใหญ่ โดยกรดไขมันที่พบจะพบทั้งประเภทอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว และอาจอยู่ในรูปของฟอสโฟลิปิด (phospholipids) เช่น เลซิติน (lecithin) ไกลโคไลปิด 9 (glycolipids) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เกิดเป็นสารกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ซึ่งสามารถก่อให้เกิดสารที่ให้กลิ่นเหม็นหืนได้เช่นเดียวกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันก็ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้เช่นกัน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.4 ข้าวเหนียวพันธุ์ธัญสิริน

ข้าวเหนียวพันธุ์ธัญสิรินเป็นข้าวที่ได้รับพระราชทานนามจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยาม บรมราชกุมารี เมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2553 เป็นข้าว กข 6 ที่ได้ปรับปรุงสายพันธุ์โดย ดร.ธีรยุทธ

ตู้จินดา จากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมการข้าว ให้มีความต้านทานโรคไหม้ เหมาะที่จะปลูกในพื นที่นา น ้าฝนในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ แตกกอดี ล้าต้นแข็งแรง ไม่หักล้มง่าย สามารถต้านทาน โรคขอบใบแห้งเพิ่มขึ น คุณภาพการหุงต้มอยู่ในระดับดี ข้าวมีความอ่อนเหนียวนุ่ม ข้าวสุกเมื่อเย็นยังคงความ นิ่ม และเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค (กองส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร, 2552)

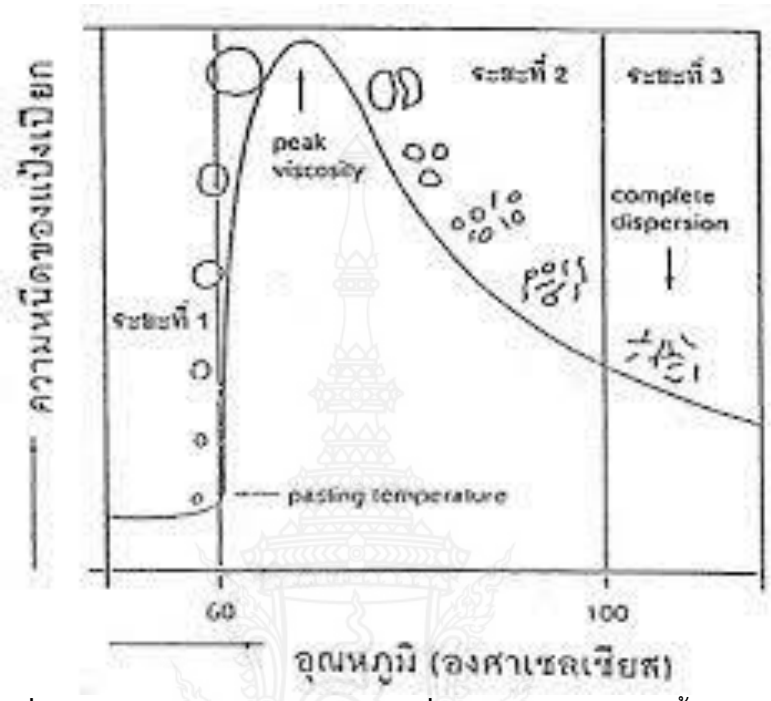
ลักษณะประจ้าพันธุ์ข้าวธัญสิริน คือ ต้านทานโรคไหม้ ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้เฉพาะนาปี ความสูง ประมาณ 155 เซนติเมตร ใบยาวเขียวเข้ม ล้าต้นแข็งแรงกว่าพันธุ์ กข 6 จ้านวนรวงต่อกอ ประมาณ 10 รวง อายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ช่วงปลูกที่เหมาะสมเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม ผลผลิต ประมาณ 600 กิโลกรัม ต่ อไร่ ข้าวเปลือกสีน้ำตาลคล้ายพันธุ์ กข 6 ขนาดเมล็ดเท่ากับ 2.2 ×6.9×1.7 มิลลิ เมตร (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560)

2.5 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

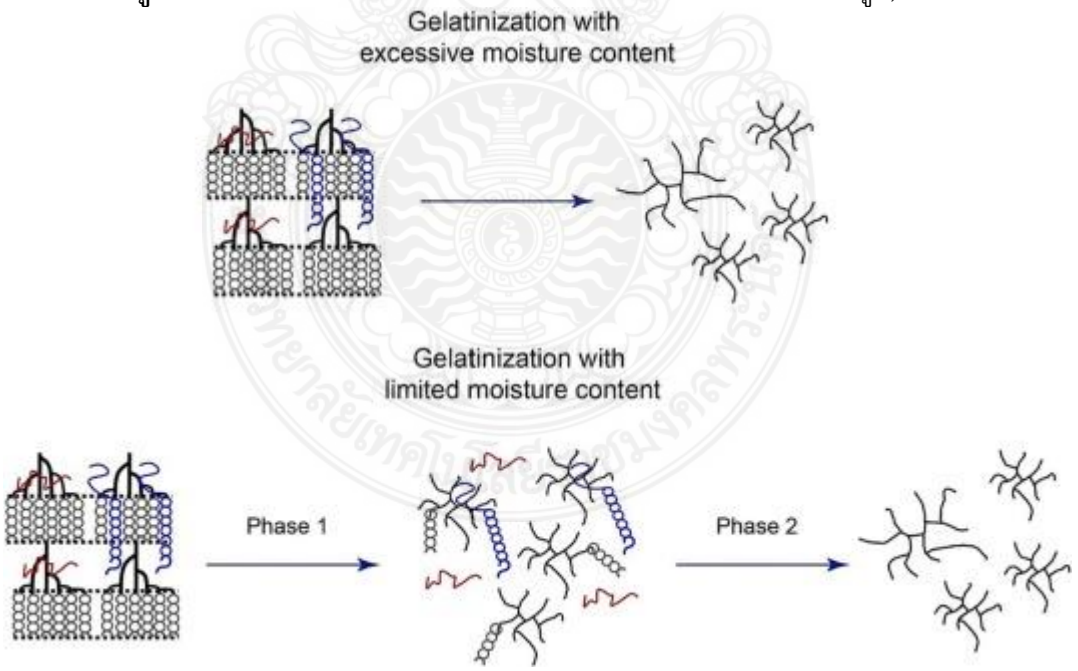
โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห miceles การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก เมื่อเทน้ำเย็นลงในแป้ง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้งพันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืด มากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด หรือการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ เช่น สัดส่วนของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ปริมาณไขมัน รวมทั้งการจัดเรียงตัวโมเลกุลในเม็ดแป้ง และเนื่องจากการจัดเรียงตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินใน เม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอกันเม็ดแป้งมีขนาดต่างกันรวมกันอยู่ จึงทำให้การเกิดเจลาติไนเซชันเกิดขึ้นที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันไป

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ ระยะแรก เม็ดแป้ง จะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด การเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างแบบ birefringenceได้เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมา ณ 65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าการ เกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมาเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งมีลักษณะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิด

เจลาติไนเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำ ปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระยะการเกิดเจลาติไนเซชัน (**ที่มา :** กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2542)



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งในชั้นลามิลลากิ่งผลึกเมื่อแป้งเกิดเจลาติไนซ์ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นจำกัด เส้นโค้งสีแดงแสดงสายโซ่สั้นของอะไมโลส; สายเกลียวคู่สีน้ำเงินเกิดจากการรวมตัวระหว่างอะไมโลเพคตินกับสายโซ่ปานกลางของอะไมโลส; สายเกลียวคู่สีดำพัฒนามาจากการรวมตัวกันของโมเลกุลอะไมโลเพคติน (ที่มา: Li et al., 2022)

2.6 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

การคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) คือกระบวนการตกผลึกใหม่ที่โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่แยกตัวออกจากกันในแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้วเกิดการรวมตัวกันใหม่เป็นโครงสร้างที่มีระเบียบอีกครั้งโดยกระบวนการย้อนคืนตัวของแป้งประกอบด้วย 2 ระยะหลัก ได้แก่:

ระยะที่หนึ่ง (short-term retrogradation) เป็นการย้อนคืนตัวในระยะสั้น ซึ่งเกิดจากการสร้างโครงข่ายระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสเมื่อแป้งเย็นลง ส่งผลให้เกิดเจลที่ยืดหยุ่นและสดใหม่ ความย้อนคืนตัวของอะไมโลสมีบทบาทในการกำหนดความแข็งเริ่มต้นของเจลแป้ง รวมถึงความเหนียวและการย่อยของอาหารที่ผ่านการแปรรูป

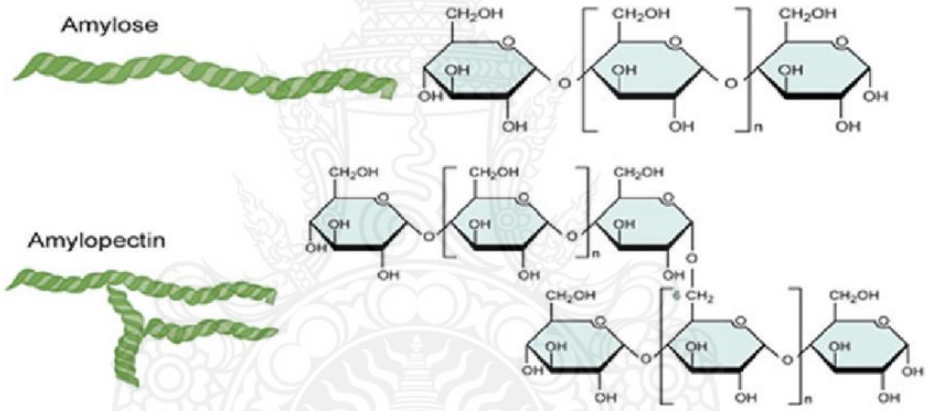
ระยะที่สอง (long-term retrogradation) เป็นการย้อนคืนตัวในระยะยาว โดยเกี่ยวข้องกับการตกผลึกใหม่ของกิ่งด้านนอกของอะไมโลเพคติน พฤติกรรมการย้อนคืนตัวระยะยาวมีผลต่อการพัฒนาโครงสร้างเจลและความเป็นผลึกของแป้งแปรรูปในระยะยาว

การควบคุมพฤติกรรมการย้อนคืนตัวและคุณสมบัติเจลของแป้งจึงเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแป้ง โดยตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ. 1950 ได้มีการใช้คอมเพล็กซ์ของแป้งและโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในอาหารแปรรูปเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแป้งดั้งเดิม เช่น ป้องกันแป้งไม่ให้ถูกทำลายจากแรงเฉือน ปรับปรุงเนื้อสัมผัส/รีโอโลยีของผลิตภัณฑ์ และช่วยเก็บรักษาความชื้น มีการศึกษาผลของโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งหลากหลายชนิด ซึ่งมีลักษณะโมเลกุลและปริมาณการเติมที่แตกต่างกันต่อเจลที่มีส่วนผสมของแป้ง เช่น ไซแธนกัม กัวร์กัม เจลแลน และคาราจีแนน โดยพบว่ามีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ Zhao และคณะ (2021) รายงานว่าโพลีแซ็กคาไรด์จากถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้ (Soluble Soybean Polysaccharide: SSPS) มีผลต่อการต้านการย้อนคืนตัวที่แตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด ในขณะเดียวกันคุณสมบัติเจลของแป้ง เช่น ความหนืดหยืดหยุ่น (viscoelastic properties) และคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสก็ได้รับการศึกษาในเจลผสมระหว่างแป้งและไฮโดรคอลลอยด์เช่นกัน Luo และคณะ (2020) พบว่าโมดูลัสการเก็บและความแข็งของเจลผสมระหว่างโพลีแซ็กคาไรด์จากต้นเหมยซาน (Mesona chinensis polysaccharide: MCP) กับแป้งเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ MCP ขณะที่ Qiu และคณะ (2016) พบว่าอาราบิโนไซลานในปริมาณที่แตกต่างกันมีผลเพียงเล็กน้อยต่ออุณหภูมิการเจลาติไนซ์ของระบบผสมระหว่างแป้งกับอาราบิโนไซลาน \[15] Hou และคณะ (2020) แสดงให้เห็นว่าระดับการย้อนคืนตัวระยะยาวของเจลผสมแป้ง–อาราบิโนไซลานลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอาราบิโนไซลาน เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาราบิโนไซลานกับอะไมโลเพคติน Gudmundsson และคณะ (1991) รายงานว่าอาราบิโนไซลานสามารถชะลอการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง และเพิ่มระดับการย้อนคืนตัวได้โดยการลดความสามารถในการเข้าถึงน้ำของแป้ง เจลแป้งผสมอาราบิโนไซลานที่ผ่านการย้อนคืนตัวนาน 7 วันแสดงคุณสมบัติความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเจลแป้งล้วน งานวิจัยข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้น แหล่งที่มา และลักษณะโมเลกุลที่แตกต่างกันของสารเติมแต่ง มีผลต่อพฤติกรรมการเจลาติไนซ์ พฤติกรรมการย้อนคืนตัว และคุณสมบัติเจลของแป้งแตกต่างกันไป

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าว

2.7.1 อะไมโลเพคติน

เมล็ดข้าวมีแป้งเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน (i^xmuj 2.8) โดยอะไมโลสจะเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวหุงสุกแล้วมีลักษณะร่วน แข็ง และเป็นรูปเมล็ด ส่วนอะไมโลเพกตินจะเป็นส่วนที่ส่งผลให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะเหนียว ซึ่งอัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลสเพกตินจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์ใดที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีแนวโน้มเมื่อหุงสุกแล้ว ข้าวจะขึ้นหม้อ ส่วนข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เมื่อหุงสุกแล้วจะลักษณะเหนียวนุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากอะไมโลสเมื่อต้มให้สุกแล้วตั้งทิ้งไว้จะมีคุณสมบัติคืนตัว (Retrogradation) คือเปลี่ยนแปลงจากสรูปที่ละลายน้ำได้เป็นผลึกหรือของแข็ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ข้าวที่มีอะไมโลสสูง เมื่อหุงต้มสุกแล้วจึงร่วน และแข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ และการที่ข้าวไม่เหนียวติดกันจึงทำให้เกิดช่องอากาศมากขึ้น ทำให้การขยายปริมาตรของข้าวสุกเกิดขึ้นได้ดีกว่า (สุภาภรณ์, 2545)



รูปที่ 2.8 โครงสร้องของอะไมโลเพกตินและอะไมโลส
(ที่มา : Sanyang et al., 2017)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลเพกติน

ประเภทข้าว	ปริมาณอะมิโลส(%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
ข้าวอะมิโลสต่ำ	10-19	เหนียวนุ่ม
ข้าวอะมิโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
ข้าวอะมิโลสสูง	26-35	ร่วน แข็ง

ที่มา : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (ม.ป.ป.)

2.7.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

แม้ว่าปริมาณอะไมโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้ม และการบริโภคแตกต่างกัน แต่ปริมาณอะไมโลสไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่มีผลต่อคุณภาพในการหุงต้ม และการบริโภคข้าว โดยในข้าวบางพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน แต่คุณภาพในการหุงต้ม และการบริโภคแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากแป้งสุกมีความคงตัวไม่เท่ากัน โดยพบว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกต่ำเมื่อหุงสุกแล้วจะมีลักษณะนิ่มและนุ่มกว่า (สุภาภรณ์, 2545)

2.7.3 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)

อุณหภูมิแป้งสุกคืออุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งเริ่มพองตัวในน้ำ ความร้อนจะทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลในบริเวณผลึกการดูดน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เม็ดแป้งขยายตัวเต็มที่แป้งจะกลายเป็นเจล และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม ซึ่งข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยระดับอุณหภูมิแป้งสุกนี้สามารถจำแนกประเภทของข้าวได้ 3 ประเภท ดังนี้ (สุภาภรณ์, 2545)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก

ประเภทอุณหภูมิแปงสุก	อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียส)
แป้งสุกแข็ง	26-40
แป้งสุกปานกลาง	41-60
แป้งสุกอ่อน	61-100

ที่มา : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (ม.ป.ป.)

2.8 การผลิตข้าวสำเร็จรูป (Instant rice)

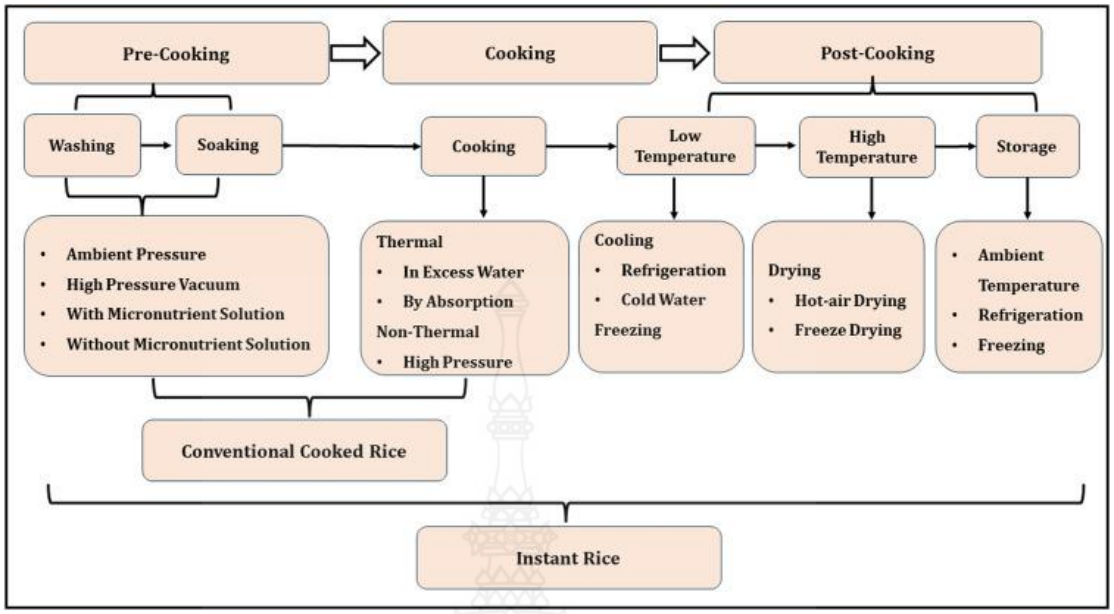
เนื่องจากจำนวนประชากรวัยทำงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและรูปแบบการใช้ชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป จึงมีตลาดสำหรับอาหารปรุงด่วนและอาหารสะดวกซื้อเกิดขึ้นอย่างมากมายทั่วโลก ข้าวสำเร็จรูปเป็นหนึ่งในอาหารที่รับประทานได้สะดวก และกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากใช้เวลาปรุงไม่นาน ข้าวสำเร็จรูปคือข้าวปรุงสุกที่ผลิตโดยการแช่เมล็ดข้าวลดลงโดยการปรุงอาหารเพื่อลดระยะเวลาในการปรุงอาหารและทำให้แห้งให้มีความชื้นต่ำ (Ritudomphol & Luangsakul, 2019) ข้าวสำเร็จรูปสามารถหุงและเสิร์ฟได้อย่างรวดเร็วภายใน 2 ถึง 15 นาที (Herawat et al., 2014) จากการศึกษาของ Roberts et al. (1952a) คาดว่าข้าวสำเร็จรูปจะสุกและพร้อมเสิร์ฟภายใน 5 ถึง 15 นาที ลักษณะของข้าวสำเร็จรูปปรุงสุก เช่น รส รสชาติ และเนื้อสัมผัสควรมีลักษณะคล้ายกับข้าวธรรมชาติ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมข้าวสำเร็จรูป เช่น การแช่ หุง และตากแห้ง มีผลอย่างน่าทึ่งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวปรุงสุก การอบแห้ง

เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากซึ่งอาจเป็นการอบแห้งขั้นตอนเดียวเป็นเวลานานขึ้นที่อุณหภูมิต่ำหรือหลายขั้นตอนที่อุณหภูมิสูงกว่าในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อลดความเป็นไปได้ที่เคสจะแข็งตัว (Mridula et al., 2017)

โดยทั่วไป ข้าวปรุงเองจะใช้เวลาปรุงเกิน 15 นาที ในขณะที่ข้าวสำเร็จรูปควรปรุงภายใน 5 นาที (Boluda-Aguilar et al., 2013; Yu et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ข้าวสำเร็จรูปไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับเวลาเป็นตัวแปรเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับรสชาติ สี เนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคด้วย อัตราส่วนน้ำต่อข้าว คุณภาพทางประสาทสัมผัส เวลาในการแช่ เทคนิคการแปรรูป รูปร่าง และปริมาตรของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ความหลากหลายของข้าวที่พิจารณา และเวลาหุงมีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อน (Sabularse et al., 1991; Rizk & Doss, 1995; Champagne et al., 1998; Leelayuthsoontorn & Thipayarat, 2006; Mohapatra & Bal, 2006; Kwak et al., 2015). ปัญหาสำคัญที่เกี่ยวข้องกับข้าวสำเร็จรูปคือใช้เวลาคืนน้ำนานและด้อยคุณภาพในแง่ของสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปรุงตามปกติ (Boluda-Aguilar et al., 2013) อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะเหล่านี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมและพารามิเตอร์ที่พิจารณาระหว่างการเตรียมเป็นอย่างมาก (Leelayuthsoontorn & Thipayarat, 2006; Rewthong et al., 2011; Boluda-Aguilar et al., 2013; de Souza Batista et al., 2019) เนื้อสัมผัสของข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพคตินและอันตรกิริยาของชีวโมเลกุลต่างๆ กับแป้ง (Prasert & Suwannaporn, 2009) มีการใช้วิธีการใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อนหลายวิธีเพื่อพัฒนาข้าวสำเร็จรูป (Prasert & Suwannaporn, 2009; Boluda-Aguilar et al., 2013; Mridula et al., 2017) ผลิตภัณฑ์ปรุงด่วน พร้อมปรุง หรือพร้อมรับประทานได้แสดงผลลัพธ์ที่น่าพอใจด้วยระบบการประมวลผลแบบใช้ความร้อนในแง่ของสีและเนื้อสัมผัส (Boluda-Aguilar et al., 2013) อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางว่ากระบวนการทางความร้อนมีผลอย่างน่าทึ่งต่อคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหารใดๆ

2.8.1 วิธีการเตรียมข้าวสำเร็จรูป

การพัฒนาของเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วและการเปลี่ยนแปลงความต้องการของผู้บริโภคต่อข้าวเมล็ดยาว แห้งบางส่วน ฟู นุ่ม พร้อมปรุงพร้อมเมล็ดข้าวแตกขนาดเล็กและรสชาติปรุงตามธรรมชาติ (Smith et al., 1985 ไม่มีศูนย์ที่หยาบและดิบ (Das et al., 2006) ได้เพิ่มความต้องการข้าวสำเร็จรูปในตลาดโลกในช่วง 3 ทศวรรษที่ผ่านมา (Mohapatra & Bal, 2006) วิธีการเตรียมหลายประเภทรวมถึงการเตรียมก่อนปรุง เช่น การล้างและการแช่ และการบำบัดหลังการปรุง เช่น การแช่แข็งและการอบแห้ง ได้ถูกนำมาใช้กับข้าวสำเร็จรูปในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา (ตารางที่ 2.3) การแสดงอย่างเป็นระบบโดยเน้นแต่ละขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมข้าวสำเร็จรูปจะแสดงอยู่ในนั้นรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เทคโนโลยีก่อนหุง หุง และหลังหุง พร้อมการจำแนกประเภทที่แตกต่างกันเพื่อผลิตข้าวสุกและข้าวสำเร็จรูปธรรมดา (ดัดแปลงจาก Yu et a., 2017)

2.8.2 วิธีการเตรียมข้าวก่อนการนึ่ง (Pre-cooking method)

การซาวข้าวก่อนหุงเป็นขั้นตอนปกติที่ต้องทำทั้งในครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม โดยพื้นฐานแล้วขั้นตอการล้างข้าวใช้เพื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ พบว่าการซาวข้าวมีผลกระทบอย่างมากต่อการเตรียมข้าวสำเร็จรูป จำนวนครั้งสำหรับการล้างข้าวขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสายพันธุ์ข้าว (Champagne et al., 2010; Yu et al., 2017) ข้าวพันธุ์ส่วนใหญ่จากอินเดีย ปากีสถาน และอิหร่าน จะถูกล้างซ้ำๆ 3 ถึง 5 ครั้ง ในขณะที่สายพันธุ์เอเชียอื่นๆ จะถูกล้าง 2 ถึง 3 สามครั้งก่อนการหุง (Raab et al., 2009; Champagne et al., 2010; Naito et al., 2015) การซาวข้าวจะช่วยลดปริมาณสารหนูลง 13-84 % (Raab et al., 2009; Naito et al., 2015) ในการศึกษาอื่น มีรายงานว่าการล้างครั้งเดียวมีความสัมพันธ์กับสีและรสชาติหลังการหุงข้าวที่อาจสูญเสียไปกว่าข้าวที่ล้างสามครั้ง (Fukai & Tukada, 2006; Yu et al., 2017) นอกจากนี้ยังพบว่าการล้างนำไปสู่การกำจัดกรดไขมันอิสระมากกว่า 65 % ออกจากพื้นผิว จึงช่วยลดกลิ่นหืน (Monsoor & Proctor, 2002)

การแช่ข้าวเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในขั้นตอนการหุงข้าว ซึ่งอุณหภูมิและเวลาในการแช่แสดงให้เห็นผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของข้าวสุกปกติและข้าวสำเร็จรูป (Suzuki et al., 1976; Bello et al., 2004; Yamakura et al., 2005; Das et al., 2006; Horigane et al., 2006; Muramatsu et al., 2006; Bello et al., 2007; Chakkaravarthi et al., 2008; Champagne 2008; Bello et al., 2008; Champagne et al., 2010; Boluda-Aguilar et al., 2013; Tian et al., 2014) การแช่เพื่อเตรียมข้าวสำเร็จรูปไม่เพียงช่วยลดเวลาในการหุงเท่านั้น แต่ยังช่วยลดความต้องการพลังงานในการปรุงอาหารอีกด้วย (Das et al., 2006; Bello et al., 2008) เวลาในการแช่สามารถลดลงได้อย่างมากโดยการเพิ่มอุณหภูมิในการแช่ข้าว (Yu et al., 2017) การใช้เทคโนโลยีแรงดันสูงหรือสุญญากาศ (Tian et al., 2014), และการเติมสารเคมี เช่น NaOH และ Na_2CO_3 ใน

สารละลายสำหรับการแช่ (Bello et al., 2008) การศึกษาเดียวกันยังรายงานด้วยว่าอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่ต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลาติไนเซชัน มีผลกระทบอย่างมากต่อผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย อุณหภูมิการแช่ที่สูงขึ้นสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของน้ำที่สม่ำเสมอและรวดเร็ว (Yamakura et al., 2005; Horigane et al., 2006; Prasert & Suwannaporn, 2009) ระดับเจลาติไนเซชันของแป้งที่สูงขึ้นในระหว่างกระบวนการปรุงอาหาร (Bello et al., 2007; Genkawa et al., 2011) อัตราการเกิดรอยแตกหลังการทำแห้ง (Dong et al., 2010) และการชะล้างไขมัน โปรตีน และน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (Chiang & Yeh, 2002; Lamberts et al., 2006; Patindol et al., 2010)

ตารางที่ 2.3 ข้าวสำเร็จรูปที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆร้าวหลังการอบแห้งลดลง

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ/พันธุ์ข้าว	วิธีการ	กระบวนการ	เอกสารอ้างอิง
ข้าวสำเร็จรูปดัชนีน้ำตาลต่ำ	ข้าวหัก (พันธุ์สวรรณา, ข้าวฟ็อกซ์เทลมิลเล็ท, ข้าวบาร์นยาร์ดมิลเล็ท, คีนัว (quinoa)	การอัดขึ้นรูปด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์	ความชื้นของวัตถุดิบ: 34 % (wb) ความเร็วสกรู : 30 rpm อุณหภูมิของบาร์เรล : 110 ℃	Yadav et al. (2021)
ข้าวสำเร็จรูปดัชนีน้ำตาลต่ำ	ข้าว 3 สายพันธุ์ (หอมมะลิ (KDML105), ข้าวหอมปทุมธานี (PT), ซาวไฮ (SH))	การต้ม (Boiling)	อุณหภูมิการปรุง (Cooking Temperature): 82 ℃ อัตราส่วนน้ำต่อข้าว : 1:9	Ritudomphol & Luangsakul (2019)
ข้าวสำเร็จรูปจากข้าวฮางเสริมธาตุเหล็กและโฟลิกแอซิด	เหล็ก , โฟลิกแอซิด (Folic acid), ข้าวสีน้ำตาลน์ช็อกกูวา	การทำข้าวฮาง (Parboiling)	อุณหภูมิแช่ : 60 ℃ เวลาแช่ : 90 นาที อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ : 1:2 (w/v) ความดันนึ่ง : 1.05 kg/cm² เวลาอบไอน้ำ : 10 นาที อุณหภูมิอบแห้ง : 40 ℃	Wahengbam & Hazarika (2019)
ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป	ข้าวกล้อง (พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105)	การทำข้าวฮาง (Parboiling)	อุณหภูมิแช่ : 80 ℃ เวลาแช่ : 10 นาที อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ : 1:1.5 (w/v) อุณหภูมิอบแห้ง : 40 ℃ ความชื้นสุดท้าย : ต่ำกว่า 12 % (wb)	Nachaisin et al. (2016)

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ/พันธุ์ข้าว	วิธีการ	กระบวนการ	เอกสารอ้างอิง
ข้าวสำเร็จรูป	ข้าวบาสมาติ, อินทรายานี, ข้าว HMT	การหุงความดัน (Pressure Cooking) ตามด้วยการแช่แข็ง	อุณหภูมิแช่แข็ง : -24 °C เวลาแช่แข็ง : 24 ชั่วโมง	Durgrao et al. (2017)
ข้าวต้มสำเร็จรูป	ข้าวหัก, ถั่วพุ่ม (cowpea)	การอัดขึ้นรูปด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extrusion)	ความชื้นของวัตถุดิบ : 20 % (wb) ความเร็วสกรู : 300 rpm อุณหภูมิบาร์เรล: 120 °C	Nahemiah et al. (2016)
ข้าวสำเร็จรูป	ข้าวหอมมะลิ	การหุงความดัน (Pressure cooking)	ความชื้นแช่ : 35-60 % (wb) ความดันการหุง : 11.6 - 28.4 lb/in² เวลาในการหุง : 5 นาที อุณหภูมิอบแห้ง : 166-233 °C ความชื้นสุดท้าย : ต่ำกว่า 12 % (wb)	Prasert et al. (2009)
ข้าวสำเร็จรูป	อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers), สารเพิ่มความหนืด (thickeners), ข้าวหัก	การอัดขึ้นรูปด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extrusion)	ความชื้นของวัตถุดิบ (Feed Moisture): 32 % (wb) ความเร็วสกรู (Screw Speed): 250 rpm อุณหภูมิถัง (Barrel Temperature): 70^{o}C	Wang et al. (2013)
ข้าวสำเร็จรูป (Instant rice)	ข้าวขาว	การพาร์บอยด์ (Parboiling)	อุณหภูมิแช่ (Soaking Temperature): 50^{o}C เวลาแช่ (Soaking Time): 15 นาที อุณหภูมิพาร์บอยด์ (Parboiling Temperature): 121^{o}C เวลาในพาร์บอยด์ (Parboiling Time): 3 นาที การแช่แข็งแห้ง (Freeze-drying) ถึงความชื้น 20 % (wb) การ	Smith et al. (1985)

ผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบ/พันธุ์ข้าว	วิธีการ	กระบวนการ	เอกสารอ้างอิง
			อบแห้งด้วยลม (Convective air-drying) ถึงความชื้น 12 % (wb)	
ข้าวเทียมสำเร็จรูป (Instant artificial rice)	อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers), แป้งข้าวโพด (corn flour)	การอัดขึ้นรูปด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extrusion)	ความชื้นของวัตถุดิบ : 33 % (wb) ความเร็วสกรู : 160 rpm อุณหภูมิของบาร์เรล : 96 ℃	Herawat et al. (2014)
ข้าวสำเร็จรูป	ข้าวหลงจิงเซียง (Longjingxiang rice)	การหุงความดัน (Pressure cooking)	ความชื้นแช่ : 13.84 % (wb) อัตราส่วนน้ำต่อข้าว : 1.6 ความดันการหุง : 80 kPa เวลาในการหุง : 4 นาที อุณหภูมิแช่แข็ง : -80 ℃ เวลาแช่แข็ง : 2.5 ชั่วโมง	Huang et al. (2014)

การพัฒนารอยแตกแบบเปิดและแบบปิดในเมล็ดข้าวเป็นเรื่องที่น่ากังวลอย่างยิ่ง (Genkawa et al., 2011; Perez et al., 2012) โดย Genkawa et al. (2011) มีรายงานว่าการแช่น้ำสัมพันธ์กับการเกิดรอยแตกแบบเปิดในเมล็ดข้าวเท่านั้นไม่ใช่การเกิดรอยแตกแบบปิด พวกเขายังได้ระบุด้วยว่าการพัฒนาของรอยแตกและช่องว่างทำให้คุณภาพการหุงแย่ลง ดังนั้นวิธีเดียวที่จะป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกร้าวในเมล็ดข้าวคือ การเพิ่มการแพร่ของน้ำเข้าไปโดยการเพิ่มอุณหภูมิในการแช่ข้าวให้สูงขึ้น ผลลัพธ์ที่คล้ายกันได้ถูกรายงานในการศึกษาอื่น (Perez et al., 2012) ซึ่งระบุว่าการเปลี่ยนรูปที่เกิดจากการแพร่กระจายอาจส่งผลให้เกิดการแตกแยกและเกิดรอยแตกเปิดในเมล็ดข้าว จากรายงานของ Kwak et al. (2015) เมล็ดข้าวที่มีเมล็ดข้าวแตกน้อยกว่า 20 % ถือว่ามีคุณภาพสูง

Genkawa et al. (2011) อ้างว่าการทำความเข้าใจความเค้นดึง (tensile stress) เป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักเทคโนโลยีการอาหารในการระบุจุดที่แน่นอนซึ่ งโอกาสมีที่จะเกิดรอยแตกแบบเปิดได้สูงสุด อุณหภูมิการแช่ที่ต่ำลงส่งผลให้ค่าความเค้นดึง (tensile stress) สูงขึ้น (22-25 เมกะปาสคาล) (Perez et al., 2012) การศึกษารอยแตกแบบเปิดและแบบปิดเป็นสิ่งสำคัญในการทำความเข้าใจคุณภาพของข้าวสุก (Genkawa et al., 2011) การพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้มีความเข้าใจที่ดีขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบของรอยแตกร้าวที่เกิดจากการแช่ตัวเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยจำนวนจำกัดมากเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาการเหนี่ยวนำของรอยแตกแบบเปิดในระหว่างกระบวนการทำให้แห้งหลังกระบวนการแช่ด้วยความร้อน (Koide et al., 2001) การศึกษา

การพัฒนารอยแตกแบบปิดในเมล็ดข้าวได้รับการศึกษาอย่างละเอียดโดยใช้แบบจำลอง (Dong et al., 2010) อย่างไรก็ตาม การศึกษาจะพิจารณาเฉพาะความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไล่ระดับความชื้น การศึกษาไม่ได้ถือว่าความแข็งแรงของเมล็ดข้าวเป็นปัจจัยในการกระตุ้นความเครียด ตั้งแต่วันที่ความแข็งแรงของเคอร์เนลไม่คงที่ระหว่างการแช่ (Genkawa et al., 2011) จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ดีขึ้นเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการสร้างรอยแตกแบบเปิดเนื่องจากการแช่น้ำ

การศึกษาหลายงานได้รายงานผลของการแช่ที่มีต่อพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น คุณค่าทางโภชนาการและพารามิเตอร์ทางกายภาพ (Han & Lim 2009; Prasert & Suwannaporn, 2009; Nachaisin et al., 2016; de Souza Batista et al., 2019; Wahengbam & Hazarika 2019) การแช่ข้าวเพื่อเตรียมข้าวสำเร็จรูปอาจส่งผลให้โปรตีนละลายน้ำได้ และทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดลดลง (Durgrao et al., 2017) การแช่น้ำยังอาจนำไปสู่การพัฒนาของสีเข้ม เนื่องจากการเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (de Souza Batista et al., 2019) การเปลี่ยนสีอาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายของเม็ดสีน้ำตาลจากรำเมล็ดข้าวไปยังเอนโดสเปิร์มระหว่างการแช่ (Lamberts et al., 2006) การแช่ข้าวในระหว่างการเตรียมข้าวสำเร็จรูปทำให้เกิดการงอกซึ่งจะสลายแป้งที่เก็บไว้ และเพิ่มการดูดซึมของวิตามิน ไลซีน แมกนีเซียม เส้นใย และโปรตีนอื่นๆ (Nachaisin et al., 2016) ในการศึกษาอุณหภูมิการแช่ที่สูงขึ้น (55 °C) ส่งผลให้ปริมาณกลูโคสสูงขึ้นพร้อมกับความเข้มของสีของข้าวสำเร็จรูปที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในการแช่ที่ต่ำกว่า (25 °C) (Yamakura et al., 2005).

2.8.3 วิธีนึ่ง-แช่-การอบแห้ง

วิธีการนึ่ง การแช่ และการอบแห้งเป็นวิธีการที่ดั้งเดิมที่ใช้ในการเตรียมข้าวสำเร็จรูป สิทธิบัตรด้านข้าวสำเร็จรูปฉบับแรกดำเนินการโดย Ozai-Durrani (1948) ซึ่งใช้เวลานึ่งเพียง 13 นาที พวกเขาเตรียมข้าวสำเร็จรูปโดยใช้วิธีการนึ่ง การแช่ และการอบอบแห้ง โดยแช่ข้าวไว้เพื่อเพิ่มความชื้นเป็น 30% ตามด้วยการต้มเป็นเวลา 10 นาที เพื่อเพิ่มปริมาณความชื้นเป็น 65% ข้าวแช่และต้ม สะเด็ดน้ำ พักให้เย็น ล้างด้วยน้ำเย็นแล้วตากให้แห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 140 °C และ 200 ฟุต/นาที ตามลำดับ จนกระทั่งปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวกึ่งสำเร็จรูปลดลงเหลือ 8-14% (น้ำหนักรวม) พารามิเตอร์การอบแห้งส่งผลให้เกิดการสร้างพื้นผิวที่มีรูพรุนบนเมล็ดข้าว ลดเวลาในการหุง ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมหลังนึ่ง แช่ และอบแห้งใช้เวลาหุงเพียง 5 นาที (Roberts et al., 1952b) การพัฒนาของรอยแตกและรอยแยกระหว่างวิธีการแช่ นึ่ง และทำให้แห้งช่วยให้ความชื้นแพร่กระจายเข้าสู่เมล็ดข้าวได้สะดวก ซึ่งต่อมาช่วยในการนึ่งข้าวให้สุก (Campbell & Hollis, 1954a; Campbell & Hollis, 1954b) วิธีนึ่งและการทำแห้งสามารถลดเวลาในการหุงได้สองในสาม แต่ทำให้เกิดรอยแตกร้าวเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวที่ไม่มีรอยแยก (Campbell & Hollis, 1954a; Campbell & Hollis, 1954b) อย่างไรก็ตาม,โรเบิร์ตส์ (1952b)มีข้อความแย้งว่าการเตรียมข้าวสำเร็จรูปควรมีเมล็ดหักน้อยกว่าและมีความหนาแน่นน้อยกว่า (0.4-0.42 g/cm3) และปริมาณข้าวสำเร็จรูปควรเพิ่มเป็น 1.5-เมล็ดธัญพืชแห้ง 3 เท่าหลังจากการคืนสภาพ การแช่ข้าวในอัตราส่วน

ข้าวต่อน้ำ 1:13 ภายใต้อุณหภูมิโดยรอบส่งผลให้ใช้เวลาหุงข้าว 12 นาที (รีวทอง และคณะ 2554- การเตรียมข้าวสำเร็จรูปภายใต้สภาวะนี้ส่งผลให้การชะล้างแป้งน้อยลง ความกระด้างและความเจ็บป่วยมากขึ้น และโครงสร้างจุลภาคที่ผิดรูปมากขึ้น

2.8.4 วิธีการจัดการหลังข้าวสุก (Post-cooking method)

กระบวนการหลังการหุงข้าว เช่น การทำให้เย็นลง (cooling) การแช่เยือกแข็ง (freezing) การทำให้แห้ง (drying) และการเก็บรักษา (storage) มักดำเนินการเพื่อยับยั้งการเสื่อมสภาพจากจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่พัฒนาแล้ว และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา (Semwal et al., 1996; Rewthong et al., 2011; Semwal Sethi et al., 2014; Durgrao et al., 2017) กระบวนการหลังการปรุงสุกเหล่านี้พบว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อพารามิเตอร์ด้านคุณภาพของข้าว (Rizk & Doss,

1) กระบวนการทำให้เย็น (Cooling process)

การทำให้เย็น (cooling) และการแช่เยือกแข็ง (freezing) ของข้าวที่สุกแล้วยังไม่เป็นที่นิยมมากนักในบางภูมิภาค ข้าวที่สุกแล้วจำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 °C เพื่อหยุดการเสื่อมสภาพจากจุลินทรีย์ (microbial deterioration) (Zhang & Sun, 2006) อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าระดับการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) สูงที่สุดในข้าวที่เก็บรักษาที่ 4 °C และการเกิดรีโทรเกรเดชันในระดับสูงมีความสัมพันธ์เชิงลบกับรสชาติของข้าว (Frei et al., 2003) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผ่านช่วงอุณหภูมิ 4 °C ให้เร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ (Zhang & Sun, 2006) Rewthong et al. (2011) พบว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันที่เพิ่มขึ้นที่ 4 °C ส่งผลให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (instant rice) มีความแข็งมากกว่าข้าวที่เพิ่งปรุงสุก ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างแป้งที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous starch network) ให้กลายเป็นเนื้อสัมผัสที่แข็งและแน่นยิ่งขึ้น การเกิดรีโทรเกรเดชันที่ 4 °C ยังได้รับการยืนยันจากการวิเคราะห์ด้วยเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction analysis) ของข้าวกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งพบลักษณะคริสตัลลีนชนิดบี (β-type crystalline pattern) ที่มักเกิดขึ้นในกระบวนการรีโทรเกรเดชัน (Park et al., 2009) ในขณะที่ข้าวดิบและข้าวปรุงสุกแสดงลักษณะคริสตัลลีนชนิดเอ (A-type) และวี (V-type) ตามลำดับ (Roseman & Deobald, 1959)

2) การแช่เยือกแข็ง (Freezing process)

กระบวนการรีโทรเกรเดชันของข้าวจะเร่งขึ้นจากการแช่เยือกแข็ง (Roseman & Deobald, 1959) การเพิ่มขึ้นของกระบวนการงอก (germination process) และการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส (amylase activity) บนแป้งที่ไม่เกิดเจลาติไนเซชัน (ungelatinized starch) ในข้าวดิบช่วยเพิ่มโอกาสการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Tamura et al., 2016) Roseman & Deobald (1959) รายงานว่าไม่เพียงแค่แป้งที่ไม่เกิดเจลาติไนเซชันเท่านั้น แต่แป้งที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้ว (gelatinized starch) ระหว่างการแช่เยือกแข็งก็มีแนวโน้มที่จะเกิดรีโทรเกรเดชันเช่นกัน เนื่องจากมีความต้านทานต่อการแตกตัวของ 3-อะไมโลไลซิส (3-amyloidosis dissociation) มี

ข้อแนะนำเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลักควรถูกเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นเป็นอสัณฐาน (glass transition temperature) เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมินี้จะคงสภาวะเฟสที่ไม่เป็นน้ำแข็ง (unfrozen phase) ในเจลแป้งไว้ ช่วยหยุดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล (molecular mobility) และจำกัดการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusion) ทำให้มีความคงตัวมากขึ้น (Hsu & Heldman, 2005) โดย Yu et al. (2010b) เสนอว่าการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วสามารถชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งในข้าวสุก เนื่องจากอัตราการทำให้เย็นเร็วต้องใช้เวลาการแช่แข็งสั้นกว่า ทำให้โมเลกุลแป้งไม่มีเวลารวมตัวกันใหม่เท่ากับการทำให้เย็นช้า ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันถูกยืนยันโดย Huang et al. (2014) คุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส (sensory attributes) ของข้าวกึ่งสำเร็จรูป เช่น สี (colour) ลักษณะเมล็ด (grain) กลิ่นรส (flavour) และเนื้อสัมผัส (texture) มีความใกล้เคียงกับข้าวที่ปรุงสุกสดใหม่ เมื่อใช้ข้าวสองสายพันธุ์ (Texas Patna ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาว และ California Pearl rice ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดสั้น) ที่ผ่านการต้ม 10 นาที ตามด้วยการนึ่ง 25 นาที และเก็บในสภาวะแช่เยือกแข็ง (Boggs et al., 1951) โดยใช้เวลาเพียง 10 นาทีในการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปให้พร้อมเสิร์ฟ

ข้าวแช่เยือกแข็งได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในหมู่ประชากรเอเชีย โดยเฉพาะในญี่ปุ่น เนื่องจากมีความสะดวกสูงและใช้เวลาเตรียมสั้น อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่ามีราคาสูง (Ohtsubo et al., 2005) โดยการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งเพียงอุ่นในไมโครเวฟ 4 นาที ตามด้วยการต้มอีก 2–3 นาที ก็พร้อมรับประทาน อีกหนึ่งผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่เกี่ยวข้องกับข้าวกึ่งสำเร็จรูปถูกเสนอโดย Tressler (1968) ซึ่งผลิตโดยการแช่ข้าวดิบในน้ำ ตามด้วยการนึ่ง และทำให้เย็นด้วยเครื่องทำลมเย็น (air-blast cooler) ก่อนบรรจุในถุงและนำไปแช่แข็งในตู้แช่เยือกแข็งแบบเป่าลม (air-blast freezers) อัตราการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) สามารถมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความชื้นในข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยอัตราการแช่เยือกแข็งช้า (0.09 °C/min) ส่งผลให้ปริมาณความชื้นต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งเร็ว (1.45 °C/min) อย่างมีนัยสำคัญ (Yu et al., 2010a) ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ (large ice crystals) มีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อความเสียหายของโครงสร้างเซลล์ในผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นหลัก เช่น ข้าว ซึ่งมีแนวโน้มเกิดรีโทรเกรเดชันในสภาวะการแช่เยือกแข็ง (Yu et al., 2017) นอกจากนี้ ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จะเกิดขึ้นได้มากในอัตราการแช่เยือกแข็งช้า ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วระหว่างการละลาย (thawing) ซึ่งนำไปสู่การเกิดไซเนอรีซิส (syneresis)

การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแช่เยือกแข็ง–ละลาย (freeze–thawing) จึงเป็นขั้นตอนสำคัญมากสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง เนื่องจากความผิดพลาดของพารามิเตอร์ทางกายภาพ เช่น เวลาและอุณหภูมิ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่ไม่พึงประสงค์ และลดคุณภาพของข้าว (Widyasaputra et al., 2019) ไซเนอรีซิสยังเร่งให้เกิดการแยกเฟส (phase separation) อันเป็นผลจากการแช่เยือกแข็ง–ละลาย ซึ่งนำไปสู่การเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ และส่งผลให้รูพรุนของเจลแป้งข้าวมีขนาดใหญ่ขึ้น จนทำให้เนื้อ

สัมผัสกลายเป็นรูพรุนและฟูหลังการอุ่นร้อน (Arunyanart & Charoenrein, 2008) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างด้านประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญระหว่างข้าวกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งและไม่ได้แช่เยือกแข็ง เมื่อเก็บรักษาที่ -18 °C เป็นเวลาหนึ่งปี (Luh, 1991)

2.9 กลไกของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป

กระบวนการทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (instantization of rice) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Roberts (1955) ตามกระบวนการนี้ ข้าวสารที่ผ่านการสี (milled raw rice) จะถูกแช่ในน้ำจนมีปริมาณความชื้น (moisture content) ประมาณ 30% จากนั้นผ่านการนึ่ง (steaming) ที่ความดัน 10–15 psi เป็นเวลา 5–20 นาที และทำการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจนได้ความชื้นสุดท้าย 8–14% เพื่อให้ได้โครงสร้างที่หดตัวและมีลักษณะเป็นแก้ว (glassy structure) ข้าวที่อบแห้งแล้วจะถูกทำให้ร้อนด้วยลมร้อน (hot-air treatment) ที่อุณหภูมิ 200–260 °C ทำให้เกิดการพองตัว (puffing) และการขยายตัว (expansion) ของเมล็ดข้าว ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากวิธีนี้สามารถรับประทานได้ภายใน 2–3 นาที ในการศึกษาโดย Baz et al. (1992) ข้าวที่ผ่านการปรุงล่วงหน้า (pre-cooked rice) ถูกอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งสองขั้นตอน (two step-drying process) เพื่อเพิ่มการขยายตัวและลดความหนาแน่น (density) โดยได้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายอยู่ระหว่าง 0.35–0.40 g cm^{-3} ขึ้นอยู่กับระดับการพองตัว (puffing level) สายพันธุ์ข้าว (rice variety) และอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ (rice-to-water ratio) ที่ใช้ระหว่างการปรุง ระยะเวลาในการทำข้าวกึ่งสำเร็จรูปให้พร้อมรับประทานด้วยไมโครเวฟอาจแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ถึง 20 นาที (Baz et al., 1992)

Mickus & Brewer (1957) ใช้วิธีที่คล้ายกันในการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้ข้าวที่ผ่านการกึ่งนึ่ง (parboiled rice) และทำการอบแห้งด้วยลมร้อน (hot-air blast) หรือสนามไฟฟ้า (electric field) ซึ่งช่วยให้เมล็ดข้าวเกิดการขยายตัวหรือพองตัว การขยายตัวและพองตัวของเมล็ดข้าวช่วยลดเวลาในการดูดซึมน้ำระหว่างการปรุงหรือการคืนรูป (rehydration) และทำให้เวลาปรุงสั้นลง (Yadav et al., 2021) Wayne (1963) ใช้วิธีการขยายตัว (expansion method) ในการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยในวิธีนี้ ข้าวกึ่งนึ่งแห้งที่ถูกทำให้ร้อนจะถูกขยายตัวด้วยกระแสก๊าซแบบลอยตัว (fluidizing gas stream) ที่อุณหภูมิ 150–455 °C ในกระบวนการต่อเนื่อง และเมล็ดที่ขยายตัวแล้วจะถูกแยกออกจากไลน์ผลิตด้วยไซโคลนเซพาเรเตอร์ (cyclone separator) การทำให้เกิดเจลาติไนเซชันล่วงหน้าช่วยลดเวลาในการปรุงข้าวอย่างมีนัยสำคัญ (Yadav et al., 2021) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอัดรีด (extrusion) (Yadav et al., 2021) การนึ่ง (steaming) (Wahengbam et al., 2019) และการปรุงด้วยความดัน (pressure cooking) (Prasert & Suwannaporn, 2009) Brooks et al. (1982) ใช้วิธีการปรุงสองขั้นตอนแบบต่อเนื่อง (continuous two step-cooking method) เพื่อทำให้เกิดเจลาติไนเซชัน ขั้นแรกข้าวจะถูกนึ่งในโซนที่สองซึ่งอยู่ด้านสูงของห้องปิดเอียง (inclined enclosed chamber) โดยส่วนปลายด้านต่ำของห้องจะจุ่มอยู่ในน้ำร้อน ระบบล็อกการถ่ายโอน

(transfer lock system) ช่วยให้สามารถผลิตข้าวที่เกิดเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ได้ด้วยการสูญเสียน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้อย ใช้พลังงานน้อย และมีของเสียที่ต้องบำบัดน้อยกว่าวิธีดั้งเดิม

การพองตัวของข้าวระหว่างการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปเกิดขึ้นได้ง่ายเมื่อมีความชื้นสูง (high moisture content) อุณหภูมิการพองสูง (high puffing temperature) และเวลาสัมผัสความร้อนนาน (Wongsa et al., 2016) ปัจจัยด้านกระบวนการ (processing parameters) ที่ส่งผลต่อการพองตัวของธัญพืช ได้แก่ อุณหภูมิการอบแห้ง (drying temperature) ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (initial moisture content) และชนิดของเครื่องอบแห้ง (type of dryer) (Lai & Cheng, 2004; Mariotti et al., 2006; Wongsa et al., 2016) ผลของความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิต่อการพองตัวระหว่างการเตรียมข้าวกึ่งสำเร็จรูปยังได้รับการรายงานจากงานวิจัยอื่น ๆ (Prasert & Suwannaporn, 2009; Tie et al., 2012) การเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นของข้าวจะทำให้ความหนาแน่นลดลง และเมล็ดข้าวมีการพองตัวมากขึ้น มีโครงสร้างเซลล์ที่สม่ำเสมอ และมีความหนาแน่นน้อยลง (Tie et al., 2012)

2.10 ลักษณะจำเพาะและคุณภาพ (Characterization and quality attributes)

2.10.1 ลักษณะการปรุง (Cooking characteristics)

ข้าวมีปริมาณแป้ง (starch) สูงมาก และการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) และการบวมตัว (swelling) ของเม็ดแป้ง (starch granules) จะเกิดขึ้นภายในเอนโดสเปิร์มของข้าว (rice endosperm) ระหว่างกระบวนการปรุง (cooking process) ลักษณะการปรุงของข้าวกึ่งสำเร็จรูป (instant rice) สามารถกำหนดได้จากเวลาปรุง (cooking time) อัตราการคืนรูป (rehydration ratio) และการสูญเสียของแข็ง (solid loss) เวลาปรุงเป็นคุณลักษณะสำคัญในแง่ความรวดเร็วในการปรุงและความต้านทานต่อการปรุงเกิน (overcooking) โดยหมายถึงเวลาขั้นต่ำที่แป้งในข้าวเกิดเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ (Yadav et al., 2021) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ซึ่งรั่วออกมาจากเมล็ดข้าวระหว่างการปรุงและการคืนรูปจะถูกวัดเป็นการสูญเสียของแข็ง (solid loss) และใช้ประเมินประสิทธิภาพการปรุงโดยรวมของผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ อัตราการคืนรูปเป็นคุณลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของข้าวที่ใช้วัดความสามารถในการกักเก็บน้ำของเมล็ดข้าวระหว่างการปรุง โดยคำนวณจากความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างข้าวสุกและข้าวดิบ (Yadav et al., 2022)

เวลาปรุงของเมล็ดข้าวกึ่งสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ระดับการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งระหว่างการปรุงล่วงหน้า (pre-cooking) การนึ่ง (steaming) หรือการกึ่งนึ่ง (parboiling) ระดับการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ระหว่างการเก็บรักษา และอัตราการดูดซึมน้ำ (water uptake rate) ระหว่างการปรุง (Yadav et al., 2021) โดยเชื่อว่าบริเวณท้องเมล็ดข้าว (belly of a rice kernel) มีองค์ประกอบอื่น เช่น โปรตีน (protein) และไขมัน (fats) ที่สามารถจับกับแป้งและ

ขัดขวางการซึมน้ำที่จำเป็นต่อการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง การจับตัวของแป้งกับโปรตีนและไขมันนี้เชื่อว่าเป็นสาเหตุให้เวลาปรุงนานขึ้น (Smith et al., 1985)

สภาพการปรุง เช่น การปรุงข้าวภายใต้สภาวะบรรยากาศ (atmospheric pressure) หรือการนึ่งข้าวภายใต้ความดัน (pressure steaming) โดยใช้ออโตเคลฟ (autoclave) มีผลอย่างมากต่อคุณลักษณะการปรุง เวลาปรุงจะลดลงเมื่อข้าวถูกนึ่งภายใต้ความดันในออโตเคลฟ เนื่องจากมีการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งล่วงหน้า (Smith et al., 1985) Smith และคณะ (1985) ได้ศึกษาผลของการปรุงข้าวที่ไม่ได้แช่ และข้าวที่แช่ในสารละลายโซเดียมซิเตรต–แคลเซียมคลอไรด์ (sodium citrate–calcium chloride) ความเข้มข้น 3.5% และ 7% ที่อุณหภูมิ 21 และ 50 °C ต่อการดูดซึมความชื้น อัตราการคืนรูป และระดับการเกิดเจลาติไนเซชัน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่แช่ในสารละลาย 3.5% และ 7% มีคุณภาพการปรุงต่ำกว่า นอกจากนี้พบว่าการปรุงข้าวหลังการแช่ในออโตเคลฟที่ 121 °C และความดัน 15 psi เป็นเวลา 3 นาที ให้ระดับการเกิดเจลาติไนเซชันสูงสุด ข้าวที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีดูดซึมความชื้นและคืนรูปได้ดีกว่าข้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

การแช่เมล็ดข้าวในสารละลายโซเดียมซิเตรตและแคลเซียมคลอไรด์ช่วยให้น้ำซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวได้ง่ายขึ้น และเร่งการดูดซึมน้ำเข้าสู่โครงข่ายแป้งระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชัน โดยทั่วไปการมีระดับการเกิดเจลาติไนเซชันสูง ปริมาณการดูดซึมน้ำปานกลาง และอัตราการคืนรูปปานกลางถึงสูงในข้าวสุกจะเหมาะสมต่อการอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพและให้คุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่สูง Smith และคณะ (1985) พบเพิ่มเติมว่าข้าวที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีและการฟรีซดราย (freeze-drying) มีอัตราการคืนรูป (2.2) สูงกว่าข้าวที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีแต่ใช้อบแห้งแบบลมร้อน (convective air-drying) (2.0) ในขณะที่ข้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพมีอัตราการคืนรูป 1.2–1.9 แสดงว่าการเสริมสารไม่ได้ส่งผลต่อความสามารถในการคืนรูปของข้าว แต่การปรับสภาพทางเคมีร่วมกับการฟรีซดรายช่วยเพิ่มความสามารถในการคืนรูป อัตราการคืนรูปจึงเป็นตัวชี้วัดความสามารถของเมล็ดข้าวในการดูดซึมและกักเก็บน้ำระหว่างการปรุง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของโครงสร้างแป้งระหว่างการปรุงหรือการคืนรูป (Yadav et al., 2021) นอกจากนี้ Wahengbam และคณะ (2019) ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกัน โดยใช้การแช่ในสารละลายโฟลิกแอซิด (folic acid solution) พบว่าข้าวที่ผ่านการปรับสภาพใช้เวลาปรุงน้อยกว่าข้าวสารที่ไม่ได้ปรับสภาพซึ่งใช้เวลา 18 นาที เวลาปรุงลดลงตามระยะเวลาการนึ่ง เนื่องจากระดับการเกิดเจลาติไนเซชันเพิ่มขึ้นเมื่อเวลานึ่งนานขึ้น (Wahengbam et al., 2019) การผสมผสานระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชันและการสลายตัวด้วยความร้อน (thermal degradation) เชื่อว่าช่วยลดเวลาปรุง อย่างไรก็ตาม สิ่งนี้ขัดแย้งกับข้อเท็จจริงที่ว่าการแข็งตัวของผิวเมล็ดข้าว (surface hardening) ในข้าวกึ่งนึ่ง (parboiled rice) ทำให้เวลาปรุงนานขึ้น Wahengbam และคณะ (2019) ระบุว่าการลดเวลาปรุงของข้าวเสริมโฟลิกแอซิดเกิดจากปริมาณอะมิโลส (amylose content) ที่ต่ำ และการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งที่เกิดเจลาติไนเซชันมีข้อจำกัดในระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงทำให้เวลาปรุงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการแข็งตัวของผิวเมล็ดข้าว (surface hardening) ที่อุณหภูมิสูง

Yadav และคณะ (2021) ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับผลของพารามิเตอร์กระบวนการอัดรีด (extrusion process parameters) ต่อคุณลักษณะการปรุงของข้าวกึ่งสำเร็จรูปแบบค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (low-glycemic rice) พบว่าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ (feed moisture) มีผลเชิงลบ ในขณะที่ความเร็วรอบสกรู (screw speed) มีผลเชิงบวกต่อเวลาปรุง เวลาปรุงลดลงเมื่อความชื้นวัตถุดิบเพิ่มขึ้นและความเร็วสกรูลดลง เนื่องจากความหนาแน่น (density) ที่ลดลงจากการขยายตัวสูงของเมล็ดข้าวที่อัดรีด เวลาปรุงมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่น กล่าวคือ เมล็ดข้าวที่มีความหนาแน่นสูงจะดูดซึมน้ำได้ช้ากว่า ทำให้เวลาปรุงนานขึ้น (Dalbhagat et al., 2019) ปริมาณความชื้นสูงในวัตถุดิบทำให้เกิดผลการพลาสติกไซซิง (plasticizing effect) ที่ป้องกันไม่ให้เม็ดแป้งบวมตัว ส่งผลให้การขยายตัวน้อยลง (Dalbhagat et al., 2019) ในขณะที่ความเร็วรอบสกรูและอุณหภูมิในกระบอกสูงทำให้เกิดแรงเฉือนสูง (high shearing) และความหนาแน่นต่ำ ทำให้โครงสร้างแป้งสลายตัว ส่งผลให้ขยายตัวมากขึ้น การสูญเสียของแข็ง (solid loss) เป็นตัวชี้วัดการสลายตัวของโครงสร้างผลิตภัณฑ์ระหว่างการปรุงหรือการคืนรูป อุณหภูมิในกระบอก (barrel temperature) มีผลเชิงบวก ในขณะที่ความชื้นวัตถุดิบมีผลเชิงลบต่อการสูญเสียของแข็ง เมื่อความชื้นวัตถุดิบต่ำ การสูญเสียของแข็งจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่ออุณหภูมิกระบอกเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มนี้จะน้อยลงเมื่อความชื้นวัตถุดิบสูงขึ้น เนื่องจากความชื้นสูงช่วยป้องกันการสลายตัวของโครงสร้างแป้ง และยังช่วยลดความหนืดของมวลหลอม (feed melt viscosity) ทำให้โครงสร้างแป้งเสียหายน้อยลงและน้ำซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ดีขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียของแข็งลดลง นอกจากนี้ ความเร็วรอบสกรูมีผลเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการคืนรูป ในขณะที่ความชื้นวัตถุดิบมีผลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ (Yadav et al., 2021)

2.10.2 ความสามารถในการย่อยแป้งและค่าดัชนีน้ำตาล (Glycaemic Index)

ความสามารถในการย่อยแป้ง (starch digestibility) และค่าดัชนีน้ำตาล (glycaemic index; GI) ของข้าวกึ่งสำเร็จรูป (instant rice) เป็นประเด็นสำคัญสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ภาวะไขมันในเลือดสูง (hyperlipidemia) และความผิดปกติของระบบเมตาบอลิซึมอื่น ๆ (Rewthong et al., 2011) ผลกระทบของกระบวนการและการเตรียมก่อนแปรรูป (pre-treatments) ที่ใช้ในกระบวนการทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (instantization) ได้รับการศึกษาโดยนักวิจัยหลายท่าน (Srikaeo & Sopade, 2010; Hsu et al., 2015; Kaur et al., 2016; Ritudomphol & Luangsakul, 2019; de Souza Batista et al., 2019) พบว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำและมีความสามารถในการย่อยแป้งที่เหมาะสม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เอื้อต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Wolever et al., 1986; Rewthong et al., 2011; de Souza Batista et al., 2019)

การบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงอาจเป็นอันตรายต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจากสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดอย่างรวดเร็วระหว่างการย่อยอาหาร (Ritudomphol & Luangsakul, 2019) โรคเบาหวานเป็นโรคเมตาบอลิซึมที่ร้ายแรงซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ และหากไม่ได้รับการรักษาอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต (Yadav et al., 2021) โรคไม่ติดต่อ (non-

communicable diseases; NCDs) เช่น เบาหวานชนิดที่ 2 (type 2 diabetes), โรคอ้วน (obesity), ไขมันในเลือดสูง (hypercholesterolemia) และโรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในประเทศพัฒนาแล้วและประเทศกำลังพัฒนา โดยเฉพาะในกลุ่มวัยหนุ่มสาว (Yadav et al., 2023) ปัจจุบันโรคเบาหวานเป็นโรคไม่ติดต่ออันดับที่สามของโลก โดยมีผู้ป่วยประมาณ 463 ล้านคนทั่วโลก ประเทศจีนและอินเดียมีจำนวนผู้ป่วยสูงสุดคือ 116.4 และ 77 ล้านคนตามลำดับ และคาดว่าจะเพิ่มเป็น 147.2 และ 134.2 ล้านคนในปี ค.ศ. 2045 (Yadav et al., 2021) การบริโภคอาหารที่มีค่าภาระน้ำตาลในอาหารสูง (glycaemic load) โดยเฉพาะจากข้าว มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในประชากรจีน ญี่ปุ่น และอินเดีย อาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำสามารถใช้เพื่อลดความชุกของโรคเบาหวานและโรคร่วมที่เกี่ยวข้องได้ (Ritudomphol & Luangsakul, 2019)

มีรายงานว่าความสามารถในการย่อยแป้งของข้าวกึ่งสำเร็จรูปต่ำกว่าข้าวสารขัดขาวดิบ (raw milled rice) ประมาณ 15–22% (de Souza Batista et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hsu et al. (2015) ที่พบว่ามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแป้งที่ย่อยได้ (จาก 85.6% เหลือ 75.0%) และมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งทนต่อการย่อย (resistant starch) และแป้งที่ย่อยช้า (slowly digestible starch) ในข้าวกึ่งสำเร็จรูปเมื่อเทียบกับข้าวสารขัดขาว อัตราการไฮโดรไลซิส (hydrolysis rate) ในระยะแรกของการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสสูง (Huang et al., 2014) ทำให้สายโซ่ของแป้งสั้นลงและจำนวนตำแหน่งจับของเอนไซม์ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการย่อยแป้งลดลง การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของอะมิโลส (amylose) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างมีนัยสำคัญและเพิ่มปริมาณแป้งทนต่อการย่อยในระหว่างการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว (quick-freezing) (Huang et al., 2014; Tamura et al., 2016) โดยการรีโทรเกรเดชันเป็นกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะมิโลส ซึ่งจำกัดการดูดน้ำของบริเวณอสัณฐาน (amorphous region) ที่เกิดขึ้นใหม่ และขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ส่งผลให้ความสามารถในการย่อยแป้งลดลง (Tamura et al., 2016)

ระยะเวลาในการแปรรูปมีผลอย่างมากต่อค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว การต้มข้าวกึ่งสำเร็จรูปเป็นเวลา 1 นาทีมีค่าดัชนีน้ำตาล 65 (Wolever et al., 1986) ขณะที่การต้ม 6 นาทีมีค่าดัชนีน้ำตาล 87 (Brand et al., 1985) ความแตกต่างของวิธีการเตรียมและคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุดิบอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในการแปรรูปก็มีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการย่อยแป้ง (Ritudomphol & Luangsakul, 2019) อุณหภูมิสูงและปริมาณน้ำต่ำก่อให้เกิดรอยแตกขนาดใหญ่ในเมล็ดข้าวและมีพื้นที่ผิวลดลง ซึ่งช่วยให้เอนไซม์เข้าถึงได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นและความสามารถในการย่อยแป้งสูงขึ้น (Kaur et al., 2016) ค่าดัชนีน้ำตาลและปริมาณแป้งทนต่อการย่อยของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจะลดลงเมื่ออุณหภูมิการหุงต่ำลง (Ritudomphol & Luangsakul, 2019) Swaminathan & Guha (2018) ได้พัฒนาเครื่องดื่มจากข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีโปรตีนสูง และพบว่ามีความสามารถในการย่อยแป้ง 45% อีกทั้งยังมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะแก้ว

(glass transition temperature) เท่ากับ 58 °C และมีปริมาณใยอาหารละลายน้ำสูงถึง 94% ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการย่อยแป้ง การแช่แข็งข้าวที่ -20°C ให้คุณรูปที่ดีกว่าพร้อมค่าดัชนีน้ำตาลและความสามารถในการย่อยแป้งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำให้เย็นที่ 4°C (Rewthong et al., 2011) ในทางกลับกัน Brand et al. (1985) ระบุว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยทั่วไปมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการแปรรูป

องค์ประกอบที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch components) ในผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูป เช่น เครื่องเทศ (spices), เวย์โปรตีนไอโซเลต (whey protein isolates), โปรตีนจากสัตว์และพืช, โมโนโซเดียมกลูตาเมต, สารปรุงแต่งรส (flavouring agents) และสมุนไพร อาจมีผลอย่างมากต่อความสามารถในการย่อยแป้ง (Srikaeo & Sopade, 2010) การเติมน้ำมันระหว่างการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปสามารถลดความสามารถในการย่อยแป้งได้ (Luangsakul & Ritudomphol, 2018) ซึ่งอาจเกิดจากการสร้างคอมเพล็กซ์แป้ง-ไขมัน (starch–lipid complexes) (Putseys et al., 2010; Reed et al., 2013) ผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อความสามารถในการย่อยแป้งและค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลกระทบของปัจจัยหลากหลายต่อการย่อยแป้ง (Starch Digestibility) และค่าดัชนีน้ำตาล (Glycaemic Index) ของข้าว

ปัจจัย	ผลกระทบต่อการย่อยแป้งและค่าดัชนีน้ำตาล (Glycaemic Index)	เอกสารอ้างอิง
ปริมาณอะไมโลส	ข้าวที่มีสัดส่วนอะไมโลสสูงแสดงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวที่มีสัดส่วนอะไมโลสต่ำ	Ritudomphol & Luangsakul (2019)
ขนาดอนุภาคของเม็ดแป้ง (starch granule particle size)	การลดขนาดอนุภาคของเม็ดแป้ง (starch granule particle size) จะเพิ่มพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับเอนไซม์ย่อยอาหาร ส่งผลให้ความเร็วในการย่อยแป้งเพิ่มขึ้นและทำให้ดัชนีน้ำตาลในเลือด (glycemic index) สูงขึ้น	Svihus et al (2005); De et al (2013)
เส้นใยอาหาร (dietary fiber)	เส้นใยอาหาร (dietary fiber) ทำหน้าที่เป็นกำแพงกั้นเอนไซม์ย่อยอาหาร ส่งผลให้ลดอัตราการย่อยแป้ง (starch digestibility rate) และลดดัชนีน้ำตาลในเลือด (glycemic index) ข้าวกล้อง (brown rice) จึงเป็นที่รู้จักว่ามีดัชนีน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าข้าวขาว (white rice)	Ritudomphol & Luangsakul (2019)

ปัจจัย	ผลกระทบต่อการย่อยแป้งและค่าดัชนีน้ำตาล (Glycaemic Index)	เอกสารอ้างอิง
อัตราส่วนของแอะไมโลส (amylose) ต่อแอมิโลเพกติน (amylopectin)	อัตราส่วนของแอะไมโลสต่อแอมิโลเพกตินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการย่อยสลายของแป้ง (starch digestibility rate)	Svihus et al. (2005); Kaur et al. (2016)
ระดับความเป็นผลึก (degree of crystallinity)	การสูญเสียโครงสร้างผลึกของแป้งระหว่างการปรุงอาหารทำให้ง่ายต่อการเข้าถึงของเอนไซม์ย่อยอาหาร ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายแป้งเพิ่มขึ้นและดัชนีน้ำตาล (glycemic index) สูงขึ้น	Ritudomphol & Luangsakul (2019); Kaur et al. (2016)
การก่อตัวของพันธะเชิงซ้อนของอะไมโลส-ไขมัน (amylose-lipid complexes)	การก่อตัวของพันธะเชิงซ้อนของอะไมโลส-ไขมันช่วยชะลอการสลายโครงสร้างผลึกของแป้ง ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายแป้งลดลงและดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ต่ำลง	Ritudomphol & Luangsakul (2019)
อุณหภูมิ	การเพิ่มอุณหภูมิในการปรุงสุกจะทำให้อัตราการแพร่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าวเร็วขึ้น ซึ่งส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายแป้ง (starch digestibility) และค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index)	Ritudomphol & Luangsakul (2019); Kaur et al. (2016)
ปริมาตรของน้ำ	ปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการปรุงสุกมากขึ้นส่งผลให้ระดับการเจลาตินไนเซชันเพิ่มขึ้น และอัตราการย่อยสลายแป้ง (starch digestion) เร่งขึ้น	Ritudomphol & Luangsakul (2019); Kaur et al. (2016)
เวลาในการนึ่ง	ข้าวที่ผ่านการปรุงสุกเป็นเวลานานจะมีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) สูงขึ้น	Ranawana et al. (2009)
วิธีการแปรรูป	วิธีการแปรรูป เช่น การพองด้วยแรงระเบิด (explosion puffing), การอัดขึ้นรูป (extrusion), และการทำให้อินสแตนท์ (instantization) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายแป้ง (starch digestibility)	Kaur et al. (2016)
การทำให้เย็น	การทำให้ข้าวสุกเย็นส่งผลให้เกิดกระบวนการรีโทรเกรดเดชันของแป้ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ช่วยลดค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index) ของข้าว	Sievert & Pomeranz, (1989)

ปัจจัย	ผลกระทบต่อการย่อยแป้งและค่าดัชนีน้ำตาล (Glycaemic Index)	เอกสารอ้างอิง
การแช่ข้าว	กระบวนการแช่เมล็ดข้าวช่วยส่งเสริมการขยายตัวของเม็ดแป้งและการเจลาตินไนเซชันที่สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการย่อยสลายแป้งเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลสูงขึ้น	Kaur et al. (2016)
การงอกของข้าว	ข้าวกล้องงอกล่วงหน้ามีประสิทธิภาพสูงกว่าข้าวขาวในการชะลอการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหาร	Ito et al. (2005)
น้ำส้มสายชู	การเติมกรดอะซิติกและอาหารหมักดองที่มีน้ำส้มสายชูลงในข้าวขาวมีผลในการลดค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว	Kaur et al. (2016)

2.10.3 คุณสมบัติการเกิดเจล (Pasting Properties)

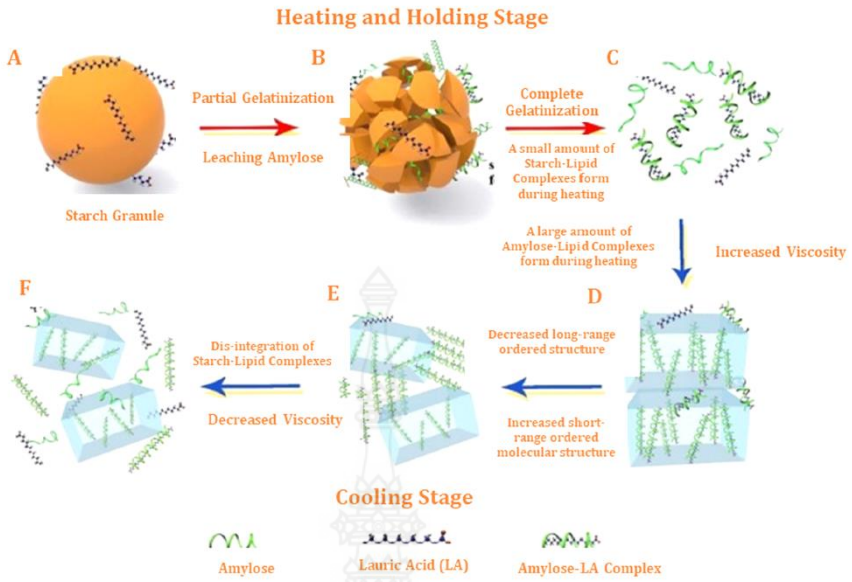
คุณสมบัติการเกิดเจล (Pasting property) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเชิงไหล (rheological behaviour) ของแป้งที่ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น (moisture content), อุณหภูมิการอบแห้ง (drying temperature) และความดันในการทำงาน (operating pressure) ซึ่งการทำความเข้าใจในคุณสมบัติดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (Prasert & Suwannaporn, 2009) คุณสมบัติการพาสติ้งได้รับการศึกษากันอย่างกว้างขวางในกระบวนการพัฒนาข้าวอินสแตนท์ (instant rice) (Srikaeo & Sopade, 2010; Mridula et al., 2017; Wahengbam & Hazarika, 2019) ผลการศึกษาพบว่าคุณสมบัติการพาสติ้งของข้าวอินสแตนท์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากข้าวที่เพิ่งปรุงสุกใหม่ (freshly cooked rice) (Huang et al., 2014) โดยข้าวอินสแตนท์มีอุณหภูมิพาสติ้ง (pasting temperature), ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดขณะตกต่ำสุด (trough viscosity), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และความหนืดที่เสื่อมสภาพ (breakdown viscosity) ต่ำกว่าข้าวที่เพิ่งปรุงสุก (Huang et al., 2014) ผลสังเกตในลักษณะเดียวกันนี้ยังได้รับการรายงานโดย Prasert & Suwannaporn (2009) อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าคุณสมบัติการพาสติ้งทั้งหมดของข้าวอินสแตนท์ต่ำกว่าข้าวขาว (milled rice) อย่างมีนัยสำคัญ แม้จะพบว่าข้าวอินสแตนท์มีความหนืดของแป้งเย็น (cold paste viscosity) สูงกว่า ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแป้งที่ถูกเจลาตินไนซ์ก่อน (pre-gelatinized flour) (Prasert & Suwannaporn, 2009)

อุณหภูมิและระยะเวลาการปรุงสุกมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติการพาสติ้งของข้าวอินสแตนท์ โดยข้าวที่ปรุงสุกที่อุณหภูมิ 90°C จะมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าความเสื่อมสภาพ (breakdown) ต่ำกว่าข้าวที่ปรุงสุกที่ 82°C (Ritudomphol & Luangsakul, 2019; Wahengbam

& Hazarika, 2019) การเพิ่มระยะเวลาการปรุงสุกยังทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง (Wahengbam & Hazarika, 2019) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการบวมน้ำของเม็ดแป้ง (swelling of starch granules) ก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเกลียวเป็นขด (helix-coil transition) ของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (amylose-amylopectin) เมื่อได้รับความร้อนและมีน้ำมากเกินไป ทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งที่มีอยู่เดิมสูญเสียไปอย่างสมบูรณ์ (Yu et al., 2017)

การเกิดพันธะระหว่างแป้งและไขมัน (starch-lipid complexes) ก็มีผลต่อคุณสมบัติการพาสติ้งในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนอย่างกว้างขวาง เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีน้ำมาก การให้ความร้อนจะทำให้แป้งเกิดการเจลาตินไนซ์ (gelatinization) โดยโมเลกุลอะไมโลสบางส่วนจะรั่วออกจากโครงข่ายแป้งและอาจจับตัวกับไขมันเกิดเป็นพันธะ complexes เหล่านี้จะเพิ่มจำนวนขึ้นเมื่อเย็นตัวลง (cooling) ซึ่งพันธะเหล่านี้จะเรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึกชนิด V-type (V-type crystalline structures) ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงการเย็นตัว (setback) แต่หากกระบวนการเย็นตัวนั้นมีการปั่นผสมอย่างต่อเนื่อง โครงสร้างผลึก V-type ที่ไม่เสถียรบางส่วนและพันธะแป้ง-ไขมันจะถูกทำลาย ส่งผลให้ความหนืดลดลง (Chao et al., 2020)

กลไกการเปลี่ยนแปลงของพันธะแป้ง-ไขมันในระหว่างการแปรรูปได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 ส่วนผสมที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starchy ingredients) มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติการพาสติ้ง (pasting properties) ของข้าวสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์ที่มีฐานเป็นข้าวสำเร็จรูป (Srikaeo & Sopade, 2010) ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนืดเนื่องจากการก่อตัวของพันธะแป้ง-ไขมัน (starch-lipid complex) และ/หรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างแป้งกับโปรตีน (starch-protein interactions) ในกระบวนการทำให้เป็นข้าวสำเร็จรูป (instantization) (Mayachiew et al., 2015; Swaminathan & Guha, 2018) โดยเกลือและเอนไซม์ก็ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติการพาสติ้งของข้าวสำเร็จรูป (Mridula et al., 2017) พบว่าคุณลักษณะการพาสติ้งของข้าวสำเร็จรูปที่ผ่านการบำบัดด้วยเอนไซม์จะต่ำกว่าข้าวที่ผ่านการบำบัดด้วยเกลือ (Mridula et al., 2017) และคุณลักษณะการพาสติ้งทั้งหมดจะลดลงเมื่อระดับเอนไซม์เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่ทำลายแป้งและโปรตีนจนกลายเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ ส่งผลให้คุณสมบัติการพาสติ้งลดต่ำลง (Prasert & Suwannaporn, 2009) ผลของส่วนผสมอื่น ๆ ต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของข้าวสำเร็จรูปสรุปไว้ในตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.10 กลไกพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงพันธะแป้ง-ไขมันในระหว่างกระบวนการแปรรูป (ที่มา: Chao et al., 2020)

การปรุงด้วยความดันก็ส่งผลต่อคุณสมบัติการพาสติ้งของข้าวสำเร็จรูปเช่นกัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของค่าความหนืดในช่วง breakdown และ setback เมื่อข้าวถูกบำบัดที่ความดัน 400 MPa เมื่อเทียบกับที่ 300 MPa เป็นเวลา 4 นาที กระบวนการ puffing ด้วยอากาศร้อนในชั้น fluidized-bed ที่ความดันบรรยากาศทำให้ความหนืดของแป้งข้าวที่ผ่านการเจลาตินไนซ์ลดลงอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากการชะล้างแป้งอะไมโลส (amylose) สูงในระหว่างการบำบัดด้วยความร้อนและความชื้น ส่งผลให้ค่า onset temperature เลื่อนออกไปและค่าความหนืดสูงสุดลดลง (Lai & Cheng, 2004) ในกรณีกระบวนการ extrusion ความดันที่หัวฉีด (die pressure) มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทำข้าวสำเร็จรูปที่มีฐานเป็นข้าว (Mayachiew et al., 2015) กระบวนการ extrusion ได้รับการใช้โดย Wang et al., (2013), Herawat et al. (2014), และ Yadav et al. (2021) ในการผลิตข้าวสำเร็จรูปจากข้าวหัก ความดันหัวฉีดที่สูงขึ้นทำให้เมล็ดข้าวที่ถูกอัดขึ้นรูปขยายตัวมากขึ้นด้วยการก่อรอยแตกและโพรงจำนวนมาก ซึ่งรอยแตกและโพรงเหล่านี้ช่วยให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาการปรุงอาหารลดลง (Yadav et al., 2021) โดยในขณะที่ความชื้นของวัตถุดิบสูง การเพิ่มความเร็วสกรูและอุณหภูมิของถังทำให้ระดับการเจลาตินไนซ์ของแป้งสูงขึ้น โดยค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดในช่วง breakdown และความหนืดในช่วง trough มักลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วสกรูและอุณหภูมิถัง (Yadav et al., 2022)

ตารางที่ 2.5 ผลของส่วนผสมต่อคุณลักษณะของข้าวสำเร็จรูป (ที่มา: Wang et al., 2013; Kaur et al., 2016)

ส่วนผสม (Ingredients)	ผลต่อคุณลักษณะของข้าวสำเร็จรูป (Effect on Characteristics of Instant Rice)
อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)	i. อัตราการเจลาตินไนเซชัน (Degree of gelatinization) ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์มากขึ้น ii. ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density, BD) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม glycerol monostearate (GMS) และลดลงเมื่อเพิ่ม sodium stearoyl lactate (SSL) และ soy lecithin (LC) iii. การเพิ่ม GMS ทำให้ความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น แต่ความหนืด (adhesiveness) จะเพิ่มก่อนแล้วลดลงเมื่อ GMS มากกว่า 0.5% ขณะที่ LC และ SSL ทำให้ความแข็งและความหนืดลดลง iv. น้ำตาลละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate, WSC) และความไวต่อ **α**-amylase ลดลงเมื่อเพิ่มอิมัลซิไฟเออร์ v. การเพิ่ม GMS ทำให้น้ำตาลโปรตีนละลายน้ำได้ (Water soluble protein, WSP) ลดลง ส่วน LC และ SSL ทำให้ WSP เพิ่มขึ้น vi. การเติมอิมัลซิไฟเออร์ลดการย่อยแป้ง (starch digestibility)
สารเพิ่มความข้น (Thickener)	i. อัตราการเจลาตินไนเซชันเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเพิ่มความข้น ii. ความหนาแน่นโดยรวม (BD) ลดลงเมื่อเพิ่ม sodium alginate (SA) และ gum Arabic (GA) iii. ความแข็งลดลงและความหนืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มความข้น iv. การเติมสารเพิ่มความข้นทำให้น้ำตาลละลายน้ำได้ (WSC) และความไวต่อ **α**-amylase เพิ่มขึ้น v. WSP ลดลงเมื่อเติม starch rice (SR) และ GA แต่เพิ่มขึ้นเมื่อเติม SA
ข้าวเหนียว (Sticky rice)	i. ความหนาแน่นโดยรวม (BD) เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ 10% ของข้าวเหนียว แล้วลดลง
น้ำส้มสายชู (Vinegar)	i. การเติมน้ำส้มสายชูและอาหารที่มีการหมักด้วยน้ำส้มสายชูช่วยลดดัชนีน้ำตาลในเลือด (glycemic index)

2.10.4 สีและเนื้อสัมผัส (Colour and Texture)

ปัญหาหลักที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาข้าวสำเร็จรูป (instant rice) คือ สีและเนื้อสัมผัสที่ด้อยกว่าเมื่อเทียบกับข้าวดิบ (raw rice) จากพืชตระกูลข้าวฟ่าง (millet) (Prasert & Suwannaporn, 2009; de Souza Batista et al., 2019) ซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณแป้งอะไมโลส (amylose

content) และปฏิกิริยาระหว่างแป้ง (starch) กับส่วนประกอบที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch components) อื่น ๆ (Ong & Blanshard, 1995; Rewthong et al., 2011) โดย Leelayuthsoontorn & Thipayarat (2006) รายงานว่า เมื่อข้าวสำเร็จรูปได้รับการผลิตภายใต้ความดัน 0.5 เมกะปาสคาล (MPa) และอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (°C) ข้าวที่ได้หลังการปรุงจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า สั้นกว่า และเหนียวขึ้นอย่างชัดเจน และมีการรายงานถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของความเหนียว (adhesiveness) ความเหนียวแน่น (cohesiveness) และคุณสมบัติเนื้อสัมผัสอื่น ๆ เมื่อข้าวสำเร็จรูปที่ไม่ได้แช่น้ำ (non-soaked) ผ่านกระบวนการความดันสูง เมื่อเทียบกับการผลิตโดยไม่ใช้ความดัน (Boluda-Aguilar et al., 2013)

ความเหนียวที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถอธิบายได้จากการสังเกตของ Leelayuthsoontorn & Thipayarat (2006) ซึ่งพบว่า การใช้น้ำส่วนเกินในกระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่า 140 °C ไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดชั้นของแป้งอะไมโลสที่ละลายออกมา (leached amylose coating) บนเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเหนียวเพิ่มขึ้น ปริมาณแป้งอะไมโลส (amylose content) มีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของข้าวที่ผ่านกระบวนการความดันสูง (Hu et al., 2011) เมล็ดแป้งของข้าวที่ไม่มีแป้งข้าวโพดเหนียว (non-waxy rice) ยังคงรักษาโครงสร้างเนื้อสัมผัสของเมล็ดแป้งไว้ได้แม้ได้รับแรงดันสูงถึง 600 MPa ขณะที่ข้าวเหนียว (waxy rice) จะเสียโครงสร้างภายใต้แรงดันสูงนี้ ซึ่งบ่งชี้ว่า แป้งอะไมโลสมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ (degradation) ภายใต้แรงดันมากกว่าแป้งอไมโลเพกติน (amylopectin) เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลที่ยาวกว่า (Rewthong et al., 2011; Yu et al., 2017)

ในด้านสีของข้าวสำเร็จรูปที่ได้รับแรงดันสูง มีรายงานว่า การบำบัดด้วยแรงดันสูงจะทำให้ข้าวมีสีขาวนวล (off-white colour) มากกว่าข้าวที่ปรุงแบบปกติที่อุณหภูมิห้อง (ambient condition) (Leelayuthsoontorn & Thipayarat, 2006) โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดัชนีความขาว (whiteness index) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 69.17 ± 0.17 เป็น 64.87 ± 0.10 (Leelayuthsoontorn & Thipayarat, 2006) Tian et al., (2014) รายงานเพิ่มเติมว่า การแช่ภายใต้แรงดันสูงจะช่วยเพิ่มความสว่าง (lightness) ของข้าวสำเร็จรูปเมื่อเทียบกับการแช่ที่แรงดันบรรยากาศ สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงในเนื้อสัมผัส สี และกลิ่น ระหว่างกระบวนการพาสคาไลเซชัน (pascalization) เพื่อพัฒนาข้าวสำเร็จรูป ได้แก่ การคลายตัวของโครงสร้างเมล็ดแป้ง (loosening in the integrity of starch granules) (Li et al., 2012), การเพิ่มขึ้นของโมดูลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) อย่างมีนัยสำคัญ (Ahmed et al., 2007), การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเปลี่ยนแก้ว (glass transition temperature) (Liu et al., 2008), ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและแป้ง (protein-starch interaction) (Ahmed et al., 2007), การเพิ่มความแข็งเนื่องจากการเจลาตินไนเซชันไม่สมบูรณ์ที่ความชื้นต่ำ (under-gelatinization at low moisture content) (Boluda-Aguilar et al., 2013) และการมีอยู่ขององค์ประกอบระเหยต่าง ๆ (volatile components) (Boluda-Aguilar et al., 2013; Deng et al., 2013)

กระบวนการอบแห้ง (drying process) ในการผลิตข้าวสำเร็จรูปมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสีของข้าวสำเร็จรูป มีการรายงานคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory qualities) ที่ด้อยลงหลังการอบแห้งในบางการศึกษา (Rizk & Doss, 1995) การพัฒนาข้าวสำเร็จรูปที่มีสี เนื้อสัมผัส และกลิ่นใกล้เคียงกับข้าวสุกสดใหม่เป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร ข้าวสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยกระบวนการอบแห้งใหม่ได้รับการประเมินว่าใกล้เคียงกับข้าวสุกสดใหม่ทั้งในด้านกลิ่น ความขาว ความแข็ง และความยืดหยุ่น โดยวัดจากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสและเครื่องมือวัดต่าง ๆ (Chen et al., 2014) ทั้งนี้ Carlson et al. (1976, 1979) ศึกษาผลของการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวสำเร็จรูปและพบว่า การอบแห้งข้าวสำเร็จรูปที่ปรุงที่อุณหภูมิสูงก่อให้เกิดโครงสร้างที่พรุน (porous structure) สูง และสามารถดูดซึมน้ำกลับ (rehydration) ได้รวดเร็วก่อนบริโภค แม้ว่าจะมีการใช้เครื่องอบแห้งหลายชนิด เช่น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (microwave drying) (Chen et al., 2014), การอบแห้งด้วยลมร้อน (hot-air drying) (Luangmalawat et al., 2008), การอบแห้งแบบชั้นลอยด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugal fluidized bed drying) (Carlson et al., 1976; Jayaraman et al.,1980), เครื่องอบแห้งถาด (tray dryer) (Prasert & Suwannaporn, 2009), เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน (drum dryer) (Roberts, 1952b) และการอบแห้งด้วยการแช่แข็ง (freeze drying) (Smith et al., 1985; Rewthong et al., 2011; Chen et al., 2014) เครื่องอบแห้งแบบชั้นลอยแรงเหวี่ยง (centrifugal fluidized bed dryer) เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

ความเร็วของกระแสลมที่สูงในเครื่องอบแห้งชนิดนี้มีผลต่อความเหนียวของตัวอย่างข้าว เนื่องจากไม่อนุญาตให้เมล็ดข้าวสองเมล็ดติดกัน (Yu et al., 2017) และ Rewthong et al., (2011) พบว่า โครงสร้างจุลภาค (microstructure) ของข้าวสำเร็จรูปหลังการอบแห้งและการดูดซึมน้ำกลับมีลักษณะคล้ายคลึงกับข้าวสุกสดใหม่ แต่เนื้อสัมผัสของข้าวสำเร็จรูปจะเรียบเนียนกว่าเมื่อเทียบกับข้าวขัดสีสุกใหม่ ซึ่งอาจเกิดจากการละลายของแป้งในกระบวนการดูดซึมน้ำกลับหรือการล้างในระหว่างการผลิต (Rewthong et al., 2011) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในระหว่างการอบแห้งและการลดความดัน อาจทำให้ข้าวสำเร็จรูปมีความแข็งมากขึ้น (Prasert & Suwannaporn, 2009) ที่ความชื้นสูงพบการเกิดชั้นแข็งบาง ๆ (thinner case hardening) ความแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของข้าว (Prasert & Suwannaporn, 2009) มีการสังเกตการเพิ่มขึ้นของความเหนียว (chewiness) ที่ความดันคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้ง (Prasert & Suwannaporn, 2009) การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำช่วยให้เมล็ดแป้งมีการเรียงตัวใหม่ (re-orientation) การรวมกลุ่ม (aggregation) และการหลอมรวม (fusing) ของเมล็ดแป้ง ส่งผลให้เนื้อสัมผัสดีขึ้นและลดการย่อยแป้ง (starch digestibility) (Hsu et al., 2015) การศึกษาที่คล้ายกันในกระบวนการอบแห้งอุณหภูมิต่ำเพื่อผลิตข้าวสำเร็จรูปพบว่า ข้าวสำเร็จรูปแช่แข็งแห้ง (freeze-dried instant rice) มีความเหนียวน้อยกว่าข้าวที่ปรุงแบบปกติ แต่มีการสูญเสียสารอาหารอย่างมีนัยสำคัญ (Rizk & Doss, 1995) นอกจากนี้ยังพบการแข็งตัวและหดตัวของเจลแป้งและโปรตีน (coagulation and

shrinkage of starch gel and protein) ซึ่งกระบวนการแข็งตัวจะปล่อยน้ำอิสระเข้าสู่ช่องว่างที่เกิดจากการแข็งตัวและหดตัว และน้ำที่ปล่อยออกมาจะเคลื่อนที่และขยายขนาดของแกนผลึกน้ำแข็ง (ice crystal nuclei) ในกระบวนการแช่แข็ง น้ำจะถูกปล่อยออกจากเจลเหล่านี้ ขณะที่โครงสร้างโปรตีนบางส่วนถูกทำลาย (partially denatured) ส่งผลให้เมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดมีแนวโน้มที่จะติดกันน้อยลง ในทางกลับกัน รูปลักษณ์ของข้าวแช่แข็งแห้งนั้นเหมือนกับข้าวที่ปรุงแบบปกติ (Rizk & Doss, 1995)

2.10.5 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

การศึกษารูปแบบโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์อาหารมักใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscopy - SEM) ซึ่งช่วยให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในระหว่างกระบวนการต่าง ๆ การผลิตข้าวสำเร็จรูป (instant rice) มีการใช้การบำบัดหลายรูปแบบ เช่น การแช่น้ำร้อนก่อน (parboiling) การหุงล่วงหน้าโดยใช้หม้อต้มแรงดัน (pressure cooking) การอัดรีด (extrusion cooking) และการแช่แข็งแห้ง (freeze-drying) ซึ่งทั้งหมดนี้ส่งผลอย่างชัดเจนต่อโครงสร้างจุลภาคของเมล็ดข้าว มีนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษารูปแบบโครงสร้างจุลภาคของข้าวสำเร็จรูป (Huang et al., 2014; Nachaisin et al., 2015; Ritudomphol & Luangsakul, 2019; Yadav et al., 2021) จากการศึกษาของ Ritudomphol & Luangsakul (2019) พบว่าการหุงข้าวที่อุณหภูมิ 82°C โดยใช้อัตราส่วนน้ำ 1.9 เท่าของน้ำหนักข้าว ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคของเมล็ดข้าว อย่างไรก็ตาม การหุงที่อุณหภูมิสูงขึ้น (86 ถึง 90°C) ทำให้น้ำในเมล็ดข้าวระเหยเพิ่มขึ้น เกิดเป็นโพรงและรอยแตกภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ การหุงนานขึ้นโดยใช้อัตราส่วนน้ำน้อยกว่าจะทำให้เกิดโพรงมากขึ้น และขอบเมล็ดข้าวจะมีความหนาแน่นลดลง การเกิดโพรงและรอยแตกเหล่านี้ช่วยให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ง่ายขึ้นในระหว่างการหุง จึงลดเวลาในการหุงและเพิ่มอัตราการดูดซึมน้ำกลับ (rehydration ratio) (Yadav et al., 2021)

การสังเกตในลักษณะเดียวกันนี้ยังพบโดย Nachaisin et al. (2015) ในข้าวกล้องงอกสดใหม่และข้าวสำเร็จรูปงอกที่ได้รับการแผ่รังสีอินฟราเรดความเข้มสูง ที่ความเข้มอินฟราเรดสูง ขนาดของโพรงภายในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้นมากกว่าความเข้มต่ำ เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่านผิวเมล็ดข้าวและทำให้น้ำในเมล็ดร้อนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำระเหยเร็วขึ้นและเกิดโพรงภายในจำนวนมาก การเกิดรอยแตกและโพรงในเมล็ดข้าวช่วยเพิ่มการเข้าถึงของเอนไซม์ ส่งผลให้ความเร็วในการย่อยแป้งเพิ่มขึ้น (Ritudomphol & Luangsakul, 2019) โครงสร้างจุลภาคของข้าวสำเร็จรูปมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น เนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัส (Huang et al., 2014) สารเติมแต่ง เช่น เหล็ก กรดโฟลิก สารเพิ่มความคงตัว (emulsifiers) และสารเพิ่มความหนืด (thickeners) ก็ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของข้าวสำเร็จรูปเช่นกัน (Huang et al., 2014; Yadav et al., 2021) ข้าวสำเร็จรูปที่ไม่มีสารเติมแต่งจะแสดงอาการแข็งที่ผิวเมล็ด (case hardening) และมีความเหนียวต่ำ ขณะที่ข้าวสำเร็จรูปที่มีสารเติมแต่งจะมีการตกผลึกและการย้อนกลับของแป้ง

(recrystallisation และ retrogradation) น้อยกว่า ซึ่งสารเติมแต่งที่เหมาะสมจะช่วยพัฒนาเนื้อสัมผัสและสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic properties) ของข้าวสำเร็จรูป (Huang et al., 2014)

สำหรับข้าวสุกสดใหม่ เมล็ดแป้งจะขยายตัวและสลายตัวเนื่องจากการดูดซึมน้ำและการเจลาตินไนเซชันของแป้ง แคลัสเตอร์ของแป้งจะเปลี่ยนเป็นบริเวณที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน (heterogeneous amorphous region) ในลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ (Huang et al., 2014) Huang et al. (2014) รายงานเพิ่มเติมว่า โครงสร้างจุลภาคของข้าวสุกสดใหม่มีลักษณะเหมือนโครงสร้างพรุน ส่งผลให้มีเนื้อสัมผัสนุ่มและสมบัติวิสโคอีลาสติกดี การแช่แข็งข้าวสำเร็จรูปก็มีผลอย่างมากต่อโครงสร้างจุลภาคเช่นกัน โดยทำให้เมล็ดแป้งหดตัวและแตกออกเป็นชิ้นผลึกที่มีรูปทรงมุมชัดเจน แน่นและต่อเนื่อง รวมทั้งโครงสร้างมีความหนาแน่นมากขึ้นและฟูน้อยลง Prasert & Suwannaporn (2009) ศึกษาผลของความชื้น ความดัน และอุณหภูมิการอบแห้งต่อโครงสร้างจุลภาคของข้าวสำเร็จรูป พบว่า ที่ความชื้นสูงขึ้น จะเกิดการแข็งตัวของผิวเมล็ดบางลง (case hardening thinner) และโพรงภายในใหญ่ขึ้น โพรงในข้าวสำเร็จรูปช่วยให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดได้เร็วและการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการหุงและการดูดซึมน้ำกลับดีขึ้น ส่งผลให้ลดเวลาในการหุงและได้เนื้อสัมผัสที่นุ่ม เมล็ดข้าวสำเร็จรูปมีโครงสร้างกลวงและมีการแข็งตัวที่ผิวเมล็ด เนื่องจากน้ำแพร่กระจายในเมล็ดข้าวในระหว่างขั้นตอนแช่ ทำให้เมล็ดแป้งบวมตัวและขนาดเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นตามมา รวมถึงขนาดรอยแตกที่เพิ่มขึ้น (Yadav et al., 2021) การเพิ่มความดันและอุณหภูมิพร้อมกันจะทำให้เกิดโพรงกลางเมล็ดขนาดใหญ่ขึ้น โดยการขยายตัวนี้เกิดจากการระเหยของน้ำภายในเมล็ดแป้ง ในขั้นตอนการอบแห้ง น้ำจะระเหยจากผิวเมล็ดเร็วกว่าในเนื้อภายใน ทำให้ผิวของเมล็ดข้าวสำเร็จรูปแข็งกว่าเนื้อในระหว่างการอบแห้ง เกิดเป็นการแข็งตัวที่ผิวเมล็ด (case hardening) ซึ่งกั้นการแพร่ของไอน้ำระหว่างการอบแห้ง ส่งผลให้เมล็ดข้าวฟูตัวและมีโครงสร้างกลวงตรงกลาง ทำให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดได้ง่าย (Yadav et al., 2021) Yadav et al. (2021) ยังรายงานการสังเกตการณ์เดียวกันนี้ในข้าวสำเร็จรูปที่ผ่านการอัดรีด พบว่ามีรอยแตกและโพรงหลายแห่งในเมล็ดข้าวอัดรีด ขณะที่ข้าวดิบไม่มีรอยแตกดังกล่าว ซึ่งรอยแตกเกิดจากการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วในกระบวนการอัดรีด โดยน้ำที่ระเหยเร็วในเมือกวิสโคอีลาสติกร้อนที่ปลายเครื่องอัดรีดทำให้เกิดฟองอากาศซึ่งขยายตัวและแตกออก สร้างโพรงจำนวนมากในเมล็ดข้าว (Yadav et al., 2022)

2.10.6 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากความร้อน (Thermal Properties)

สมบัติทางความร้อนของอาหารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและอุณหภูมิในการแปรรูป สมบัติทางความร้อนของข้าวสำเร็จรูปเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในโครงข่ายแป้ง เช่น สถานะทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงของผลึกในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูป (Dalbhagat et al., 2019) สมบัติทางความร้อนของข้าวสำเร็จรูปมักวัดจากค่าเอนทัลปี (ΔH) ของกระบวนการเจลาตินไนเซชัน (gelatinization) และการย้อนกลับของแป้ง (retrogradation) (Huang et al., 2014)

ค่า ΔH เป็นตัวบ่งชี้ความคงตัวของโครงข่ายแป้งภายใต้สภาวะความร้อน (Yadav et al., 2022) โดยค่าสูงของ ΔH บ่งชี้ถึงการเกิดพันธะระหว่างแป้ง โปรตีน และไขมัน เจลาตินไนเซชัน คือกระบวนการที่แป้งดูดซึมน้ำและพองตัวเมื่อได้รับความร้อนมากเกินพอดี ส่วน การย้อนกลับของแป้ง (retrogradation) คือการเรียงตัวใหม่ของสายโซ่แป้งอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในแป้งที่สุกและเจลาตินไนซ์แล้วเมื่อเย็นตัวลง (Herawat et al., 2014)

กระบวนการเจลาตินไนเซชันเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่เริ่มตั้งแต่ อุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) ผ่านอุณหภูมิสูงสุด (Tp) จนถึง อุณหภูมิสิ้นสุด (Tc) โดย Tp เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของผลึกแป้ง ซึ่งสัมพันธ์กับโครงสร้างเกลียวคู่ของแป้ง ส่วน T_0 ชี้วัดความสมบูรณ์ของผลึกแป้ง โดยผลึกที่สมบูรณ์สูงจะมีค่า T_0 สูง (Yadav et al., 2022) การวัดสมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์อาหารมักใช้เทคนิค differential scanning calorimetry (DSC) งานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของข้าวสำเร็จรูปยังมีน้อย โดย Huang et al. (2014) และ Herawat et al. (2014) ศึกษาลักษณะการเจลาตินไนเซชันและการย้อนกลับของแป้งในข้าวสุกสดใหม่และข้าวสำเร็จรูปที่มีและไม่มีสารเติมแต่ง พบว่าทั้งสามกรณีมีจุดสูงสุดของการดูดซึมความร้อน (endothermic peak) ที่อุณหภูมิประมาณ 100°C ซึ่งสะท้อนการเปลี่ยนเฟสของสารประกอบอะไมโลส-ไขมันรูปแบบ V (V-amylose-lipid complexes) ที่ 100°C แสดงว่ามีการย้อนกลับของแป้งในระยะสั้นเท่านั้น ตามรายงานของ Yu et al. (2009) ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีการย้อนกลับของแป้งที่เร็วขึ้นและมีค่าเอนทัลปีของการย้อนกลับ (ΔHr) สูงกว่าการเติมสารประกอบอื่น เช่น สารเพิ่มความคงตัว (emulsifiers) สามารถลดการตกผลึกของอะไมโลสและชะลอการย้อนกลับของแป้งเจลาตินไนซ์ในระยะสั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาของ Huang et al. (2014) ค่า ΔHr ของข้าวสุกสดใหม่ต่ำกว่าข้าวสำเร็จรูปที่ไม่มีสารเติมแต่งอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ สารเติมแต่งที่เหมาะสมสามารถช่วยลดการตกผลึกของอะไมโลสและชะลอการย้อนกลับของแป้งเจลาตินไนซ์ในระยะสั้นได้ (Rahman & Al-Saidi, 2010)

2.10.7 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction: XRD)

การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction หรือ XRD) เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive technique) ซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะผลึก (crystalline nature), องค์ประกอบ (compositions) และสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเทคนิคนี้อาศัยหลักการรบกวนเชิงสร้างสรรค์ (constructive interference) ของรังสีเอกซ์ชนิดโมโนโครเมติก (monochromatic X-rays) กับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผลึก (crystalline sample) การศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ด้วย XRD ของข้าวสำเร็จรูป (instant rice) ได้รับการรายงานโดย Prasert & Suwannaporn (2009), Wahengbam et al. (2019) และ Yadav et al. (2021) โดย Prasert & Suwannaporn (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขกระบวนการผลิตต่อ

การก่อตัวของสารประกอบอะไมโลส-ไขมันผลึก (crystalline amylose–lipid complexes) รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction patterns) ของข้าวดิบ (raw rice) แสดงลักษณะผลึกแบบ A-type ซึ่งไม่ปรากฏในกรณีของข้าวสำเร็จรูป โดยข้าวสำเร็จรูปจะแสดงรูปแบบผลึกแบบ V-type การสังเกตนี้ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปทำลายโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง (starch granules) ผลการศึกษาของ Prasert & Suwannaporn (2009) สอดคล้องกับรายงานของ Yadav et al. (2021) สำหรับข้าวสำเร็จรูปชนิดดัชนีน้ำตาลต่ำ (low glycemic instant rice) ที่ผลิตโดยเทคโนโลยีการอัดรีด (extrusion technology) และ Wahengbam et al. (2019) สำหรับข้าวพาร์บอยล์หุงเร็วที่เสริมกรดโฟลิก (folic acid-fortified quick-cooking parboiled rice)

รูปแบบผลึกแบบ V-type ที่พบโดยทั่วไปบ่งชี้ถึงการก่อตัวของสารประกอบอะไมโลส-ไขมันในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน (heat-treatments) (Prasert & Suwannaporn, 2009) Yadav et al. (2021) รายงานว่า ความสัมพันธ์ของผลึกสัมพัทธ์ (relative crystallinity) ของข้าวขัดสีดิบที่คำนวณจากกราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractogram) อยู่ที่ประมาณ 31.70% ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ของผลึกของข้าวดิบในงานวิจัยก่อนหน้า (31.30% และ 31.63%) (Zhang et al., 2014; Bian & Chung, 2016) อย่างไรก็ตาม ข้าวสำเร็จรูปชนิดดัชนีน้ำตาลต่ำมีความสัมพันธ์ของผลึกสัมพัทธ์ต่ำกว่า คือ 20.12% เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ การก่อตัวของสารประกอบอะไมโลส-ไขมันเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ความสัมพันธ์ของผลึกลดลงในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอัดรีด (extruded product) (Kadan & Pepperman, 2002; Wahengbam et al., 2019) Yang et al. (2020) ยังรายงานว่าข้าวอัดรีดมีความสัมพันธ์ของผลึกสัมพัทธ์ต่ำกว่าข้าวธรรมชาติอีกด้วย เนื่องจากแป้ง (starch) มีความสามารถในการจับกับไขมัน (lipid) จำกัดก่อนกระบวนการเจลาตินไนเซชัน (gelatinization) เพราะไขมันส่วนใหญ่ไม่สามารถสัมผัสกับแป้งได้ (Prasert & Suwannaporn, 2009) หลังจากเจลาตินไนเซชัน รูปแบบผลึกแบบ V-type จะปรากฏขึ้นเนื่องจากการก่อตัวของสารประกอบเพิ่มเติมในระหว่างการให้ความร้อน หรือการเพิ่มขนาดของบริเวณผลึก (Yang et al., 2020) รูปแบบผลึกแบบ V-type จะมีความชัดเจนที่สุดเมื่อใช้ความดันสูงสุดในกระบวนการปรุงสุก (Prasert & Suwannaporn, 2009) ความแตกต่างของความสัมพันธ์ของผลึกระหว่างข้าวที่ไม่ได้เสริมสารอาหารกับข้าวที่เสริมกรดโฟลิกไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ขนาดของผลึก (crystallite sizes) มีความแตกต่างเล็กน้อย (Wahengbam et al., 2019)

Wahengbam et al. (2019) ได้อธิบายว่า ความแตกต่างเล็กน้อยนี้เกิดจากกระบวนการเจลาตินไนเซชันและการย้อนกลับของแป้ง (retrogradation) โดยความเข้มข้นของกรดโฟลิกในน้ำแช่ข้าวมีผลต่ออัตราการดูดซึมน้ำ ขณะที่ความเข้มข้นของกรดโฟลิกบริเวณผิวเมล็ดข้าวส่งผลต่อกระบวนการเย็นตัวและการคายน้ำ ซึ่งมีผลต่อกระบวนการย้อนกลับของแป้ง

2.10.8 การวิเคราะห์ด้วย FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

การวิเคราะห์ด้วย FTIR หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า FTIR Spectroscopy เป็นเทคนิคสำหรับการระบุส่วนประกอบอินทรีย์ (organic) โพลิเมอร์ (polymeric) และในบางกรณีส่วนประกอบอนินทรีย์ (inorganic) ภายในผลิตภัณฑ์อาหาร เทคนิคการวิเคราะห์ FTIR ใช้การสแกนตัวอย่างทดสอบด้วยรังสีอินฟราเรด (infrared light) เพื่อสังเกตคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่าง ในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ FTIR ของข้าวสำเร็จรูป (instant rice) จำนวนจำกัด จึงยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้จากนักวิจัย Yadav et al. (2021) ได้ทำการวิเคราะห์ FTIR กับข้าวสำเร็จรูปชนิดดัชนีน้ำตาลต่ำ (low glycemic instant rice) เพื่อศึกษาผลของกระบวนการอัดรีด (extrusion) ต่อพันธะเคมี (chemical bonds) และผลึกของแป้ง (starch crystallinity) ข้าวสำเร็จรูปแสดงลักษณะกราฟ FTIR ที่คล้ายกับข้าวขัดสีดิบ (milled raw rice) ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการอัดรีดไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างโพลิเมอร์ (polymeric chains) และพันธะเคมีต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม พบความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative intensity) ในสเปกตรัม FTIR ต่ำกว่าในบางตำแหน่งของจำนวนคลื่น (wavenumber) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวดิบและข้าวสำเร็จรูปมีความแตกต่างกันในด้านผลึกของแป้ง แถบการดูดกลืนแสง (absorbance bands) ที่ตำแหน่ง 1,047 และ 1,022 เซนติเมตรยกกำลัง -1 (cm^{-1}) ในสเปกตรัม FTIR เกี่ยวข้องกับบริเวณผลึก (crystalline region) และบริเวณไม่มีรูปแบบผลึก (amorphous region) ตามลำดับ ดังนั้น อัตราส่วนความเข้มข้นที่ตำแหน่ง 1,047 และ 1,022 cm^{-1} จึงถูกใช้ในการวิเคราะห์บริเวณผลึกของแป้ง (Yang & Tao, 2008)

สำหรับข้าวดิบและข้าวสำเร็จรูป อัตราส่วนนี้พบว่าเท่ากับ 0.894 และ 0.911 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าข้าวสำเร็จรูปมีบริเวณผลึกมากกว่าข้าวขัดสีดิบ อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์นี้ขัดแย้งกับผลการวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ผลการศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนโดย Yang et al. (2020) ที่พบว่าข้าวดิบที่หัก (raw, broken rice) มีความสัมพันธ์ของผลึกสัมพัทธ์สูงกว่า (28.84%) เมื่อเทียบกับข้าวอัดรีด (extruded rice) ที่มีค่าประมาณ 9.01% อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ FTIR แสดงให้อัตราส่วนความเข้มข้นที่ตำแหน่ง 1,047 และ 1,022 cm^{-1} สำหรับข้าวหักและข้าวอัดรีดเท่ากับ 0.896 และ 0.910 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าข้าวอัดรีดมีบริเวณผลึกในโครงสร้างมากกว่า Wahengbam et al. (2019) ศึกษาผลกระทบของกระบวนการบำบัดด้วยความร้อนในน้ำ (hydrothermal treatment) และการเสริมกรดโฟลิก (folic acid fortification) ในข้าวพาร์บอยล์หุงเร็ว (quick-cooking parboiled rice) ต่อโครงสร้างของข้าวขัดสีดิบและข้าวพาร์บอยล์ พบว่ามีการยืดพันธะ (significant stretching) ของพันธะ O–H, C–H–H และ C=O อย่างชัดเจน ซึ่งสังเกตได้จากจุดสูงกว้างในสเปกตรัม FTIR ของข้าวที่เสริมกรดโฟลิกหลังผ่านการบำบัดด้วยความร้อน

นอกจากนี้ ยังพบการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นในความถี่ของแถบการดูดกลืนแสง (absorption band) ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแถบการดูดกลืนแสง (band shifting) โดยการ

เปลี่ยนแปลงนี้เด่นชัดมากขึ้นในข้าวที่ไม่ได้เสริมสารอาหารเมื่อเทียบกับข้าวที่เสริมกรดโฟลิก หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน

2.10.9 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Attributes)

การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (Sensory analysis) คือการประเมินคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้ประสาทสัมผัสทั้งหมดของมนุษย์เข้ามามีส่วนร่วมในการประเมิน คุณภาพการยอมรับของผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มผู้บริโภคขึ้นอยู่กับคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นสำคัญ เช่น ลักษณะภายนอก (appearance), กลิ่น (flavour), สี (colour), รสชาติ (taste), ความรู้สึกในปาก (mouth feel) และความพึงพอใจโดยรวม (overall acceptability) คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวสำเร็จรูป (instant rice) มีความสัมพันธ์และได้รับอิทธิพลจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตอย่างมาก Nachaisin et al. (2015) ศึกษาผลของความเข้มของรังสีอินฟราเรด (infrared intensity drying) ที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้มาตรวัดเฮโดนิก (hedonic scale) สำหรับการประเมินหลังจากนำข้าวกลับคืนความชื้น (rehydration) รายงานผลพบว่าความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของข้าวสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดความเข้ม 1–2 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (kW/m^2) มีความใกล้เคียงกับข้าวกล้องขัดสี (milled brown rice) โดยความพึงพอใจโดยรวมของทั้งสองผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงระหว่าง “ไม่ชอบไม่เกลียด” (neither like nor dislike) และ “ชอบเล็กน้อย” (like slightly)

อย่างไรก็ตาม คะแนนของกลิ่น (odour) และเนื้อสัมผัส (texture) พบว่าต่ำกว่าสำหรับข้าว (ทั้งข้าวสำเร็จรูปและข้าวกล้องขัดสี) ที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ความเข้มสูงกว่า โดย Nachaisin et al. (2015) ให้เหตุผลว่าคะแนนกลิ่นต่ำเกิดจากการลดลงของสารประกอบกลิ่นหอม (aromatic compounds) ในกระบวนการให้ความร้อน คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวสำเร็จรูปที่ผลิตจากพันธุ์ข้าวต่าง ๆ สรุปได้ในตารางที่ 2.5 โดยสีและลักษณะภายนอกของข้าวสำเร็จรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่พันธุ์บาสมาติ (Basmati) ถึงอินดรายานี (Indrayani) ข้าวบาสมาติได้คะแนนสีสูงสุด ตามด้วยข้าวพันธุ์ Hindustan Machine Tools (HMT) และอินดรายานี

กลิ่นรส (flavour) ซึ่งเป็นการรับรู้ของรสชาติและกลิ่นในรูปแบบผสมผสาน ถือเป็นคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสหลักที่ทำให้ผู้บริโภคชื่นชอบผลิตภัณฑ์อาหาร โดยข้าวสำเร็จรูปพันธุ์บาสมาติได้คะแนนกลิ่นรสสูงสุด ขณะที่ข้าวอินดรายานีและ HMT มีคะแนนกลิ่นรสต่ำที่สุด รสชาติ (taste) คือความรู้สึกที่รับรู้ได้จากลิ้น ซึ่งได้รับอิทธิพลจากเนื้อสัมผัสและกลิ่นรส ถือเป็นหนึ่งในคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับของผลิตภัณฑ์อาหาร ข้าวสำเร็จรูปพันธุ์บาสมาติและ HMT มีรสชาติดีที่สุด รองลงมาคืออินดรายานี สำหรับความรู้สึกในปาก (mouthfeel) ของข้าวสำเร็จรูปลดลงอย่างต่อเนื่องจากบาสมาติไปยังอินดรายานี โดยข้าวบาสมาติได้รับคะแนนสูงสุด ตามด้วย HMT และอินดรายานี จากบาสมาติถึงอินดรายานี ความพึงพอใจโดยรวม (overall

acceptability) ลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยข้าวบาสมาติได้รับคะแนนสูงสุด ขณะที่อินดรายานีได้รับคะแนนต่ำสุด Smith et al. (1985) ศึกษาผลของการอบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze-drying) และการอบแห้งแบบพาความร้อน (convective drying) ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวสำเร็จรูป พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญในเรื่องของสี แต่ในด้านความเหนียวแน่น (cohesiveness), กลิ่นรสผิดปกติ (off-flavour) และความสุก (doneness) ข้าวสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่แข็งแห้งมีคุณสมบัติที่ดีกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งแบบพาความร้อน

ตารางที่ 2.6 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวสำเร็จรูปจากข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ (ที่มา: Durgrao et al., 2017)

พันธุ์ข้าว	สีและลักษณะปรากฏ (Colour and Appearance)	กลิ่นรส (Flavour)	รสชาติ (Taste)	ความรู้สึกในปาก (Mouth feel)	ความพึงพอใจโดยรวม (Overall Acceptability)
บาสมาติ (Basmati)	9	8	8	9	9
HMT	8	7	8	8	8
อินดรายานี (Indrayan)	7	7	7	6	7

การเตรียมข้าวสำเร็จรูปใช้กระบวนการหลากหลายขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมล่วงหน้า (pre-cooking) เช่น การล้างและการแช่ และกระบวนการหลังการปรุงสุก (post-cooking) เช่น การแช่แข็ง การอบแห้ง และการเก็บรักษา ซึ่งแต่ละกระบวนการมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติลักษณะของข้าวสำเร็จรูป การล้างข้าวช่วยลดสารที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ฝุ่นและสารหนู การแช่ข้าวช่วยลดระยะเวลาและพลังงานในการหุง การอบแห้งข้าวทำให้เกิดรอยร้าวและช่องว่างในเมล็ดข้าว ซึ่งช่วยให้การแพร่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าวเร็วขึ้นและลดเวลาการหุง การเกิดรอยร้าวและช่องว่างยังช่วยเพิ่มการเข้าถึงของเอนไซม์ ทำให้การย่อยแป้งและดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ของข้าวสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น กระบวนการแช่แข็งในระหว่างการเตรียมข้าวสำเร็จรูปก่อให้เกิดการเรียงตัวใหม่ของอะไมโลส (retrogradation) ซึ่งขัดขวางการเข้าถึงของเอนไซม์และลดการย่อยแป้งและดัชนีน้ำตาลของข้าวสำเร็จรูป การแช่แข็งยังช่วยยืดอายุของข้าวสำเร็จรูป แต่ถ้าอัตราการแช่แข็งไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์

งานวิจัยในปัจจุบันมีจำกัดเกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเกิดรอยร้าวเปิด (open cracks) ที่เกิดจากกระบวนการอบแห้ง จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาขยายเพิ่มเติมในด้านนี้ งานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบันพิจารณาเพียงความเค้นที่เกิดจากความต่างความชื้น (moisture

gradient) ในการพัฒนารูปแบบ แต่ยังไม่ได้นำความแข็งแรงของเมล็ดข้าวมาเป็นปัจจัยในการเกิดความเค้น เนื่องจากความแข็งแรงของเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่ การศึกษาเพิ่มเติมจึงจำเป็นเพื่อเพิ่มพูนความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบการเกิดรอยร้าวในข้าวที่เกิดจากการแช่ ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาเทคนิคป้องกันการเกิดรอยร้าวดังกล่าว

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยจำกัดเกี่ยวกับผลของวิธีการเตรียมข้าวสำเร็จรูปต่อการเก็บรักษาอายุการเก็บ และคุณค่าทางโภชนาการ จึงควรมีการศึกษาขยายในประเด็นเหล่านี้ รวมถึงควรมีการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของความเป็นผลึก (crystallinity) และองค์ประกอบทางเคมีของแป้ง การศึกษาละเอียดเกี่ยวกับผลของวิธีการเตรียมข้าวสำเร็จรูปต่อระดับการเจลาตินไนเซชัน (gelatinization) และการเรียงตัวใหม่ของแป้ง (retrogradation) รวมถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับดังกล่าวกับลักษณะการหุงข้าว อาจทำได้โดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ ควรมีการศึกษากระบวนการอบแห้งเชิงจลนศาสตร์ (drying kinetics) ของข้าวสำเร็จรูปและความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดรอยแตกร้าวบนผิวเมล็ดข้าวสำเร็จรูปเพื่อขยายความเข้าใจในลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ข้าวเหนียวสายพันธุ์เชี้ยวงู (ตราข้าวทอง)

3.1.1.2 น้ำเปล่า

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวเหนียว

3.1.2.1 เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Valor รุ่น 1000 ผลิตจากประเทศอเมริกา

3.1.2.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ME204

3.1.2.3 เครื่องบดตัวอย่าง รุ่น RT-04A

3.1.2.4 กะละมังสแตนเลส

3.1.2.5 กระชอน

3.1.2.6 ช้อน

3.1.2.7 หวด

3.1.2.8 หม้อนึ่งข้าวเหนียว

3.1.2.9 ไม้พาย

3.1.2.10 กระติก

3.1.2.11 ผ้าขาวบาง

3.1.2.12 เตาแก๊ส

3.1.2.13 ถาดสแตนเลส

3.1.2.14 ตะแกรงเหล็ก

3.1.2.15 มุ้งไนล่อน

3.1.2.16 ตู้แช่แข็ง ยี่ห้อ EVERMED MEDICAL REFRIGERATION รุ่น BLCF440W

3.1.2.17 ตู้อบลมร้อนแบบถาด ยี่ห้อ BINDER รุ่น FED

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

3.2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นข้าวสารที่แช่น้ำที่เวลาต่างๆ ด้วยวิธี AOAC. (2002)

1) ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า ยี่ห้อ BINDER

2) โถดูดความชื้น

3.2.2.1 กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น CH30

3.2.2.2 เครื่องวัดความหนืด Rapid Visco Amylograph รุ่น RVA4500

3.2.2.3 ชุดวัดค่าความหนาแน่น (Bulk density)

1) กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

2) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ME204

3) ข้าวเหนียวอบแห้ง

3.2.2.4 การวัดคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค (cooking and eating quality of grains)

1) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ME204

2) เวอร์เนียดิจิตอล ยี่ห้อ MITUTOYO รุ่น CD-S15C

3) cylinder-wire basket

4) บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร

5) กระจกนาฬิกา

6) Hotplate ยี่ห้อ JENWAY

3.2.2.5 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอินฟราเรด (Moisture Determination Balance) รุ่น FD-620

3.2.2.6 การศึกษาการคืนรูปข้าวเหนียว

1) เตาไมโครเวฟครัวเรือน 800 วัตต์ ยี่ห้อ SHARP รุ่น R-222

2) เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Valor1000

3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

3.2.3.1 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA -XT2i)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 ศึกษาภูมิปัญญาปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับกระบวนกำรผลิตข้าวนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ ใช้ระเบียบวิจัยเชิงคุณภาพ ด้วยวิธีการเลือก แบบเจาะจง โดยใช้วิธีเก็บข้อมูลจากคณะกรรมการและสมาชิกทุกคน ของวิสาหกิจชุมชนศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนบ้านโนนรัง อำเภอ เมือง จังหวัดขอนแก่น รวมผู้ให้ข้อมูลจำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์รายเดี่ยวและการจัด ประชุมกลุ่มย่อย โดยการใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) พร้อมทั้งนำข้อมูลที่ได้มาเรียบเรียงหาความสัมพันธ์ และความเชื่อมโยง และนำเสนอข้อมูล ในลักษณะของการพรรณนา

3.3.2 การศึกษาคุณภาพของเมล็ดข้าวสาร

การตรวจสอบเพื่อคุณภาพของเมล็ดข้าวสารที่ผ่านการแช่น้ำที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

- พันธุ์ กข 6 ข้าวใหม่ นาปี อายุการเก็บ 3-6 เดือน (KD6NR)
- พันธุ์ กข 6 ข้าวเก่า นาปี อายุการเก็บ 2 ปี (KD6OR)
- พันธุ์ กข 22 ข้าวใหม่ นาปรัง อายุการเก็บ 3-6 เดือน (KD22OD)
- ข้าวขาวเชิงการค้า ตราข้าวทอง (KD6C)

3.3.1.1 ขนาดของเมล็ดข้าวเหนียวที่เป็นข้าวสาร ตัวอย่างละ 20 เมล็ด โดยวัดความกว้าง ความยาว และคำนวณหาอัตรส่วนของความยาวต่อความกว้างเมล็ดข้าวสาร ที่ผ่านการแช่น้ำ 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที หลังจากสะเด็ดบนตะแกรง 5 นาที ด้วยเวอร์เนียร์

3.3.1.2 น้ำหนักของเมล็ดข้าวเหนียวที่เป็นข้าวสาร โดยการสุ่มเมล็ดข้าวตัวอย่างละ 50 เมล็ด จำนวน 3 ซ้ำ คิดค่าเฉลี่ย แล้ว คำนวณและรายงานผลในรูปน้ำหนักต่อ 50 เมล็ด ซึ่งเป็นตัวอย่างข้าวสารผ่านการแช่น้ำ 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที หลังจากสะเด็ดบนตะแกรง 5 นาที ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

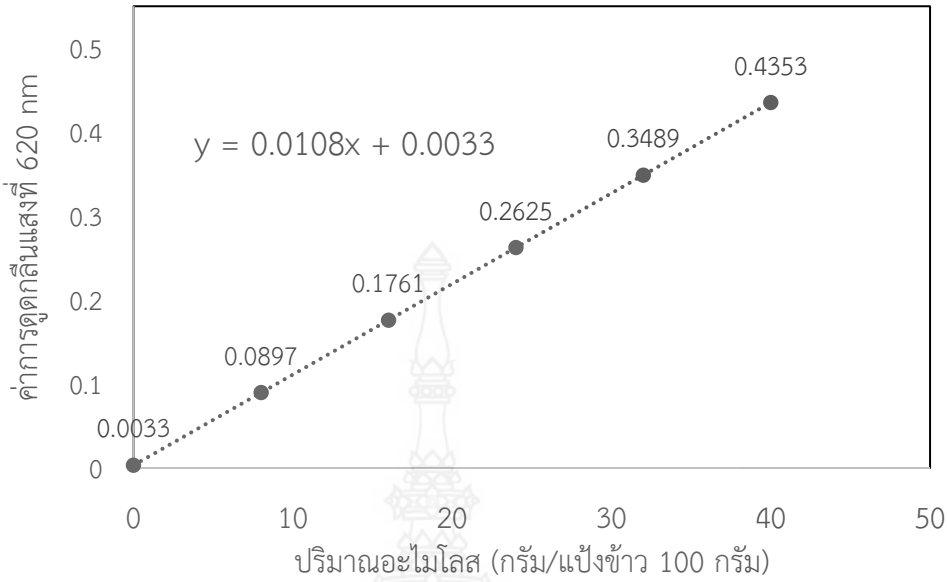
3.3.1.3 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2002) เมล็ดข้าวแต่ละตัวอย่างถูกนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรง 60 แมช จากนั้นชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนในภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิดที่ผ่านการอบจนได้น้ำหนักคงที่ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาปิดแล้วนำไปพักให้เย็นในโถดูดความชื้นอย่างน้อย 30 นาที แล้วชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ทำการนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

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

3.3.1.4 ปริมาณอะมิโลส ทำการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสโดยดัดแปลง (Juliano, 1985 และ Posoonoen and Thummavong, 2018) โดยนำข้าวมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 แมช จากนั้นนำข้าว 0.1000 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้านาน 10 นาที จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายกรดแอซีติกความ้ขมข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตตร สารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานอะไมโลส

การเตรียมกราฟมาตรฐานทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานอะมิโลส โดยชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์ 0.040 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ อย่าให้อะมิโลสเกาะผนังขวด แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล่าร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร กวนของเหลวในขวดด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้านาน 10 นาที นำแท่งแม่เหล็กแกและล้างส่วนที่ติดมากลับไปในขวดด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้าแล้ว จากนั้นปิเปตสารละลายจากการเตรียมสารละลายมาตรฐานอะมิโลสปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตกรดอะซิตริกความเข้มข้น 1 โมล่าร์ ปริมาตร 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดที่มีสารละลายมาตรฐานอะมิโลส ตามลำดับ ปิเปตสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที เมื่อครบเวลาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และเขียนกราฟระหว่างปริมาณอะมิโลส (กรัม/แป้งข้าว 100) คิดเป็นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 (แกน X) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)

รูปที่ 3.1 สารละลายอะมิโลสมาตรฐานที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน



รูปที่ 3.2 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณอะมิโลส (กรัม/แป้งข้าว 100 กรัม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

$$\text{ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ)} = \frac{\text{ความเข้มข้นสารละลายอะมิโลสมาตรฐาน (mg/100 ml) x 100}}{\text{5 x น้ำหนักแป้งแห้ง (กรัม)}}$$

3.3.1.5 การพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) เครื่อง Rapid Vico Analyser (RVA) รุ่น RVA-4D (Newport Scientific Warriewood, Austraria) ทำการเตรียมแป้งข้าวโดยบดเมล็ดข้าวและร่อนผ่านตะแกรง 60 แมช ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ในกระป๋องอลูมิเนียมสำหรับเครื่อง RVA เทน้ำกลั่น 25 กรัม ลงในกระป๋องแล้วใช้ใบพัดกวนให้เข้ากันเพื่อไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดกับใบพัด นำกระป๋องที่ใส่ใบกวนติดตั้งที่เครื่อง RVA ตั้งค่าการทำงานของเครื่องมือ โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 13 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสูงสุด 95 องศาเซลเซียส จากนั้นกวนต่ออีก 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเป็น 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 7 องศาเซลเซียสต่อนาที และกวนต่อที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

3.3.1.6 2 ลักษณะทกายภาพของเม็ดแป้ง ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง RVAโดยนำเจลแป้งมาป้ายลงบนกระจกสไลด์ให้เป็นฟิล์มบางๆ ทิ้งให้แห้ง หยดสารละลายไอโอดีน ลงบนฟิล์มแป้งแล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (LightMicroscopy) (Olympusรุ่น DP 70 ประเทศญี่ปุ่น) และถ่ายรูปที่กำาลังขยาย 200 เท่า

3.3.1.7 การเกิดเจลาติไนซ์ ด้วยวิธีที่ดัดแปรจาก Charoenrein et al. (2002) ทำการเตรียมแป้งข้าวผสมกับน้ำขจัดไอออน อัตราส่วน 1:3.5 โดยน้ำหนัก บรรจุลงในอลูมิเนียมแพน ขนาด 40 μl บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นระยะเวลา 24 ชม. จากนั้นนำมาวัดค่า onset temperature (To),

peak temperature (Tp), conclusion temperature (Tc) และ Enthapy of gelatinization (ΔH) ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential sacanning calorimeter, DSC) (DSC 3 STARRe System, METTLER TOLEDO, Switzerland) ที่ช่วงอุณหภูมิ 25-110 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนการให้ 5 องศาเซลเซียส/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

3.3.3 ศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป

3.3.1.1 ศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวที่เหมาะสม โดยนำข้าวเหนียวมาล้างทำความสะอาดและแช่ข้าวเหนียวในน้ำที่อุณหภูมิห้องในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1 : 2 ทำการแช่เป็นเวลา 30 60 90 120 และ 600 นาที และนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์หาความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทำการตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวเพื่อเลือกเวลาที่ใช้แช่ข้าวที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองต่อไป โดยมีการตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1.1) วิเคราะห์ปริมาณความชื้นข้าวสารที่แช่น้ำที่เวลาต่างๆ ด้วยวิธี AOAC. (2002)

1.2) นำข้าวที่นึ่งแล้วมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และทำการตัดเมล็ดทางขวางความหนา 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปตรวจสอบเมล็ดข้าวหลังการนึ่งด้วยกล้องจุลทรรศน์

1.3) วิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Amylograph (RVA) โดยนำข้าวที่ผ่านการแช่ที่เวลาต่างๆ มาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้วนำมาบดให้มีขนาด 100 mesh

1.4) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA -XT2i) ด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาด 35 มิลลิเมตร กดลงบนตัวอย่าง 90% ของความสูง ความเร็วก่อนการทดสอบ และระหว่างการทดสอบ 0.5 มิลลิเมตร ต่อวินาที ความเร็วหลังการทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Stickiness)

1.5 ความสามารถในการอ้มน้ำและละลายน้ำ (Water absorption index (WAI), water solubility index (WSI))

2) ศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำ และละลายน้ำตามวิธีการของกล้าณรงค์ ศรีรอตและ เกื้อกูลปิยะจอมขวัญ (2546) ซึ่งดัดแปลงจาก Schoch (1964) โดยชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัม (คิดต่อน้ำหนักแป้งแห้ง) ลงในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยง (ที่ทราบน้ำหนักหลอดเริ่มต้นแล้ว) เติมน้ำกลั่นลงในในหลอดปริมาตร 6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 174 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างมาเหวี่ยงแยกส่วนใสออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Hettich, Universal16 R, Germany) ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนใส (supernatant) ที่ได้ลงใน

จานระเหยที่ทราบน้ำหนักแล้ว และชั่งหน้ำหนักส่วนใสก่อนทำการระเหยจนแห้ง ส่วนตะกอนแป้งที่ก้นหลอดให้นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการหาความสามารถในการดูดซับน้ำ ของแป้งระเหยส่วนใสบนอ่างน้ำเดือดจนแห้งแล้วจึงนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำจานระเหยไปพักให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการ ค านวณหาส่วนที่สามารถละลายได้ดงัสูตรต่อไปนี้

$$\text{Water solubility index (WSI, \%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนใสหลังระเหยแห้ง X 100 (\%)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น}}$$

$$\text{Water absoption index (WAI,กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแป้งหลังการปั่นเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้งเริ่มต้น}}$$

3) การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางโครงสร้างผลึก(Crystallinity)

ศึกษาลักษณะทางโครงสร้างผลึกด้วย Wide Angle X-rayScattering (WAXS) ณ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน ด าเนินการที่beam line 2.2: SAXS โดยใส่ตัวอย่างแป้งปริมาณ 20 มิลลิกรัม ลงในวัสดุใส่ตัวอย่างฐานปิดด้วยฟอยล์อะลูมิเนียมทั้งสองด้านแล้วนำไปวิเคราะห์กำหนดค่าพลังงานรังสีเอกซ์ 8keV ในการวัดรังสีเอกซ์ถูกส่งผ่านในแนวนอนสู่วัสดุใส่ตัวอย่างที่วางในแนวตั้งทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (25°C) ระยะทางจากตัวอย่างถึงตัวรับสัญญาณ (imageplatedetector) เท่ากับ 300 มิลลิเมตร แปรผลการกระเจิงของรังสีเอกซ์ด้วย โปรแกรม SAXSIT 3.52

4) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อน

ศึกษาด้วยเครื่อง DifferentialScanning Colorimeter (DSC3, Mettler-Toledo, Switzerland) โดยใส่ตัวอย่างแป้งข้าว 7 มิลลิกรัม ลงในถ้วยสแตนเลส (stainlesspan) แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปในสัดส่วนน้ำหนักแป้ง : น้ำเป็น 1:4 จากนั้นปิดฝาให้สนิทบ่มที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน จึงน ามาวิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลลาติไนเซชันด้วย DSC โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จาก 5 ถึง 150 องศาเซลเซียส โดยใช้ภาชนะสแตนเลสเปล่าเป็นตัวอ้างอิงทำการ วิเคราะห์อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาติไนเซชัน (onset gelatinization temperature, To) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาติไนเซชัน (peak temperature, Tp), อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาติไนเซชัน (conclusion temperature, Tc) และช่วงอุณหภูมิที่ของการเกิดเจลลาติไนเซชัน (Tc-To) โดยใช้ โปรแกรม STAResoftware (Mettler-Toledo)

3.3.1.2 ศึกษาการแช่แข็งของข้าวเหนียวก่อนการทำแห้ง นำข้าวเหนียวไปแช่ตามเวลาที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1.1 มาให้ความร้อนด้วยไอน้ำ แล้วนำไปทำการแช่แข็งเป็นเวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที จากนั้นนำข้าวเหนียวไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนข้าวเหนียวมีความชื้น 10-14 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำข้าวเหนียวไปคืนรูป โดยใช้ข้าวเหนียว 100 กรัม น้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ในไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์หาความแตกต่างโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) นำข้าวเหนียวไปทำการตรวจสอบคุณภาพเพื่อเลือกเวลาที่เหมาะเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป โดยทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1.1) การหาค่าความหนาแน่น (Bulk density) นำตัวอย่างข้าวใส่ในกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจนเต็มถึงขีด 50 มิลลิลิตร แล้วนำข้าวที่เหลือใส่ในกระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งค่า Bulk density โดยน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์หาได้จาก

$$\text{Bulk density (กรัม / มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - (\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times \text{ปริมาณความชื้น}/100)}{100}$$

1.2) การวัดคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค (cooking and eating quality of grains) (Batcher et al., 1956)

1.2.1) ชั่งตัวอย่างข้าว 8±0.10 กรัม และวัดความสูงของข้าวที่อยู่ใน cylinder-wire basket

1.2.2) นำข้าวไปคืนรูปโดยต้มน้ำ 160 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จนเดือด นำข้าวที่ใส่ใน cylinder-wire basket จุ่มลงในบีกเกอร์แล้วยกลงจากเตาไฟ ปิดด้วยกระจกนาฬิกา เป็นเวลา 5 นาที และรินน้ำออกจากข้าวเป็นเวลา 2 นาที

1.2.3) วัดความสูงของตัวอย่างข้าวสุกที่อยู่ใน cylinder-wire basket แล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (volume expansion) และอัตราการดูดซับน้ำ (water uptake ratio)

$$\text{ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volume expansion)} = \frac{\text{ความสูงของข้าวสุก (มิลลิเมตร)}}{\text{ความสูงของข้าวสาร (มิลลิเมตร)}}$$

$$\text{อัตราการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวสุก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของข้าวสาร (กรัม)}}$$

1.3) วิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Amylograph (RVA) โดยนำข้าวเหนียวหลังการทำแห้ง นำมาบดให้มีขนาด 100 mesh

1.4) อัตราการคืนรูป (Rehydration) (Pansa-ead et al. 2014)

$$\text{คำนวณดังสมการอัตราการคืนรูป} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการคืนรูป} - \text{น้ำหนักก่อนการคืนรูป}}{\text{น้ำหนักก่อนการคืนรูป}}$$

1.5) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น รุ่น TA -XT2i) ด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาด 35 มิลลิเมตร กดลงบนตัวอย่าง 90 เปอร์เซ็นต์ของความสูง ความเร็วก่อนการทดสอบ และระหว่างการทดสอบ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหลังการทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Stickiness)

3.4 สถานที่ทำการวิจัย

เชิงปฏิบัติการ ณ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครห้องปฏิบัติการ 521 522 621 622 และ1401

3.5 ระยะเวลาทำการวิจัย

การทดลองนี้เริ่มตั้งแต่ มีนาคม 2566 – ตุลาคม 2568

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาภูมิปัญญาปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับกระบวนกำรผลิตข้าวนึ่งสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี

กลุ่มการลงพื้นที่กลุ่มเกษตรกรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม โดยมี นางจิราภรณ์ อินทะสร้อย เป็นประธานกลุ่ม จุดเริ่มต้นของกลุ่มเกิดจากความตั้งใจของชาวบ้านหลายครอบครัวในการเปลี่ยนแนวทางการปลูกข้าวจากใช้สารเคมีเป็นการทำเกษตรอินทรีย์เต็มรูปแบบ โดยเริ่มจากกลุ่มเล็กที่มีสมาชิกประมาณ 7 ครอบครัว และได้จดทะเบียนจัดตั้งเป็นวิสาหกิจชุมชนอย่างเป็นทางการภายใต้โครงการ “ข้าวอิ่ม” ซึ่งริเริ่มโดยนายกรณ์ จาติกวณิช เมื่อประมาณ 9 ปีที่ผ่านมา ชาวบ้านบ้านหนองหินได้พลิกวิกฤต ผืนดินที่เสื่อมโทรม และหนี้สิน ให้กลายเป็นความหวัง ด้วยการใช้ปุ๋ยหมักอินทรีย์แทนเคมี แม้ในปีแรกจะเจอภาวะขาดทุน แต่ภายในไม่กี่ปีถัดมา ผลผลิตและคุณภาพข้าวมีความก้าวหน้าอย่างชัดเจน จนราคาเพิ่มจากตันละ 8,000 บาท ไปเป็นถึง 20,000–25,000 บาท และหลายครัวเรือนสามารถปลดหนี้ได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ความสำเร็จของกลุ่มไม่ได้หยุดแค่การผลิตข้าวอินทรีย์เท่านั้น แต่ยังขยายสู่การแปรรูป เพิ่มมูลค่าผลผลิต และมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน เช่น รถเกี่ยวข้าว, โรงสีชุมชน, และเครื่องบรรจุสุญญากาศ เพื่อรองรับการผลิตระดับชุมชนอย่างเป็นระบบ

รูปที่ 4.1 คุณจิราภรณ์ อินทะสร้อย เป็นประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนการลงพื้นที่กลุ่มเกษตรกรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

รูปที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม (ที่มา Facebook: ข้าวอิ่ม-เกตรเข้มแข็ง)

ข้าว “อิ่ม” 1 ถุงหนึ่งขนาด 1 กก. จะประกอบด้วยข้าวปลอดสารฯ คัดพิเศษ พันธุ์พื้นเมืองจากทุ่งกุลาร้องไห้ 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมมะลิแดง และข้าวกล้องหอมนิล ผสมกันบรรจุใน ถุงสุญญากาศอย่างดีเพื่อรักษาคุณภาพของข้าวให้สดใหม่ พร้อมกับแพ็กเกจถุงหิ้วลายผ้าขาวม้า ที่เป็นสินค้า OTOP ของของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

รูปที่ 4.3 การลงพื้นที่กลุ่มเกษตรกรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

ปัจจุบัน กลุ่มขยายสมาชิกจากเริ่มต้นเพียง 7 ครัวเรือน เป็นกว่า 171 ครัวเรือน บนพื้นที่นาเกือบ 1,783 ไร่ ความมุ่งมั่นด้านคุณภาพทำให้ข้าว “ข้าวอิ่ม” ถูกยกให้เป็น **ข้าว**คุณภาพระดับที่ 3

ของประเทศ และผลผลิตได้กลายเป็นสินค้าระดับพรีเมียม มีตลาดรองรับทั้งในและนอกจังหวัด กลุ่มยังได้รับกำลังใจและการสนับสนุนจากหลายหน่วยงาน ทั้งโครงการภาครัฐและภาคเอกชน ซึ่งช่วยให้สามารถพัฒนาการผลิตและเข้าถึงเทคโนโลยียุคใหม่ได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น เช่น เครื่องบรรจุสุญญากาศและโรงสีชุมชน

รูปที่ 4.4 เครื่องบรรจุสุญญากาศและโรงสีชุมชน

ภูมิปัญญาปราชญ์ชาวบ้านกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวนึ่งสำเร็จรูปโดยใช้เทคโนโลยีเพื่อสร้างความเข้มแข็งให้วิสาหกิจชุมชนปลูกข้าวปลอดสารพิษ บ้านหนองหิน จังหวัดมหาสารคาม ข้าวถือเป็นอาหารหลักและหัวใจสำคัญของวิถีชีวิตชาวไทยมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีภูมิปัญญาการปลูกข้าวและการแปรรูปข้าวหลากหลายรูปแบบ บ้านลาดพัฒนา จังหวัดมหาสารคาม เป็นชุมชนหนึ่งที่สืบทอดภูมิปัญญาการปลูกข้าวปลอดสารพิษเพื่อสุขภาพผู้บริโภคและความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม ความโดดเด่นของชุมชนนี้อยู่ที่การรวมกลุ่มเป็น “วิสาหกิจชุมชนปลูกข้าวปลอดสารพิษ” ภายใต้การนำของนางจิราภรณ์ อินทะสร้อย ซึ่งไม่เพียงแต่รักษามรดกภูมิปัญญาชาวบ้านเท่านั้น แต่ยังมุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น “ข้าวนึ่งสำเร็จรูป” ให้สอดคล้องกับวิถีชีวิตสมัยใหม่และมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์

ภูมิปัญญาดั้งเดิมของชุมชนในการผลิตข้าวนึ่งสำเร็จรูป เริ่มจากการคัดเลือกพันธุ์ข้าว

พื้นเมือง เช่น ข้าวหอมมะลิและข้าวเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติของแป้งที่เหมาะสม เมื่อข้าวถูกนำมาแช่น้ำ สะอาดเป็นเวลาหลายชั่วโมง เมล็ดข้าวจะเกิดกระบวนการดูดซึมน้ำ (water absorption) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้โครงสร้างแป้งภายในเมล็ดพร้อมสำหรับการนึ่ง การนึ่งด้วยหม้อไม้ไผ่บนเตาฟืนก่อให้เกิดความร้อนและไอน้ำที่ทำให้แป้งในเมล็ดข้าวเข้าสู่กระบวนการ **เจลาตินีเซชัน (gelatinization)** หรือการเปลี่ยนแป้งดิบให้เป็นแป้งที่สุกและดูดซึมน้ำได้ดี กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 70–80 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้เมล็ดข้าวนุ่มและคงรูปได้ดี จากนั้นชาวบ้านจะนำข้าวที่นึ่งแล้วไปตากแดดบนเสื่อไม้ไผ่เพื่อลดความชื้นลงเหลือระดับที่สามารถเก็บรักษาได้ โดยอาศัยประสบการณ์ด้านการสังเกตและการสัมผัสเป็นตัวชี้วัด

แม้ภูมิปัญญาดั้งเดิมดังกล่าวจะทรงคุณค่า แต่เมื่อพิจารณาในเชิงวิทยาศาสตร์ก็ยังพบข้อจำกัดหลายประการ เช่น การตากกลางแจ้งที่ควบคุมไม่ได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น อันเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และเชื้อรา อีกทั้งการประเมินความชื้นด้วยประสาทสัมผัสไม่สามารถสร้างมาตรฐานคุณรูปที่สม่ำเสมอได้ เมื่อผลิตภัณฑ์ต้องเข้าสู่ตลาดที่มีการแข่งขันสูงและมีกฎเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยอาหาร จึงจำเป็นต้องมีการต่อยอดภูมิปัญญาด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ทันสมัย การพัฒนากระบวนการผลิตสามารถทำได้ตั้งแต่การแช่เมล็ดข้าวโดยใช้ถังสแตนเลสที่มีการควบคุมเวลาและอุณหภูมิ เพื่อให้การอิ่มน้ำของเมล็ดข้าวสม่ำเสมอ การนึ่งด้วยเครื่องนึ่งแรงดันไอน้ำ (steam retort) จะช่วยรักษาอุณหภูมิให้คงที่และลดความเสี่ยงการปนเปื้อน กระบวนการอบแห้งสามารถใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกหรือระบบลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลม เพื่อให้อัตราการลดความชื้นมีเสถียรภาพ ผลลัพธ์คือได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงมาตรฐาน 12–14% ซึ่งเพียงพอในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและจุลินทรีย์

ด้านบรรจุภัณฑ์ การใช้เทคโนโลยีซีลสุญญากาศและฟิล์มหลายชั้น (multi-layer packaging) สามารถป้องกันความชื้นและออกซิเจนจากภายนอก ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ขณะเดียวกันการตรวจสอบคุณภาพด้วยเครื่องวัดความชื้น เครื่องตรวจค่ากิจกรรมน้ำ (water activity, aw) รวมถึงการตรวจสอบทางจุลชีววิทยา เช่น การหาการปนเปื้อนของ *E. coli* และ *Salmonella* เป็นแนวทางสำคัญในการรับรองมาตรฐานด้านความปลอดภัยอาหาร

การผสมผสานระหว่างภูมิปัญญาปราชญ์ชาวบ้านกับเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ไม่เพียงทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งสำเร็จรูปจากบ้านหนองหินมีคุณภาพและมาตรฐาน แต่ยังช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มและขยายตลาดได้กว้างขึ้น การรวมกลุ่มในลักษณะวิสาหกิจชุมชนยังส่งผลต่อความเข้มแข็งในระดับสังคม เกษตรกรสามารถแลกเปลี่ยนความรู้ ลดต้นทุนการผลิต และถ่ายทอดทักษะทั้งภูมิปัญญาดั้งเดิมและความรู้ทางวิทยาศาสตร์แก่คนรุ่นใหม่

ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นตัวอย่างสำคัญของการประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์เพื่อสังคม โดยไม่ทำลายภูมิปัญญา แต่ช่วยยกระดับภูมิปัญญาให้สามารถแข่งขันในตลาดสมัยใหม่ได้ ข้าวนึ่งสำเร็จรูปจากบ้านหนองหิน จังหวัดมหาสารคาม จึงเป็นทั้งอาหารที่สะท้อนเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรม และเป็นสัญลักษณ์ของการสร้างความเข้มแข็งของชุมชนผ่านการผสานภูมิปัญญากับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างลงตัว

ในปัจจุบันพบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามยังประสบปัญหาในด้านต่างๆ เช่น ปัญหาการขาดแคลน แหล่งน้ำใช้ทางการเกษตร

ทำให้มีปริมาณผลผลิตข้าวไม่เพียงพอ ปัญหาการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร ปัญหาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ยังไม่มีความโดดเด่น เป็นเอกลักษณ์ของกลุ่ม และปัญหาการตลาด (Mueang Khonkaen District Agricultural Office, 2020) ส่งผลต่อการพัฒนาหรือดำเนิน กิจการไม่เป็นไป อย่างต่อเนื่องและยังไม่สามารถพึ่งพาตนเองได้ ซึ่งแนวทางการพัฒนาให้มีความเข้มแข็งและอยู่รอดได้อย่างยั่งยืนนั้น วิสาหกิจชุมชนต้องมีการบริหารและการจัดการกลุ่มด้วยการ ดำเนินการตามแผนอย่างมีระบบ อีกทั้งกลุ่มต้องมีความพร้อมในการ ปรับตัวและพัฒนาศักยภาพในทุกด้านอยู่เสมอ รวมทั้งการตระหนักถึง การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ถือเป็นการสร้างความได้เปรียบด้านการค้าให้แก่วิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Promotion Division, 2021)

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาแนวทางการส่งเสริมและพัฒนา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม โดยทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจของสมาชิก วิสาหกิจชุมชน สภาพการผลิตและการแปรรูป และแนวทางการส่งเสริมและพัฒนากลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ตลอดจนศึกษาสภาพปัญหาและข้อเสนอแนะ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาศักยภาพการผลิตของวิสาหกิจชุมชน ให้สามารถยกระดับการพัฒนาขึ้นตามลำดับสู่ความเป็นองค์กร เกษตรกรต้นแบบ (Smart Group) และยกระดับขีดความสามารถ ในการแข่งขันเชิงการค้าเชื่อมโยงสู่การพัฒนาสินค้าทางการเกษตรทมี คุณภาพได้มาตรฐานตรงกับความต้องการของตลาด (Smart Product) ต่อไป

จากสภาพบริบททางสังคมและเศรษฐกิจของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ข้อมูลพื้นฐานของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม มีการกำหนดระเบียบ ข้อบังคับ และมีการกำหนดบทบาทหน้าที่ของคณะกรรมการกลุ่มอย่าง ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับ Chanthawongsri (2004) ที่ได้ศึกษา ปัจจัย ที่มีผลต่อความสำเร็จของวิสาหกิจชุมชนอำเภอกันทรวิชัย จังหวัด มหาสารคาม พบว่า บทบาทของการเป็นผู้นำและการมีส่วนร่วมของ สมาชิกในกลุ่ม เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของวิสาหกิจ ชุมชน ทั้งนี้วิสาหกิจชุมชนยังมีกิจกรรมให้ความรู้และการศึกษาดูงาน เพื่อเพิ่มความรู้และทักษะต่างๆ ให้แก่สมาชิกอย่างต่อเนื่อง มีการ ดำเนินกิจกรรมด้านการผลิตข้าวครบวงจรด้วยการนำเทคโนโลยีในการ บริหารจัดการผลิต ด้วยจุดเด่นที่หลากหลายทั้งการผลิตและการแปร รูป จึงทำให้กลุ่มได้รับการส่งเสริมจัดตั้งเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ด้าน การผลิต การตลาด การแปรรูปข้าวแบบครบวงจร

ลักษณะพื้นฐานด้านสังคมของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามพบว่า มีสมาชิกทั้งหมด 171 คนซึ่งเป็นอาสาสมัครในการตอบแบบสอบถามจำนวน 30 คน เพศหญิง ร้อยละ 56.67 เพศชาย ร้อยละ 43.33 ส่วนใหญ่อายุ 50-60 ปี อายุเฉลี่ย 57.00 ปี ระดับการศึกษาส่วนใหญ่ ร้อยละ 53.33 จบการศึกษาระดับประถมศึกษา และจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย

ลักษณะพื้นฐานด้านเศรษฐกิจของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พบว่าสมาชิกทั้งหมดทำอาชีพ ทำนาเป็นหลัก มีพื้นที่ถือครองทำการเกษตรเฉลี่ย 12.05 ไร่ รายได้ต่อ ครัวเรือนเฉลี่ย 126,666.67 บาท มีภาระหนี้สิน

เฉลี่ย 88,500.00 บาท และมีสมาชิก ร้อยละ 13.33 ที่ไม่มีภาระหนี้สิน แหล่งเงินทุนจากการ กู้ยืมของสมาชิกส่วนใหญ่ ร้อยละ 46.67 มาจากกองทุนหมู่บ้าน (ตารางที่ 1) สภาพการผลิตข้าวและการแปรรูปผลิตภัณฑ์และการตลาดผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม สภาพการผลิตข้าว พบว่า สมาชิกมีประสบการณ์ในการผลิต เมล็ดพันธุ์ข้าวเฉลี่ย 10.83 ปี มีพื้นที่ที่ใช้ผลิตเมล็ดพันธุ์เฉลี่ย 5.50 ไร่ สภาพพื้นทส่วนใหญ่ ร้อยละ 46.67 มีสภาพพื้นที่นาเป็นที่อยู่ระหว่างที่ ลุ่มและดอน ลักษณะดิน ส่วนใหญ่ ร้อยละ 40.00 มีลักษณะดินร่วน ปนทราย ทั้งนี้สมาชิกส่วนใหญ่ ร้อยละ 70.00 ใช้น้ำจากน้ำฝนและ บ่อน้ำ มีการไถกลบตอซัง ใช้วิธีการทำนาแบบนาหว่าน มีวิธีการป้องกันกำจัดศัตรูข้าวด้วยวิธีกลและใช้สารอินทรีย์ สมาชิกส่วนใหญ่ ไม่ได้ป้องกันกำจัดโรคและแมลง ร้อยละ 36.67 และมีวิธีป้องกันและ กำจัดวัชพืชด้วยการใช้วิธีกลควบคู่กับการใช้สารอินทรีย์ ทั้งนี้สมาชิกมี การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว การเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่ ร้อยละ 86.67 ทำด้วยรถเกี่ยวนวดข้าว และการเก็บรักษาส่วนใหญ่ ร้อยละ 76.67 มีทพื้นที่เก็บรักษาทถูกสุขลักษณะเพื่อรอจำหน่ายที่ถูกต้องตาม มาตรฐานข้าวอินทรีย์

ด้านการแปรรูปผลผลิตและผลิตภัณฑ์ พบว่า กลุ่มมีการจัดตั้ง ศูนย์ข้าวชุมชน เพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวคุณภาพดี ปัจจุบันนอกจากกลุ่มจะผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ดีแล้วยังแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว เช่น ข้าว ฮางงอก ผงชงดื่มจมูกข้าวฮางผสมงาดำ แป้งจมูกข้าว ไอศกรีมจากข้าว น้ำจมูกข้าว เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็น Product Champion ของกลุ่ม คือ ผลิตภัณฑ์ข้าวฮางงอก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ โดยมีการบริหารจัดการการผลิตตั้งแต่ ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ เป็นการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับข้าว (GAP) ทำให้กลุ่มได้รับ ใบรับรองมาตรฐานออร์แกนิคสหรัฐอเมริกา และได้รับคัดสรรเป็น ผลิตภัณฑ์ OTOP ระดับ 4 ดาว อีกทั้งยังได้รับรองมาตรฐานฮาลาล ด้วย ทั้งนี้กลุ่มได้มีการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ให้เข้ากับยุคสมัยตาม ความต้องการของตลาดที่มีการแข่งขันสูงอีกด้วยด้านต้นทุนในการแปรรูปผลผลิต รายได้สุทธิ พบว่า ผลิตภัณฑ์ จากการแปรรูปข้าวของกลุ่มที่มีกำไรต่อหน่วยสูงสุด ได้แก่ ผงชงดื่ม จมูกข้าวฮางผสมงาดำและแป้งจมูกข้าว คิดเป็นร้อยละ 300.00 รองลงมา ได้แก่ น้ำจมูกข้าวและไอศกรีมจากข้าว คิดเป็นร้อยละ 233.33 และ 185.71 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่มีกำไรต่อหน่วยต่ำที่สุด คือ ข้าวฮางงอก คิดเป็นร้อยละ 60.00 (ตารางที่ 4.2)

ผลิตภัณฑ์ที่ทำรายได้สูงสุด ได้แก่ ข้าวฮางงอก คิดเป็นร้อยละ 36.30 รองลงมา ได้แก่ ผงชงดื่มจมูกข้าวฮางผสมงาดำ แป้งจมูกข้าว ไอศกรีมจากข้าว และเมล็ดพันธุ์ข้าว คิดเป็นร้อยละ 27.22, 18.15, 8.03 และ 9.44 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ทำรายได้ต่ำที่สุด คือ น้ำจมูกข้าว คิดเป็นร้อยละ 0.42 ทั้งนี้รายได้ของปี 2564 มีรายได้ลดลงเมื่อ เทียบกับ ปี 2563 คิดเป็นร้อยละ 89.67 เนื่องจากเป็นผลกระทบจาก การเกิดการระบาดของไวรัส COVID-19 ทำให้ผู้บริโภคสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ ลดลง (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางสังคมและเศรษฐกิจของสมาชิกวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (คน) (N=30)	ร้อยละ (%)
1. เพศ		
ชาย	13	43.33
หญิง	17	56.67
2. อายุ		
ต่ำกว่า 50 ปี	3	10.00
50 – 60 ปี	19	63.33
มากกว่า 60 ปี	8	26.67
ค่าต่ำสุด 44.00 ปี ค่าสูงสุด 67.00 ปี ค่าเฉลี่ย 57.00 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.85		
3. ระดับการศึกษา		
ประถมศึกษา	16	53.33
มัธยมศึกษาตอนต้น	3	10.00
มัธยมศึกษาตอนปลาย	11	36.67
4. จำนวนสมาชิกในครอบครัว		
1-3 คน	5	16.67
4-6 คน	21	70.00
7-9 คน	3	10.00
มากกว่า 10 คน	1	3.33
ค่าต่ำสุด 3 คน ค่าสูงสุด 15 คน ค่าเฉลี่ย 5.00 คน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.24		
5. อาชีพ		
เกษตรกร	30	100.00
6. พื้นที่ทำการเกษตร		
น้อยกว่า 5 ไร่	5	16.67
5 - 10 ไร่	13	43.33
11 - 20 ไร่	8	26.67
มากกว่า 21 ไร่	4	13.33
ค่าต่ำสุด 2 ไร่ ค่าสูงสุด 43 ไร่ ค่าเฉลี่ย 12.05 ไร่ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.17		
7. รายได้		

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (คน) (N=30)	ร้อยละ (%)
น้อยกว่า 50,000 บาท	3	10.00
50,001 - 100,000 บาท	12	40.00
100,001 - 150,000 บาท	10	33.33
มากกว่า 150,001 บาท	5	16.67
ค่าต่ำสุด 39,000.00 บาท ค่าสูงสุด 245,000.00 บาท ค่าเฉลี่ย 126,666.67 บาท ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 56,761.04		
8. การเป็นหนี้		
ไม่มีหนี้	4	13.33
น้อยกว่า 50,000 บาท	10	33.33
50,001 - 100,000 บาท	8	26.67
100,001 - 150,000 บาท	3	10.00
มากกว่า 150,001 บาท	5	16.67
ค่าต่ำสุด 4,000.00 บาท ค่าสูงสุด 400,000.00 บาท ค่าเฉลี่ย 102,115.38 บาท ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 95,154.75		
9. แหล่งเงินทุนหรือแหล่งการกู้ยืม		
ครอบครัว	4	13.33
ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร	9	30.00
สหกรณ์การเกษตร	3	10.00
กองทุนหมู่บ้าน	14	46.67

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลต้นทุนการแปรรูปและรายได้จากผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุน (บาท/กก.)	ราคาขาย (บาท/กก.)	กำไร (บาท/กก.)	กำไร (%)
1. ข้าวฮางงอก (บาท/กก.)	50.00	80.00	30.00	60.00
2. ผงเครื่องดื่มข้าวฮางงอกผสมงาดำ (บาท/กก.)	150.00	600.00	450.00	300.00
3. ผงรำข้าว (บาท/กก.)	100.00	400.00	300.00	300.00
4. ไอศกรีมข้าว (บาท/ถัง)	700.00	2,000.00	1,300.00	185.71
5. น้ำรำข้าว (บาท/ขวด)	3.00	10.00	7.00	233.33

ตารางที่ 4.3 กำไรสุทธิของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามประจำปี 2566

ผลิตภัณฑ์	กำไรสุทธิ (บาท)	ร้อยละ
1. เมล็ดพันธุ์ข้าว 2,000 กก. (7 บาท/กก.)	14,000	8.47
2. ข้าวฮางงอก 2,000 กก. (30 บาท/กก.)	60,000	36.30
3. ผงเครื่องดื่มข้าวฮางงอกผสมงาดำ 100 กก. (450 บาท/กก.)	45,000	27.22
4. ผงรำข้าว 100 กก. (300 บาท/กก.)	30,000	18.15
5. ไอศกรีมข้าว 12 ถัง (1,300 บาท/ถัง)	15,600	9.44
6. น้ำรำข้าว 100 ขวด (7 บาท/ขวด)	700	0.42
รวม	165,300	100

ด้านเงินทุน พบว่า แหล่งที่มาของเงินทุนสำหรับใช้หมุนเวียน ในกิจการของวิสาหกิจชุมชน มีมาจาก 3 แหล่ง ได้แก่ 1) เงินทุนมา จากเงินของตนเอง 2) เงินทุนมาจากแหล่งเงินกู้ 3) เงินทุนมาจากการ ระดมทุนสมาชิก

ด้านการตลาดและช่องทางการจำหน่าย พบว่า การทำ การตลาดของวิสาหกิจชุมชนมีช่องทางการจัดจำหน่ายสินค้า ดังนี้ 1) ที่ทำการกลุ่มของวิสาหกิจชุมชน 2) งานออกร้านในงานนิทรรศการ แสดงสินค้า OTOP ที่จัดโดยหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมส่งเสริมการเกษตร กรมการพัฒนาชุมชน กระทรวงพาณิชย์ เป็นต้น 3) ร้าน Agro outlet อุทยานเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยวิทยาลัยมหาสาราคม และ 4) จำหน่ายทางออนไลน์ ได้แก่ Line : 0896773099 และ Facebook fanpage : ข้าวอิ่มเกษตรเข้มแข็ง

ด้านบทบาทและการสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีหน่วยงานภาครัฐหลายหน่วยงานเข้ามาร่วมกันบูรณาการให้ วิสาหกิจชุมชนเกิดการพัฒนา และเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนในด้านต่างๆ ได้แก่ ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น สำนักงานเกษตร อำเภอเมืองขอนแก่น สำนักงานพัฒนาที่ดินมหาสารคาม สำนักงานตรวจบัญชีสหกรณ์มหาสารตาม ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกร์การเกษตร (ธกส.) และธนาคารออมสิน ตลอดจนสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ในพื้นที่ สอดคล้องกับ Promsaka Na Sakolnakorn & Sungkharat (2013) ได้ศึกษาจากเรื่องแนว ทางการพัฒนาการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนในเขตลุ่มทะเลสาบ สงขลา ที่ว่าภาครัฐเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาวิสาหกิจชุมชน

ด้านสภาพปัญหาในการผลิตและการตลาด พบว่า ในมุมมอง ของคณะกรรมการวิสาหกิจชุมชน กลุ่มประสบปัญหา มีดังนี้

1) ปัญหา ด้านการแปรรูป คือ มาตรฐานของกระบวนการผลิต เนื่องจากสถานที่ ผลิตสินค้าแปรรูปยังไม่ตรงตามมาตรฐานในการขอรับรองมาตรฐาน อย. และมาตรฐานการผลิตขั้นต้น GMP ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบ โดยตรงต่อความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ และการเสียโอกาสทางการค้าในช่องทางการตลาดต่าง ๆ

2) ปัญหาด้านการตลาด คือ ประสบ ปัญหาการทำตลาดออนไลน์ ซึ่งยังขาดผู้ที่จะ

ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ด้วยสมาชิกส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการทำตลาด แบบออนไลน์ ส่งผลให้วิสาหกิจชุมชนเสียโอกาสในการจำหน่ายสินค้า ผ่านช่องทางออนไลน์ ทั้งนี้ Worrawasunthara (2017) ได้กล่าวถึง การวางบทบาทและการสื่อสารของสินค้าบน Social Media เป็นสิ่ง สำคัญมากในการทำการตลาดออนไลน์ เนื่องจากการสร้างภาพลักษณ์ ที่ดีผลต่อการสร้างการรับรู้และการตัดสินใจซื้อสินค้า

3) ปัญหาด้าน แหล่งทุน ที่ไม่สามารถเข้าถึงแหล่งเงินทุนของภาครัฐ และวิสาหกิจ ชุมชน ขาดความรู้และทักษะในการบริหารจัดการต่าง ๆ ภายในกลุ่ม เช่น การบัญชี การเงิน การตลาด การสร้างแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์ การเขียนแผนธุรกิจ การจัดการสินค้าและวัตถุดิบ เป็นต้น และ

4) ปัญหาด้านบรรจุภัณฑ์และตราสินค้า คือ รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ ไม่ได้รับรองมาตรฐาน ซึ่งเป็นปัญหาสืบเนื่องมาจากการขาดเครื่องจักร และโรงงานผลิตที่ยังไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้ง รูปแบบบรรจุภัณฑ์และตรา สินค้า ยังไม่เป็นที่น่าดึงดูดใจผู้บริโภค ซึ่งตรงกับ Tanisro (2010) ที่กล่าวถึงความสำคัญในการใช้วิธีการสื่อสาร ตราสินค้า เพื่อสร้าง ความคุ้นเคยและความเชื่อมั่นในตราสินค้าให้แก่ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ได้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย

แนวทางการส่งเสริมและพัฒนาวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จากการจัดเวทีประชุมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) กระบวนการวางแผนแบบมีส่วนร่วม (AIC) เพื่อให้สมาชิกวิสาหกิจ ชุมชนได้ร่วมกันแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในการวิเคราะห์การจัดการ ผลิตและการตลาดในอดีต และการจัดการผลิตและการตลาดใน ปัจจุบัน ตลอดจนความต้องการแนวทางการพัฒนาเพื่อการพึ่งพาตนเองของวิสาหกิจชุมชนศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนบ้านโนนรังในอนาคต ทำให้ได้ประเด็นของปัญหา ดังนี้

1) ปัญหาการขาดแคลน แหล่งกักเก็บน้ำเพื่อใช้ทำการเกษตร เนื่องจากภายในหมู่บ้านไม่มีแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้เป็นแหล่งน้ำ จึงส่งผลให้ขาดแคลนน้ำในช่วงฝนทิ้ง ช่วงก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตทางการเกษตร มีแนวทางการ แก้ไขปัญหาด้วยการขุดเจาะบ่อบาดาลพร้อมติดตั้งระบบพลังงาน แสงอาทิตย์

2) ปัญหาการสีข้าวที่ยังมีประสิทธิภาพต่ำและกำลังการ ผลิตของเครื่องสีข้าวที่มีอยู่ยังไม่เพียงพอ ทำให้การสีข้าวเปลือกเพื่อ นำไปขายและแปรรูปต่อไปนั้นเกิดความล่าช้า โดยแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้วยการสร้างโรงสีข้าวแบบครบวงจรตั้งแต่กระบวนการ เข้าสีข้าว จนถึงการบรรจุผลิตภัณฑ์

3) ปัญหาการแปรรูปข้าว ที่ยัง ขาดสถานที่ทำการผลิตและเครื่องมือเครื่องจักรที่ตรงตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อาหาร แนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการสร้างโรงงานแปร รูปข้าวตามมาตรฐาน GMP

4) ปัญหาไร่นาเสียหายจากภาวะแล้งขาด แคลนน้ำในพื้นที่ทำการเกษตรเกษตร และขาดแคลนแหล่งอาหาร แนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการจัดให้มีโครงการบริหารจัดการพื้นที่ ทำไร่นาสวนผสม เพื่อให้มีแหล่งอาหาร และมีรายได้ ลดรายจ่าย เพิ่มรายได้หมุนเวียนตลอดปี

5) ปัญหาด้านการตลาด สมาชิกยังขาด ความรู้ทักษะในการบริหารจัดการในการจัดจำหน่าย

แนวทางการ แก้ไขปัญหาด้วยการพัฒนาความรู้และทักษะการบริหารจัดการด้าน การตลาด

6) ปัญหาการทำเกษตรที่ยังมีการใช้สารเคมีอยู่ แนวทางการ แก้ไขปัญหาด้วยการจัดให้มีโครงการทำเกษตรอินทรีย์แบบร้อยละ 100

7) ปัญหาขาดแคลนงบประมาณในการลงทุน แนวทางการแก้ไข ปัญหาด้วยการจัดทำโครงการหาแหล่งงบประมาณสนับสนุนจาก ภายนอก

8) ปัญหาการปลูกพืชเชิงเดี่ยวมีความเสี่ยงสูง เมื่อต้อง ประสบปัญหาภัยธรรมชาติหรือศัตรูพืช ทำให้ต้องแบกรับความเสี่ยง หากผลผลิตเกิดความเสียหาย การขาดแคลนอาหารและความเสี่ยง ด้านราคาผลผลิตที่ตกต่ำ แนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการจัดให้มี โครงการปลูกผักปลอดภัย

9) ปัญหาขาดแคลนรถขนส่ง ทำให้ ไม่สะดวกในการขนส่งสินค้าและปัจจัยการผลิต ส่งผลต่อการ ดำเนินการที่ล่าช้าและการควบคุมต้นทุนการผลิตได้ยาก แนวทางการ แก้ไขปัญหาด้วยการจัดให้มีโครงการซื้อรถขนส่งเพื่อใช้ภายในกลุ่ม

10) ปัญหาบรรจุภัณฑ์ที่ยังไม่ตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหาร

โดยมีแนวทางการแก้ไขด้วยการจัดให้มีโครงการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้ตรง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหาร และมีประเด็นความต้องการ ดังนี้

1) สมาชิกมีความต้องการบ่อเลี้ยงปลา เพื่อเป็นแหล่งอาหารและเป็น แหล่งน้ำผิวดินไว้ใช้ในยามขาดแคลนน้ำ แนวทางการแก้ไขปัญหาด้วย การจัดให้มีโครงการเลี้ยงปลา

2) สมาชิกต้องการเลี้ยงโคเนื้อเพื่อเป็น แหล่งอาหารและเป็นอีกหนึ่งอาชีพที่เป็นทางเลือกในการสร้างรายได้ แนวทางการแก้ไขด้วยการจัดให้มีโครงการเลี้ยงโคเนื้อ หลังจากที่ได้ ระบุปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาแล้ว ให้สมาชิกลงคะแนน ตามที่ตนเองคิดว่ามีความจำเป็นและเร่งด่วนที่สุด (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 การจัดลำดับโครงการที่สมาชิกมีความต้องการเร่งด่วน

โครงการ	คะแนน	ลำดับ
1. โครงการขุดเจาะบ่อน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	124	1
2. โครงการโรงสีข้าวสมบูรณ์	37	4
3. โครงการสร้างโรงงานแปรรูปข้าวตามมาตรฐาน GMP	71	2
4. โครงการเกษตรผสมผสาน	51	3
5. โครงการพัฒนาความรู้ด้านการตลาด	9	9
6. โครงการเกษตรอินทรีย์ 100%	29	6
7. โครงการจัดหาแหล่งเงินทุนเพื่อสนับสนุน	30	5
8. โครงการปลูกผักปลอดภัย	0	-
9. โครงการเลี้ยงปลา	0	-
10. โครงการเลี้ยงโคเนื้อ	23	7
11. โครงการจัดหาพาหนะขนส่ง	20	8
12. โครงการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์	9	9

3) เมื่อได้โครงการที่ต้องการพัฒนาเร่งด่วน 3 โครงการแล้ว จึงทำการเขียนโครงการเพื่อเป็นแนวทางการทางการส่งเสริมและ พัฒนาวิสาหกิจชุมชนศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนบ้านโนนรัง จำแนก ได้เป็นกิจกรรมได้ 2 ด้าน จำนวน 3 โครงการ ดังนี้

1) ด้านการผลิต คือ โครงการขุดบ่อบาดาลพลังงาน แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นโครงการที่สมาชิกส่วนใหญ่ให้ความสำคัญและมี ความจำเป็นเร่งด่วนอันดับที่หนึ่ง เพื่อบรรเทาการขาดแคลนน้ำสำหรับการเกษตร ในภาวะฝนทิ้งช่วง ทำให้สมาชิก มีน้ำใช้เพื่อการเกษตรได้ ตลอดทั้งปี รวมถึงลดภาระต้นทุนด้านน้ำประปาและไฟฟ้า

2) ด้านการแปรรูปผลผลิต

2.1) โครงการสร้างโรงงานแปรรูปข้าวตามมาตรฐาน GMP เพื่อเพิ่มความสามารถด้านการผลิตและยกระดับมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ และเป็นการเพิ่มศักยภาพด้านการแข่งขันให้แก่วิสาหกิจชุมชน ผ่านกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพและการควบคุมคุณภาพสินค้า ที่ได้มาตรฐาน

2.2) โครงการโรงสีข้าวครบวงจร เพื่อให้วิสาหกิจ ชุมชนสามารถทำการสีข้าวได้อย่างมีคุณภาพ ถึงแม้ว่าจะเป็นโครงการพัฒนาที่สมาชิกลงคะแนนให้เป็นลำดับที่ 4 แต่เป็นโครงการที่เป็นแนวทางการพัฒนาของวิสาหกิจชุมชนที่เกี่ยวกับข้าว ซึ่งการเพิ่มศักยภาพ การผลิตข้าวของชุมชนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

โดยทั้ง 3 โครงการ มีแนวทางการดำเนินโครงการเพื่อให้บรรลุ วัตถุประสงค์ด้วยการกำหนดคณะกรรมการผู้รับผิดชอบโครงการของ วิสาหกิจชุมชนศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนบ้านโนนรัง ร่วมกับการ ขอรับการสนับสนุนจากภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้อง

4.2 ผลการการสัมภาษณ์ชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด จังหวัดมหาสารคาม

ข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักและมีความสำคัญต่อวิถีชีวิตของชาวอีสานมาอย่างยาวนาน นอกจากใช้บริโภคในครัวเรือนแล้ว ข้าวเหนียวยังเป็นสินค้าเกษตรที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม เกษตรกรผู้ปลูกข้าวเหนียวส่วนใหญ่ยังประสบปัญหาด้านราคาผลผลิตตกต่ำ การพึ่งพาพ่อค้าคนกลาง และขาดโอกาสในการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า ผลผลิตจึงยังจำหน่ายในรูปแบบข้าวเปลือกหรือข้าวสารเป็นหลัก การพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นแนวทางสำคัญที่สามารถเพิ่มมูลค่า ลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และเปิดโอกาสทางการตลาดใหม่ให้แก่เกษตรกร โดยงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปจากบริบทจริงของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียวในพื้นที่ ตำบลบ้านลาด จังหวัดมหาสารคาม

การวิจัยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวเหนียวในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา จำนวน 15 ราย วิธีเก็บข้อมูล ใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยมีแนวคำถามที่แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1) ข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกร
2) ระบบการดำเนินการปลูกข้าวเหนียว (Input และ Output)
3) สภาพแวดล้อมในการประกอบอาชีพ

4) แนวคิดในการพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

ทำการควบคุมข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis) โดยจัดกลุ่มประเด็นตามคำถามและตีความเชิงคุณภาพ

ผลการวิจัยพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 41–60 ปี มีอาชีพหลักคือการปลูกข้าวเหนียวและอาชีพรองคือการรับจ้างทั่วไปหรือเลี้ยงสัตว์ พื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ย 10–25 ไร่ มีระบบการดำเนินการของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว เมื่อพิจรณาปัจจัยนำเข้า (Input) พบว่าเกษตรกรมีการจัดเก็บผลผลิตบางส่วนเพื่อบริโภค ส่วนใหญ่จำหน่ายเป็นข้าวเปลือก พันธุ์ที่นิยมปลูกคือ กข 6 และเหนียวสันป่าตอง สภาพดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่วนปัจจัยผลผลิต (Output) มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 400–500 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาจำหน่ายอยู่ระหว่าง 8–15 บาท/กิโลกรัม ผู้กำหนดราคาหลักคือโรงสีและพ่อค้าคนกลาง ช่องทางการจำหน่ายคือ โรงสีและตลาดชุมชน การโปรโมตผลิตภัณฑ์ยังมีน้อย

ปัญหาของการปลูกข้าวเหนียว คือ ภัยแล้ง น้ำท่วม ต้นทุนสูง และราคาผลผลิตผันผวน สภาพแวดล้อมการประกอบอาชีพ จะเห็นว่า เกษตรกรสืบทอดอาชีพจากครอบครัว ใช้เวลา 4–5 เดือนต่อรอบการปลูก เศรษฐกิจผันผวนส่งผลให้รายได้ไม่แน่นอน ภาครัฐมีบทบาทในการสนับสนุนเมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยอินทรีย์ และการอบรม แต่ยังไม่ครอบคลุมด้านการตลาดและเทคโนโลยีแปรรูป

แนวคิดในการพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

เกษตรกรเห็นว่าข้าวเหนียวนึ่งที่ดีต้องนุ่ม เหนียว หอม แต่ปัญหาหลักคือการเก็บรักษาที่ทำได้เพียง 1–2 วัน เทคโนโลยีแปรรูปยังไม่แพร่หลาย แต่บางคนเคยเห็นเครื่องนึ่งอัตโนมัติและการบรรจุสุญญากาศ เกษตรกรส่วนใหญ่มีความสนใจเข้าร่วมการฝึกอบรม หากมีการสนับสนุน คาดว่าจะช่วยเพิ่มรายได้ ลดความเสี่ยงด้านราคาผลผลิต และสร้างตลาดใหม่ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าเกษตรกรยังคงจำหน่ายข้าวเหนียวในรูปแบบดั้งเดิม ส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดราคาเองได้ และประสบปัญหาต้นทุนสูง ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับงานของ สุกัญญา (2561) ที่กล่าวถึงข้อจำกัดด้านการตลาดของเกษตรกรรายย่อย การพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปสามารถเป็นทางเลือกใหม่ที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่า งานของ ชุติมา และคณะ (2564) พบว่าการบรรจุสุญญากาศสามารถยืดอายุข้าวเหนียวนึ่งได้ถึง 7 วันโดยไม่เสียคุณภาพ ขณะที่ Kubo et al. (2018) ระบุว่าเทคโนโลยีการทำให้เย็นเร็วช่วยรักษาความเหนียวนุ่มของข้าวได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม การเข้าถึงเทคโนโลยีและตลาดยังเป็นอุปสรรคสำคัญ จำเป็นต้องมีการสนับสนุนจากภาครัฐและเอกชนในด้านเครื่องมือ เทคโนโลยีการแปรรูป การอบรมทักษะ และการสร้างเครือข่ายการตลาดเชิงพาณิชย์

วิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ ตำบลลาดพัฒนา อำเภอเมือง จังหวดมหาสารคาม โดยบ้านลาดพัฒนามีสภาพ ภูมินิเวศน์ที่มีลักษณะเป็นที่ดอน รอบหมู่บ้านมีแหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์ในหมู่บ้าน คือ ห้วยกุดตูม หนองฮะ แก่งเลิงจาน หนองกุดโด ซึ่งมีผลต่อการดำเนินชีวิตของคนในชุมชน ที่มีจ้านวนครัวเรือนทั้งสิ้น 217 ครอบครัว จำนวนประชากร 1,033 คน อาชีพโดยส่วนใหญ่ คือ ทำนา เลี้ยงสัตว์ ปลูกผัก และค้าขาบ จุดเด่นคือมีแหล่งน้ำเพื่อท้าการเกษตร อาทิ แก่งเลิงจานอยู่ทางทิศใต้ของหมู่บ้านออก ซึงเป็นแก่งขนาดใหญ่มีพนทีถึงพันกว่าไร่ มีน้ำตลอดปีถือเป็นแหล่งน้ำหลักทีชาวบ้านหลายหมู่บ้านใน ต้าบลแก่งเลิงจานได้ใช้ประโยชน์กันอย่างมากไม่ว่าจะเป็นการท้านำประปาหมู่บ้านเพื่ออุปโภค

ในครัวเรือน การใช้ในการเกษตรของบ้านหรือแม้แต่การจับสัตว์น้ำใช้ประโยชน์จากแก่งเลิงจานนี ทั งสินชาวบ้านส่วน ใหญ่มีที่นาเป็นของตนเอง พันธุ์พืชที่ใช้ก็จะเป็น ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวจ้าวพันธุ์ กข 15 (บทสัมภาษณ์ จากนายวิมล รัตติธรรม ตัวแทนชุมชนบ้านลาดพัฒนา) มีการแปรรูปผลผลิตจากข้าวใน ฤดูกาลที่มีผลผลิตล้นตลาด ราคาข้าวตกต่ำ โดยมีการทำข้าวกล้องงอก หรือข้าวฮางงอกออกจำหน่าย สู่ตลาดในชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียงครอบครัว คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลจากการสอบถาม ผู้นำชุมชน ผู้ประสานงานวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ ตำบลลาดพัฒนา อำเภอเมือง จังหวดมหาสารคาม ผู้ประสานงานกลุ่มทำนา ตลอดจนตัวแทน ชาวบ้านลากพัฒนา พบว่าปัญหาหลักในปัจจุบันวิสาหกิจชุมชนดังกล่าว ไม่ได้รับการสนับสนุนปัจจัยหลายๆ ประเด็นเหมือนเช่นปีก่อนที่ผ่านมา อาจจะมีสาเหตุมาจากนโยบายทางการเมือง ปัญหาเศรษฐกิจที่ตกต่ำ ปัญหาราคาสินค้าราคาสินค้าเกษตร ปัญหาความยากจนของชุมชน ฯลฯ แต่ในขณะนี้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนยังมีการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องท่ามกลางปัญหาของชาวนาที่ไม่ได้รับการแก้ไขหรือมีการพัฒนาปรับปรุง

เกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่มีความพร้อมด้านแรงงานและพื้นที่เพาะปลูก แต่ยังพึ่งพาตลาดดั้งเดิมและพ่อค้าคนกลาง ปัญหาหลักที่พบในการปลูกข้าวคือ ภัยธรรมชาติ ต้นทุนสูง และราคาผลผลิตไม่แน่นอน เกษตรกรมีความสนใจในการพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป แต่ยังขาดองค์ความรู้และเทคโนโลยี และการสนับสนุนด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการสร้างตลาดใหม่เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ โดยปัญหาหลักที่เกิดจากการบริหารจัดการของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามที่ได้วิเคราะห์สถานการณ์เป็นไปตามตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 วิเคราะห์สถานการณ์ (SWOT) ของวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์บ้านลาดพัฒนา

จุดแข็ง	**จุดอ่อน**
1. ชุมชนได้รับงบประมาณในการพัฒนาศักยภาพ (SML)	1. เทคโนโลยีในการแปรรูปข้าวในชุมชนใช้งานได้ในระดับน้อยและไม่ได้มาตรฐาน
2. ชุมชนมีการรวมกลุ่มและบริหารอย่างมีส่วนร่วมของคนในชุมชน	2. ขาดองค์ความรู้ในการแปรรูปข้าวเหนียว
3.ชุมชนมีโรงสีข้าวขนาดเล็กไว้บริการสมาชิกและ เกษตรกร	3. ชุมชนขาดองค์ความรู้ด้านการตลาดและการ เชื่อมโยงธุรกิจของกลุ่มยังไม่เป็นระบบเศรษฐกิจเชิง สร้างสรรค์เพื่อบริหารจัดการข้าว
4. ผู้นำชุมชนมีความรู้ความสามารถและมีความสามารถในการบริหารจัดการกลุ่ม	4. ชุมชนขาดการสร้างมาตรฐานและตราสินค้าเพื่อสร้างความเชื่อมั่นต่อผู้บริโภค
โอกาส	**ข้อจำกัด**
1. ชุมชนสามารถลดต้นทุนการผลิตและทำนาแบบเกษตรอินทรีย์	1. คู่แข่งทางการค้าข้าวสารและข้าวเปลือกปัจจุบันมีจำนวนมากขึ้น

2. มีกลุ่มโรงสีข้าวรองรับชุมชนซึ่งเป็นอำนาจในการต่อรองราคาข้าว	2. ราคาสินค้าเป็นไปตามกลไกตลาด
3. ชุมชนมีการสร้างเครือข่าย กลไกการตลาดเพื่อการจำหน่ายข้าวที่มากขึ้น	3. ภัยธรรมชาติส่งผลกระทบต่อการทำนา

แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ในระดับ ชุมชน ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป โดยใช้ “ข้าวเหนียวธัญสิริน” ซึ่งเป็นข้าวเหนียวพันธ์ กข 6 ซึ่งอยู่ปลูกในฤดูทำนาปกติและข้าวเหนียวพันธุ์ กข 22 ที่ทนแล้งและมักปลูกในการการทำนาปรัง มาใช้ในการแปรรูปเป็นข้าวเหนียวนึ่ง โดยคณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ เพื่อเก็บข้อมูลจากการสอบถาม ผู้นำชุมชน ผู้ประสานงานวิสาหกิจชุมชนกลุ่มข้าวอินทรีย์บ้านลาดพัฒนา ผู้ประสานงานกลุ่มเกษตรกรผู้ทำนา ตลอดจนตัวแทนชาวบ้านลาดพัฒนานา

ข้อเสนอแนะที่ผู้ปลูกข้าวต้องการคือ หน่วยงานภาครัฐและเอกชนควรสนับสนุนเครื่องจักรและเทคโนโลยีการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป เช่น เครื่องนึ่งอัตโนมัติ การบรรจุสุญญากาศ และการเก็บรักษาแบบควบคุมอุณหภูมิ ในเชิงการตลาดเชิงการตลาด ควรมีการสร้างแบรนด์ การพัฒนาโลโก้ บรรจุภัณฑ์ และประชาสัมพันธ์สินค้าผ่านช่องทางออนไลน์และตลาดสุขภาพ ในเชิงวิชาการเกษตรกรควรมีการศึกษาต้นแบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในพื้นที่อื่นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ เช่น การวิจัยด้านรสชาติ คุณภาพ และอายุการเก็บรักษา และในเชิงนโยบายภาครัฐควรมีโครงการสนับสนุนต่อเนื่อง เช่น กองทุนพัฒนาอาชีพ หรือการอบรมเชิงปฏิบัติการ เพื่อสร้างความยั่งยืน

4.3 การศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

จากผลการวิจัยในรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดข้าวสารเหนียว 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียวนาปีเก่า (OR), ข้าวเหนียวนาปีใหม่ (NR), ข้าวเหนียวนาปรังเก่า (OD) และข้าวเหนียวนาปรังใหม่ (ND) จากการสังเกตด้วยตาเปล่าและภาพขยาย พบว่าเม็ดข้าวของแต่ละชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยเฉพาะในด้านความขาว ความใส และรูปร่างโดยรวม ซึ่งข้าวเหนียวนาปีเก่า (OR): มีลักษณะเม็ดข้าวค่อนข้างยาวรีและมีสีขาวทึบ ในขณะที่ข้าวเหนียวนาปีใหม่ (NR): มีลักษณะคล้ายกับข้าวนาปีเก่าแต่ดูมีความใสน้อยกว่าเล็กน้อย ส่วนข้าวเหนียวนาปรังเก่า (OD): มีลักษณะเม็ดข้าวค่อนข้างสั้นและป้อมกว่าเมื่อเทียบกับข้าวนาปี และมีสีขาวทึบ และสำหรับข้าวเหนียวนาปรังใหม่ (ND): มีลักษณะใกล้เคียงกับข้าวนาปรังเก่า แต่มีสีขาวขุ่นกว่า โดยลักษณะทางกายภาพเหล่านี้เป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ส่งผลต่อคุณภาพการหุงต้มและการแปรรูปต่อไป

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดข้าวสารที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างสามารถนำมาอภิปรายได้จากหลายปัจจัย ทั้งจากชนิดของสายพันธุ์ (variety), ฤดูกาลเพาะปลูก (harvest season) และอายุการเก็บรักษาหลังเก็บเกี่ยว (aging/storage)

1. อิทธิพลของสายพันธุ์และฤดูกาลเพาะปลูก:

ความแตกต่างของรูปร่างและขนาดของเม็ดข้าวระหว่างข้าวนาปี (OR, NR) และข้าวนาปรัง (OD, ND) ชี้ให้เห็นว่าสายพันธุ์ของข้าวมีผลต่อลักษณะทางกายภาพอย่างชัดเจน โดยข้าวนาปีมีแนวโน้มที่จะมีเม็ดข้าวยาวกว่าข้าวนาปรัง ซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกพันธุ์ข้าวเหนียวในประเทศไทย (Srinives & Lertmongkol, 2011) นอกจากนี้ สภาพแวดล้อมระหว่างการเพาะปลูก เช่น อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในแต่ละฤดูกาล (นาปี vs. นาปรัง) ยังส่งผลต่อการสะสมแป้งภายในเม็ดข้าว ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันไป (Leksawasdi & Panyakaew, 2018)

2. อิทธิพลของอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว:

การเปรียบเทียบระหว่างข้าวเก่า (OR, OD) และข้าวใหม่ (NR, ND) เผยให้เห็นว่าข้าวใหม่มักจะมีสีขาวขุ่นหรือขาวนวลกว่าข้าวเก่า ซึ่งมักจะขาวทึบและมีรอยร้าวเล็กน้อยบนผิวเม็ดเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน (Kongseree & Wongs-Aree, 2015) การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งและโปรตีนในเม็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งส่งผลต่อความพรุนและการดูดซับน้ำของเม็ดข้าวในภายหลัง (Varith & Sirisomboon, 2017) ข้าวเก่ามักจะดูดซับน้ำได้ดีกว่าและมีค่าความแข็ง (hardness) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวใหม่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเตรียมข้าวเพื่อการหุงต้ม

โดยสรุปลักษณะทางกายภาพของเม็ดข้าวเหนียวที่เห็นได้จากภาพสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างทางสายพันธุ์และอายุของข้าว ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวต่อไปในงานวิจัย

ข้าวนาปีเก่า (OR) | ข้าวนาปีใหม่ (NR) | ข้าวนาปรังเก่า (OD) | ข้าวนาปรังใหม่ (ND)

รูปที่ 4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดข้าวสารเหนียว 4 ชนิด

4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดข้าวสารและระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อขนาดของเม็ดข้าวและปริมาณอะไมโลส

ข้าวเหนียว (Glutinous rice) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารคาวหวานหลายชนิด ลักษณะเฉพาะของข้าวเหนียวคือมีปริมาณอะไมโลสต่ำและมีอะไมโลเพคตินสูง ทำให้ข้าวเหนียวมีคุณสมบัติพิเศษในการอุ้มน้ำและพองตัวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่มและมีความยืดหยุ่น การแช่ข้าวเหนียวก่อนนำไปนึ่งเป็นกรรมวิธีที่ปฏิบัติสืบทอดกันมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวให้ดีขึ้น โดยเฉพาะในด้านการทำให้เม็ดข้าวพองตัวและอ่อนนุ่ม การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ได้แก่ ข้าวเหนียวนาปีเก่า (OR), ข้าวเหนียวนาปีใหม่ (NR), ข้าวเหนียวนาปรังเก่า (OD) และข้าวเหนียวนาปรังใหม่ (ND) ที่มีต่อลักษณะ

ทางกายภาพและปริมาณอะไมโลส ซึ่งผลการทดลอง พบว่าลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวในตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ความยาวของเม็ดข้าว: ข้าวเหนียวทุกชนิดมีแนวโน้มที่ความยาวของเม็ดข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการแช่นานขึ้น โดยเฉพาะข้าวเหนียวนาปีเก่า (OR) ที่มีความยาวเพิ่มขึ้นจาก 6.65 มิลลิเมตร (ไม่แช่) เป็น 8.13 มิลลิเมตร (แช่ 60 นาที) ในขณะที่ข้าวเหนียวนาปีใหม่ (NR) ข้าวเหนียวนาปรังเก่า (OD) และข้าวเหนียวนาปรังใหม่ (ND) มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของเม็ดข้าวเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ในระดับที่แตกต่างกัน

เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดข้าว: เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดข้าวของทุกตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สม่ำเสมอเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม โดยรวมแล้วพบว่าการแช่ข้าวมีส่วนทำให้เม็ดข้าวพองตัวและมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่แช่

การเพิ่มขึ้นของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดข้าวที่แช่น้ำนานขึ้นสามารถอธิบายได้จากการที่เม็ดข้าวดูดซับน้ำเข้าไปภายใน ทำให้โครงสร้างของเม็ดข้าวพองตัวขึ้น โดยเฉพาะข้าวเหนียวนาปีเก่า (OR) ที่มีการเพิ่มขึ้นของความยาวอย่างเด่นชัดที่สุด แสดงให้เห็นว่าข้าวเก่ามีแนวโน้มในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าข้าวใหม่ เนื่องจากโครงสร้างของแป้งและโปรตีนในข้าวเก่ามีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยว ทำให้โครงสร้างมีความพรุนมากขึ้นและดูดซึมน้ำได้ง่ายขึ้น (Rerkchai & Nuchsongklan, 2018)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในข้าวเหนียวพบว่า ปริมาณอะไมโลสของข้าวเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการแช่น้ำนานขึ้น โดยเฉพาะในข้าวนาปีเก่าที่เพิ่มจาก 4.23% (ไม่แช่) เป็น 6.17% (แช่ 120 นาที) และข้าวนาปรังเก่าเพิ่มจาก 6.76% (ไม่แช่) เป็น 8.83% (แช่ 60 นาที) ข้าวเหนียวนาปีใหม่และนาปรังใหม่ก็แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน) การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะไมโลสในข้าวเหนียวหลังจากแช่น้ำ อาจเป็นผลมาจากการที่อะไมโลสบางส่วนในเม็ดข้าวที่ละลายน้ำได้ถูกดูดซับเข้าไปในเม็ดข้าวในขณะแช่ (Lertworasirikul & Nuchsongklan, 2017) ซึ่งทำให้ค่าที่วัดได้มีแนวโน้มสูงขึ้น นอกจากนี้ การแช่น้ำยังช่วยลดความแข็งของเม็ดข้าวและทำให้การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) หรือการที่เม็ดแป้งดูดซับน้ำและพองตัวเมื่อได้รับความร้อน เกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและเหนียวขึ้นหลังจากการนึ่ง (Wongs-Aree et al., 2019)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้าวนาปีเก่า (OR) และข้าวนาปรังเก่า (OD) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างจากข้าวใหม่ (NR, ND) อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยข้าวเก่ามีอัตราการดูดซับน้ำและเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดข้าวได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim et al. (2015) ที่ระบุว่าอายุการเก็บเกี่ยวส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวอย่างมาก โดยเฉพาะในด้านความสามารถในการดูดซึมน้ำและการเกิดเจลาติไนเซชัน

ดังนั้นการแช่ข้าวเหนียวก่อนการนึ่งมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงของความยาวและปริมาณอะไมโลส การแช่ในระยะเวลาที่เหมาะสมช่วยให้เม็ดข้าวพองตัวและมีขนาดใหญ่ขึ้น และส่งผลให้ข้าวที่นึ่งแล้วมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น นอกจากนี้ อายุของข้าวก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตอบสนองต่อการแช่น้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงกระบวนการแปรรูปข้าวเหนียวให้มีคุณภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 4.6 คุณภาพของข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ที่แช่น้ำก่อนทำการนึ่งที่เวลาแตกต่างกัน

ตัวอย่างข้าว	เวลาแช่ข้าว (นาที)	ความยาวของเม็ดข้าว (mm)	เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดข้าว (mm)	ปริมาณอะไมโลส (%)
ข้าวนาปีเก่า	0	6.65±0.19	1.82±0.14	4.23±0.01
(OR)	30	7.30±0.80	1.78±0.14	4.63±0.05
	60	8.13±0.49	1.83±0.11	5.12±0.05
	90	7.92±0.31	1.94±0.09	5.68±0.14
	120	7.96±0.71	1.89±0.05	6.17±0.09
ข้าวนาปีใหม่	0	6.35±0.16	1.65±0.08	7.47±0.01
(NR)	30	7.15±0.29	1.71±0.11	5.74±0.10
	60	7.18±0.30	1.81±0.04	6.58±0.05
	90	7.59±0.17	1.82±0.01	6.82±0.01
	120	7.51±0.04	1.99±0.09	6.11±0.05
ข้าวนาปรังเก่า	0	7.34±0.67	1.76±0.06	6.76±0.10
(OD)	30	7.49±0.49	1.84±0.08	8.03±0.16
	60	7.15±0.38	1.89±0.13	8.83±0.05
	90	7.81±0.43	1.78±0.03	5.59±0.05
	120	7.66±0.71	1.88±0.05	6.52±0.05
ข้าวนาปรังใหม่	0	6.62±0.44	1.73±0.08	6.95±0.10
(ND)	30	7.20±0.54	1.86±0.06	6.92±0.01
	60	7.45±0.22	1.85±0.04	8.30±0.09
	90	7.04±0.20	1.78±0.13	7.04±0.19
	120	7.54±0.50	1.79±0.19	7.28±0.01

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดข้าวสารและระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวก่อนการนึ่ง

การแช่ข้าวส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความชื้นของข้าวเหนียว (ตารางที่ 4.7) โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวสารที่ไม่ผ่านการแช่อยู่ระหว่าง 9.15±0.08% (ND) ถึง 11.28±0.13% (NR) หลังจากแช่เพียง 30 นาที ปริมาณความชื้นของข้าวทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งบ่งชี้ถึงการดูดซับน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ยกตัวอย่างเช่น ข้าวนาปีเก่า (OR) ที่ปริมาณความชื้นพุ่งขึ้นจาก 10.79±0.04% เป็น 34.71±0.58% แนวโน้มนี้ยังคงดำเนินต่อไปเมื่อเวลาแช่นานขึ้น โดยส่วนใหญ่จะถึงจุดอิ่มตัวที่ประมาณ 36-37% หลังจากการแช่ 60 นาที

ในส่วนของปริมาณความชื้นของข้าวที่อบแห้งแล้วหลังแช่น้ำนั้น แสดงรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 5.32% ถึง 7.35% ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาในระยะยาวเพื่อป้องกันการเติบโตของจุลินทรีย์ (Tananuwong & Tansakul, 2011) แม้จะมีความผันผวนเล็กน้อย แต่ไม่มีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันระหว่างเวลาแช่กับปริมาณความชื้นสุดท้ายที่วัดได้

ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากระบวนการอบแห้งมีประสิทธิภาพในการทำให้ข้าวมีระดับความชื้นที่คงที่ โดยไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการแช่เริ่มต้น

การที่ปริมาณความชื้นของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีนัยสำคัญหลังจากการแช่ ถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมข้าวเหนียวสำหรับการนึ่ง เพราะกระบวนการนี้ช่วยให้เกิด การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) หรือการที่เม็ดแป้งดูดซับน้ำและพองตัวอย่างถาวรเมื่อได้รับความร้อน (Mittal & Weng, 2005) น้ำที่ถูกดูดซับเข้าไปจะช่วยลดอุณหภูมิที่จำเป็นสำหรับการเกิดเจลาติไนเซชัน ทำให้ข้าวที่นึ่งแล้วมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและสม่ำเสมอ ovd0kdouhผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าอายุการเก็บของข้าว มีผลต่อการดูดซับความชื้นเช่นกัน แม้ว่าข้าวเก่า (OR และ OD) จะมีระดับความชื้นเริ่มต้นที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ข้าวทุกชนิดก็สามารถดูดซับน้ำจนถึงจุดอิ่มตัวที่ใกล้เคียงกันได้หลังจากแช่เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแช่ข้าวเป็นเวลา 60 นาที เพียงพอที่จะทำให้ข้าวทุกชนิดดูดซับน้ำได้อย่างเหมาะสม การค้นพบนี้เป็นประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเตรียมข้าวทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม อีกทั้งปริมาณความชื้นสุดท้ายที่สม่ำเสมอของข้าวที่อบแห้งแล้วยังช่วยยืนยันถึงประสิทธิภาพของวิธีการอบแห้งที่ใช้ การคงปริมาณความชื้นสุดท้ายไว้ที่ต่ำกว่า 14% เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาคุณภาพของข้าวและยืดอายุการเก็บรักษา (Tananuwong & Tansakul, 2011)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความชื้นของข้าวสารของข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ที่แช่น้ำก่อนทำการนึ่งที่เวลาแตกต่างกัน

ตัวอย่างข้าว	เวลาแช่ข้าว (นาที)	ความชื้นของข้าวสาร หลังแช่น้ำ (%)	ความชื้นของข้าวสารอบแห้ง หลังแช่น้ำ (%)
ข้าวนาปีเก่า	0	10.79±0.04	5.32±0.14
(OR)	30	34.71±0.58	6.29±0.11
	60	37.68±0.44	5.82±0.05
	90	36.84±0.45	6.02±0.17
	120	37.33±0.62	5.97±0.07
ข้าวนาปีใหม่	0	11.28±0.13	6.40±0.11
(NR)	30	33.91±1.57	5.49±0.10
	60	37.60±1.38	5.58±0.37
	90	36.83±0.11	5.85±0.14
	120	37.04±0.14	6.29±0.07
ข้าวนาปรังเก่า	0	10.92±0.04	5.47±0.21
(OD)	30	34.12±0.13	5.56±0.20
	60	35.81±0.47	5.72±0.10
	90	36.25±0.16	6.31±0.32
	120	36.96±0.02	6.52±0.12
ข้าวนาปรังใหม่	0	9.15±0.08	7.35±0.32

ตัวอย่างข้าว	เวลาแช่ข้าว (นาที)	ความชื้นของข้าวสาร หลังแช่น้ำ (%)	ความชื้นของข้าวสารอบแห้ง หลังแช่น้ำ (%)
(ND)	30	36.61±0.22	5.53±0.09
	60	36.96±0.27	5.73±0.13
	90	37.37±0.52	6.25±0.06
	120	36.75±0.04	6.51±0.08

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model, GLM) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินอิทธิพลของปัจจัยอิสระ ได้แก่ ชนิดของข้าว (variety) และ ระยะเวลาการแช่ (time) ที่มีต่อตัวแปรตาม ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวเหนียว ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.8

เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดข้าว (Width): พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชนิดของข้าวและระยะเวลาการแช่ ($F(12,40)=1.214, p=0.308$) อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการแช่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดข้าว ($F(4,40)=3.289, p=0.020$) ในขณะที่ชนิดของข้าวไม่มีผลต่อตัวแปรนี้ ($F(3,40)=0.547, p=0.653$)

ความยาวของเม็ดข้าว (Length): พบว่าระยะเวลาการแช่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่งต่อความยาวของเม็ดข้าว ($F(4,40)=7.403, p<0.001$) และชนิดของข้าวก็มีผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ($F(3,40)=2.977, p=0.043$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($F(12,40)=1.323, p=0.244$)

ปริมาณอะไมโลส (Amylose): ปัจจัยทั้งชนิดของข้าว ($F(3,40)=1827.854, p<0.001$), ระยะเวลาการแช่ ($F(4,40)=230.727, p<0.001$) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($F(12,40)=316.571, p<0.001$) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณอะไมโลสที่ตรวจวัดได้

ความชื้นของข้าวสารหลังแช่น้ำ (MC): ปัจจัยทั้งชนิดของข้าว ($F(3,40)=16.198, p<0.001$), ระยะเวลาการแช่ ($F(4,40)=28.290, p<0.001$) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($F(12,40)=23.513, p<0.001$) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่งต่อปริมาณความชื้นของข้าวสารที่แช่น้ำ

ความชื้นของข้าวสารอบแห้งหลังแช่น้ำ (MCS): ปัจจัยทั้งชนิดของข้าว ($F(3,40)=7.332, p<0.001$), ระยะเวลาการแช่ ($F(4,40)=5114.420, p<0.001$) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($F(12,40)=6.979, p<0.001$) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่งต่อปริมาณความชื้นของข้าวสารที่ผ่านการอบแห้ง

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติสนับสนุนข้อมูลเชิงพรรณนาที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ โดยยืนยันว่า ระยะเวลาการแช่ (time) เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวเหนียวเกือบทุกด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความยาวของเม็ดข้าว และ ปริมาณความชื้น ทั้งก่อนและหลังการอบแห้ง ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า การแช่ข้าว เป็นกระบวนการที่สำคัญและมีประสิทธิผลในการปรับปรุงคุณสมบัติของข้าวเหนียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของ ความยาวเม็ดข้าว และ การดูดซับความชื้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักการที่ว่าการแช่น้ำช่วยให้โครงสร้างของเม็ดข้าว

คลายตัวและดูดซับน้ำได้ง่ายขึ้น เตรียมพร้อมสำหรับการเกิดเจลาติไนเซชันในขั้นตอนการนึ่ง (Mittal & Weng, 2005)

นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของ ชนิดของข้าว (variety) ที่มีต่อคุณสมบัติบางประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณอะไมโลส และ ความยาวของเม็ดข้าว ซึ่งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุว่าสายพันธุ์ของข้าว (ชนิด, อายุ, ฤดูกาลเพาะปลูก) มีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการหุงต้มที่ไม่เหมือนกัน (Wongs-Aree et al., 2019) สิ่งที่น่าสนใจคือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของข้าวและระยะเวลาการแช่ มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อปริมาณอะไมโลส ความชื้นของข้าวสารหลังแช่น้ำ และความชื้นของข้าวสารอบแห้งหลังแช่น้ำ ($p<0.001$) ซึ่งหมายความว่า อิทธิพลของเวลาแช่ที่มีต่อตัวแปรเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของข้าว เช่น ข้าวบางชนิดอาจดูดซับน้ำได้ดีกว่าหรือเร็วกว่าข้าวชนิดอื่น ทำให้การเลือกเวลาแช่ที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากชนิดของข้าวด้วย

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยระหว่างกลุ่ม (Tests of Between-Subjects Effects) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวเหนียววัตถุดิบสำหรับผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Diameter	.310[a]	19	.016	1.545	.122
	Length	11.229[b]	19	.591	2.864	.003
	MCD	13.979[c]	19	.736	23.364	.000
	MCW	6473.956[d]	19	340.735	1082.286	.000
	Amylose	78.742[e]	19	4.144	537.122	.000
Intercept	Diameter	200.239	1	200.239	18950.082	.000
	Length	3230.188	1	3230.188	15654.052	.000
	MCD	2162.281	1	2162.281	68665.627	.000
	MCW	58395.029	1	58395.029	185481.937	.000
	Amylose	2566.380	1	2566.380	332614.480	.000
varity	Diameter	.017	3	.006	.547	.653
	Length	1.843	3	.614	2.977	.043
	MCD	1.530	3	.510	16.198	.000
	MCW	6.925	3	2.308	7.332	.000
	Amylose	42.310	3	14.103	1827.854	.000
time	Diameter	.139	4	.035	3.289	.020
	Length	6.110	4	1.528	7.403	.000

	MCD	3.563	4	.891	28.290	.000
	MCW	6440.664	4	1610.166	5114.420	.000
	Amylose	7.121	4	1.780	230.727	.000
varity * time	Diameter	.154	12	.013	1.214	.308
	Length	3.276	12	.273	1.323	.244
	MCD	8.885	12	.740	23.513	.000
	MCW	26.367	12	2.197	6.979	.000
	Amylose	29.311	12	2.443	316.571	.000
Error	Diameter	.423	40	.011		
	Length	8.254	40	.206		
	MCD	1.260	40	.031		
	MCW	12.593	40	.315		
	Amylose	.309	40	.008		
Total	Diameter	200.972	60			
	Length	3249.671	60			
	MCD	2177.519	60			
	MCW	64881.577	60			
	Amylose	2645.430	60			
Corrected Total	Diameter	.733	59			
	Length	19.483	59			
	MCD	15.238	59			
	MCW	6486.549	59			
	Amylose	79.051	59			

e. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

หมายเหตุ : Diameter: เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดข้าว, Length: ความยาวของเม็ดข้าว, MCD: ความชื้นของข้าวสารอบแห้งหลังแช่น้ำ, MCW: ความชื้นของข้าวสารหลังแช่น้ำ และ Amylose: ปริมาณอะไมโลส

อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดข้าว ไม่ได้รับผลกระทบจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง และชนิดของข้าวเพียงอย่างเดียวก็ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.653) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการพองตัวของเม็ดข้าวในแนวรัศมี (radial direction) เป็นไปอย่างสม่ำเสมอในทุกตัวอย่างข้าว

โดยสรุปการวิเคราะห์ทางสถิติยืนยันอย่างหนักแน่นว่าทั้ง ชนิดของข้าว และ ระยะเวลาการแช่ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณ

ความชื้นและปริมาณอะไมโลส การค้นพบนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ร่วมกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพการหุงต้มของข้าวเหนียวให้เหมาะสมที่สุด

4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดข้าวสารและระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวก่อนการนึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวด้วยด้วยเครื่อง DSC พบว่าคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวที่เตรียมจากข้าวสารที่ผ่านการแช่ด้วยระยะเวลาที่ต่างกันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน (Gelatinization) และค่าเอนทาลปี (Enthalpy, ΔH) ซึ่งอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน: ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (To) ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Tp) และค่าอุณหภูมิสุดท้าย (Te) ของแป้งข้าวเหนียวจากข้าวนาปีเก่า (OR) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 30, 60 และ 90 นาที ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่เวลา 120 นาที ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวจากข้าวนาปรังเก่า (OD) และข้าวนาปรังใหม่ (ND) มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันที่ค่อนข้างคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามระยะเวลาการแช่ ยกเว้นตัวอย่างข้าวนาปรังเก่าที่เวลา 90 นาที ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด สำหรับค่าเอนทาลปี (ΔH) ซึ่งเป็นปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียว โดยรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวนาปีเก่า (OR) และข้าวนาปรังเก่า (OD) ที่มีค่าเอนทาลปีลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่แช่ (0 นาที) ยกเว้นตัวอย่างข้าวนาปีใหม่ (NR) ที่ค่าเอนทาลปีค่อนข้างคงที่และตัวอย่างข้าวนาปีเก่า (OR) ที่แช่ 120 นาที ซึ่งมีค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ

การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC สามารถอธิบายได้ถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดแป้ง (Starch Granules) ที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่ข้าวสารในน้ำ การลดลงของอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันและค่าเอนทาลปีเมื่อเวลาแช่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าน้ำได้แทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้โครงสร้างผลึกของอะไมโลเพกติน (Amylopectin) อ่อนแอลงและเสื่อมสภาพ ซึ่งส่งผลให้ใช้พลังงานความร้อนในการทำลายโครงสร้างน้อยลง (Sakač et al., 2015; Zaidul et al., 2007) สำหรับตัวอย่างข้าวนาปีเก่า (OR) ที่มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันและค่าเอนทาลปีลดลงเมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ชี้ให้เห็นว่าการแช่น้ำช่วยให้โครงสร้างผลึกของแป้งอ่อนแอลงได้ . อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นอย่างมากของค่าอุณหภูมิและเอนทาลปีที่เวลา 120 นาทีของข้าวนาปีเก่า อาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความแปรปรวนของตัวอย่างหรือการเกิดปฏิกิริยาบางอย่างที่ทำให้โครงสร้างของแป้งกลับมาแข็งแรงขึ้น (Retrogradation) อย่างไรก็ตาม ต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อยืนยันข้อสรุปนี้ ในทางกลับกัน ตัวอย่างข้าวนาปีใหม่ (NR) ที่มีค่าเอนทาลปีค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการแช่ แสดงให้เห็นว่าการแช่น้ำมีผลกระทบต่อโครงสร้างของเม็ดแป้งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับข้าวเก่า อาจเนื่องมาจากความแตกต่างทางโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในข้าวใหม่ ซึ่งอาจมีความแข็งแรงมากกว่า (Sajilata et al., 2006)

ตารางที่ 4.9 คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวที่เตรียมจากการแช่ข้าวสารในน้ำด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ตัวอย่างข้าว	เวลาแช่(นาที)	Onset	Midpoint	Infection point	Endpoint	Endset	Enthalpy
ข้าวนาปีเก่า (OR)	0	67.89±6.91	69.32±8.58	68.64±3.50	69.08±6.32	68.45±3.70	0.49±0.20
	30	63.07±0.58	63.66±0.75	64.97±1.92	64.31±.030	64.84±0.55	0.38±0.31
	60	67.27±6.58	67.58±7.06	68.60±4.50	68.23±6.83	68.94±8.96	0.25±0.04
	90	63.62±0.44	63.78±1.36	65.97±0.54	64.80±1.23	64.69±3.49	0.29±0.14
	120	76.54±4.28	78.26±2.90	77.19±14.13	78.69±2.48	78.76±4.82	0.72±0.09
ข้าวนาปีใหม่ (NR)	0	65.82±1.25	68.36±1.52	66.33±0.05	68.57±1.14	72.37±0.71	0.62±0.10
	30	64.91±0.90	68.29±0.45	65.91±0.15	68.42±0.26	72.32±0.52	0.70±0.12
	60	64.66±0.67	67.53±1.28	65.41±0.22	67.57±1.05	72.41±1.09	0.65±0.07
	90	65.81±0.58	68.67±0.35	65.81±0.58	68.67±0.35	71.78±0.80	0.63±0.13
	120	63.68±1.31	66.30±2.05	65.14±0.47	66.70±1.32	73.34±1.12	0.70±0.23
ข้าวนาปรังเก่า (OD)	0	63.76±0.17	66.45±0.66	67.08±0.50	67.91±0.82	73.90±0.05	0.86±0.02
	30	64.27±4.20	63.89±3.78	66.53±5.14	66.11±6.34	71.27±5.40	0.66±0.05
	60	65.13±4.17	66.17±3.75	67.94±3.38	67.98±4.75	74.07±0.09	0.81±0.04
	90	70.51±5.03	71.10±5.30	71.22±4.21	71.72±5.18	76.11±2.58	0.88±0.01
	120	64.81±1.64	67.97±1.19	66.44±0.12	68.73±1.01	73.17±0.26	0.69±0.01
ข้าวนาปรังใหม่ (ND)	0	64.20±0.91	65.62±1.71	66.22±0.42	66.21±1.16	74.90±1.25	0.71±0.07
	30	62.78±0.72	65.28±2.53	64.97±0.98	65.93±1.58	75.31±0.64	0.77±0.06
	60	62.80±0.08	63.21±0.20	65.94±0.43	64.08±0.22	75.36±0.09	0.66±0.03
	90	62.66±0.20	63.88±0.47	65.33±0.30	64.81±0.46	75.38±0.53	0.62±0.02
	120	62.75±0.17	64.18±0.44	65.58±0.25	65.28±0.56	74.93±0.58	0.65±0.07

สำหรับตัวอย่างข้าวนาปรังเก่า (OD) และข้าวนาปรังใหม่ (ND) ที่มีค่าเอนทาลปีลดลงเมื่อแช่ แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างผลึกเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างข้าวนาปรังเก่าที่แช่ 90 นาทีที่มีค่าอุณหภูมิและเอนทาลปีสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อาจเกิดจากการที่น้ำทำให้เกิดการจัดเรียงโครงสร้างของแป้งใหม่ (re-crystallization) ในบางส่วน ทำให้ต้องใช้พลังงานความร้อนสูงขึ้นในการทำลายโครงสร้าง (Tukomane et al., 2005) จากผลการวิจัยทำให้เห็นว่าการแช่ข้าวสารในน้ำมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียว ซึ่งสามารถสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งได้ ค่าอุณหภูมิและค่าเอนทาลปีที่ลดลงจากการแช่บ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างผลึกของแป้ง ทำให้สามารถเกิดเจลลาติไนเซชันได้ง่ายขึ้นและใช้พลังงานน้อยลง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Factorial Design พบว่าปัจจัยหลักทั้งสอง ได้แก่ ชนิดของข้าว (Variety) และ เวลาในการแช่ (Time) มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวที่แตกต่างกันไป

1. ผลกระทบของชนิดข้าว (Variety)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าว มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. < 0.05) ต่อค่า อุณหภูมิเริ่มต้น (Onset, Sig. = 0.041), Infection point (Sig. = 0.046), อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุด (Endset, Sig. = 0.001) และ เอนทาลปี (Enthalpy, Sig. = 0.000) โดยค่าเหล่านี้ของข้าวแต่ละชนิด (ข้าวนาปีเก่า, นาปีใหม่, นาปรังเก่า, นาปรังใหม่) แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์อาหารที่ว่า โครงสร้างของแป้ง ซึ่งประกอบด้วยปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน รวมถึงระดับความเป็นผลึก (Crystallinity) จะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของข้าว ดังนั้น เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย DSC จึงส่งผลให้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนต่างกันตามไปด้วย

2. ผลกระทบของเวลาในการแช่ (Time)

จากตาราง พบว่า เวลาในการแช่ เพียงอย่างเดียว ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. > 0.05) ต่อค่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน (Onset, Midpoint, Infection, Endpoint, Endset) แต่มีแนวโน้มที่จะมีผลต่อเอนทาลปี (Sig. = 0.087) แม้จะยังไม่ถึงระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ก็ตาม ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าการแช่ข้าวเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของแป้งในระดับที่สามารถวัดผลได้อย่างชัดเจนในทุกตัวแปร อย่างไรก็ตาม การที่ค่า Sig. ของเอนทาลปีเข้าใกล้ 0.05 บ่งชี้ว่าการแช่ข้าวมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง

3. ผลกระทบจากปฏิกิริยาร่วมระหว่างชนิดของข้าวและระยะเวลาในการแช่น้ำ (Interaction: Variety * Time)

สิ่งที่น่าสนใจคือ ปฏิกิริยาร่วมระหว่าง ชนิดของข้าวและเวลาในการแช่ (Variety * Time) พบว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะต่อค่าเอนทาลปี (Enthalpy, Sig. = 0.001) เท่านั้น และมีแนวโน้มที่จะมีผลต่อค่าอื่นๆ แต่ยังไม่ถึงระดับนัยสำคัญ (เช่น Midpoint ที่ Sig. = 0.058 และ Endset ที่ Sig. = 0.062)

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยระหว่างกลุ่ม (Tests of Between-Subjects Effects) ที่มีต่อคุณสมบัติทางความร้อนของข้าวเหนียว

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Onset	619.825[a]	19	32.622	1.786	.061
	Midpoint	679.068[b]	19	35.740	1.933	.039
	Infection	459.367[c]	19	24.177	1.642	.092
	Endpoint	595.783[d]	19	31.357	1.821	.055
	Endset	753.406[e]	19	39.653	2.768	.003
	Enthalty	2.780[f]	19	.146	3.911	.000
Intercept	Onset	256241.271	1	256241.271	14029.285	.000
	Midpoint	269171.186	1	269171.186	14560.222	.000
	Infection	269852.123	1	269852.123	18332.486	.000
	Endpoint	274950.012	1	274950.012	15970.438	.000
	Endset	316157.034	1	316157.034	22068.643	.000
	Enthalty	25.003	1	25.003	668.275	.000
Varity	Onset	165.384	3	55.128	3.018	.041
	Midpoint	143.891	3	47.964	2.594	.066
	Infection	128.510	3	42.837	2.910	.046
	Endpoint	126.090	3	42.030	2.441	.078
	Endset	310.343	3	103.448	7.221	.001
	Enthalty	.866	3	.289	7.718	.000
time	Onset	63.886	4	15.972	.874	.488
	Midpoint	104.179	4	26.045	1.409	.249
	Infection	53.821	4	13.455	.914	.465
	Endpoint	90.414	4	22.603	1.313	.282
	Endset	113.781	4	28.445	1.986	.115
	Enthalty	.329	4	.082	2.198	.087
Varity * time	Onset	390.554	12	32.546	1.782	.085
	Midpoint	430.998	12	35.917	1.943	.058
	Infection	277.037	12	23.086	1.568	.141
	Endpoint	379.279	12	31.607	1.836	.075
	Endset	329.281	12	27.440	1.915	.062
	Enthalty	1.585	12	.132	3.531	.001

Error	Onset	730.590	40	18.265		
	Midpoint	739.470	40	18.487		
	Infection	588.795	40	14.720		
	Endpoint	688.647	40	17.216		
	Endset	573.043	40	14.326		
	Enthalty	1.497	40	.037		
Total	Onset	257591.686	60			
	Midpoint	270589.725	60			
	Infection	270900.286	60			
	Endpoint	276234.442	60			
	Endset	317483.483	60			
	Enthalty	29.280	60			
Corrected Total	Onset	1350.414	59			
	Midpoint	1418.538	59			
	Infection	1048.162	59			
	Endpoint	1284.430	59			
	Endset	1326.449	59			
	Enthalty	4.277	59			

f. R Squared = .650 (Adjusted R Squared = .484)

หมายเหตุ : Onset: อุณหภูมิเริ่มต้น (Onset temperature), Midpoint: อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลาง (Midpoint temperature), Infection: Infection point temperature, Endpoint temperature, Endset temperature: อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุด (Endset temperature), Enthalty: เอนทาลปี (Enthalpy)

ผลลัพธ์นี้เป็นข้อสรุปที่สำคัญที่สุด เนื่องจากแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียว ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงลำพัง แต่ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันระหว่างชนิดของข้าวและระยะเวลาในการแช่ ซึ่งหมายความว่าข้าวแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อการแช่น้ำในรูปแบบที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การแช่ข้าวชนิดหนึ่งอาจทำให้โครงสร้างแป้งอ่อนแอลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ข้าวอีกชนิดหนึ่งอาจไม่ได้รับผลกระทบมากนัก การที่ค่าเอนทาลปีมีปฏิกิริยาร่วมอย่างมีนัยสำคัญ บ่งชี้ว่าผลของการแช่ต่อการทำลายโครงสร้างผลึกของแป้งขึ้นอยู่กับโครงสร้างตั้งต้นของข้าวแต่ละสายพันธุ์ (Zaidul et al., 2007) ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Factorial design ยืนยันว่าคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวขึ้นอยู่กับ ปัจจัยชนิดของข้าวเป็นหลัก และยังได้รับอิทธิพลจาก ปฏิกิริยาร่วมระหว่างชนิดของข้าวและเวลาในการแช่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของค่าเอนทาลปีซึ่งเป็นตัวชี้วัดความแข็งแรงของโครงสร้างผลึกแป้ง การค้นพบนี้มีความสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยสามารถเลือกใช้ชนิดของข้าวและ

กำหนดเวลาการแช่ที่เหมาะสมเพื่อควบคุมคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวเหนียวได้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model, GLM) ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยอิสระ ได้แก่ ชนิดของข้าว (variety) และ ระยะเวลาการแช่ (time) ที่มีต่อคุณสมบัติทางความร้อนของข้าวเหนียว ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 4.10 อุณหภูมิเริ่มต้น (Onset temperature): พบว่าชนิดของข้าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F(3,40)=3.018, p=0.041$) แต่ระยะเวลาการแช่ไม่มีผล ($F(4,40)=0.874, p=0.488$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง ($F(12,40)=1.782, p=0.085$) อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลาง (Midpoint temperature): ชนิดของข้าวมีแนวโน้มที่จะมีผลต่ออุณหภูมิที่จุดกึ่งกลาง ($F(3,40)=2.594, p=0.066$) ขณะที่ระยะเวลาการแช่ไม่มีผล ($F(4,40)=1.409, p=0.249$) แต่พบว่าปัจจัยทั้งสองร่วมกันมีแนวโน้มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กัน ($F(12,40)=1.943, p=0.058$) อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุด (Endset temperature): ชนิดของข้าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งต่ออุณหภูมิที่จุดสิ้นสุด ($F(3,40)=7.221, p<0.001$) ในขณะที่ระยะเวลาการแช่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($F(4,40)=1.986, p=0.115$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน ($F(12,40)=1.915, p=0.062$) และเอนทาลปี (Enthalpy): ทั้งชนิดของข้าว ($F(3,40)=7.718, p<0.001$) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของข้าวกับระยะเวลาการแช่ ($F(12,40)=3.531, p=0.001$) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าเอนทาลปี อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการแช่เพียงอย่างเดียวไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($F(4,40)=2.198, p=0.087$)

ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าปัจจัย "ชนิดของข้าว" (variety) เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดคุณสมบัติทางความร้อนของการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งในข้าวเหนียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าอุณหภูมิเริ่มต้น และ อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุด ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายชิ้นที่พบว่าคุณสมบัติทางความร้อนของข้าวได้รับอิทธิพลอย่างมากจากปัจจัยทางพันธุกรรมและโครงสร้างของแป้ง (amylose และ amylopectin) ในแต่ละสายพันธุ์ (Riyanto et al., 2018) ค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่จำเป็นต่อการเกิดเจลาติไนเซชัน ก็ได้รับอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญจากชนิดของข้าวและปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของข้าวกับระยะเวลาการแช่ ($p<0.001$) ค่าเอนทาลปีที่สูงขึ้นบ่งชี้ว่าต้องใช้พลังงานความร้อนมากขึ้นในการทำลายโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง (Wongs-Aree et al., 2019) การที่พบปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติหมายความว่า ผลของการแช่น้ำต่อค่าเอนทาลปีจะแตกต่างกันไปตามชนิดของข้าวแต่ละชนิด ซึ่งอาจเนื่องมาจากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีอัตราการดูดซับน้ำและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในที่แตกต่างกันเมื่อถูกแช่น้ำ อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยพบว่า ระยะเวลาการแช่ (time) เพียงอย่างเดียวไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชัน (onset, midpoint, endpoint) ซึ่งอาจเป็นเพราะแม้การแช่จะช่วยให้เม็ดข้าวดูดซับน้ำและพองตัวได้ดีขึ้น แต่ก็ไม่ได้ทำให้โครงสร้างของแป้งภายในเม็ดข้าวเปลี่ยนแปลงไปในระดับที่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันโดยตรง (Singh et al., 2005) ซึ่งผลการวิจัยยืนยันว่าคุณสมบัติทางความร้อนของข้าวเหนียวขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ของข้าว เป็นหลัก แต่ก็ได้รับอิทธิพลร่วมกับ ระยะเวลาการแช่ ในแง่ของปริมาณพลังงานที่จำเป็น (เอนทาลปี) สำหรับกระบวนการเจลาติไนเซชัน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการทำความเข้าใจพฤติกรรมของข้าวเหนียวระหว่างการแปรรูปด้วยความร้อน

4.3.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดข้าวสารและระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อคุณสมบัติการเกิดเจลาติไนเซชันและความหนืดด้วยเครื่อง RVA สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวก่อนการนึ่ง

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าคุณสมบัติการไหลของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity): โดยทั่วไป ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มข้าวนาปีเก่า (OR) และข้าวนาปรังใหม่ (ND) ซึ่งลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที ในทางกลับกัน แป้งจากข้าวนาปีใหม่ (NR) มีความผันแปร โดยค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นที่เวลาแช่ 30 นาที ก่อนจะลดลงเมื่อเวลาแช่นานขึ้น ส่วนค่าความหนืดต่ำสุด (Trough Viscosity) และความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown): ค่าความหนืดต่ำสุดมีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับค่าความหนืดสูงสุด ส่งผลให้ค่า Breakdown หรือความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดมีแนวโน้มลดลงด้วยเช่นกัน ค่า Breakdown ที่ลดลงบ่งชี้ถึงความต้านทานต่อการทำลายของเม็ดแป้ง (shear and thermal stability) ที่ลดลง

ค่าความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity) และความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดสูงสุด (Setback): ค่าความหนืดสุดท้ายและค่า Setback (การจัดเรียงตัวใหม่ของแป้ง) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาแช่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการแช่มีผลต่อความสามารถในการจับตัวเป็นเจลของแป้งหลังจากผ่านการทำความร้อน และอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (Pasting Temperature): ผลการวิจัยพบว่าค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวเหนียวมีค่าคงที่อยู่ในช่วง 70.82–72.80 °C ในทุกตัวอย่างและทุกเวลาในการแช่ โดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนของการเปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ชนิดของข้าว มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาติไนเซชันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มข้าวนาปรังเก่า (OD) ที่มีค่าความหนืดสูงสุดเริ่มต้น (499.65 RVU) สูงกว่ากลุ่มข้าวนาปีเก่า (OR) (423.66 RVU) อย่างเห็นได้ชัด ความแตกต่างนี้อาจมาจากหลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก (ฤดูร้อน vs. ฤดูฝน), โครงสร้างภายในของเม็ดแป้ง และ ปริมาณอะไมโลสตกค้าง แม้ว่าข้าวเหนียวจะมีอะไมโลสในปริมาณน้อย แต่ความแตกต่างเล็กน้อยนี้ก็ส่งผลต่อการพองตัวและการทำความหนืดของแป้งได้ (Park et al., 2012) นอกจากนี้โครงสร้างของอะไมโลเพกตินในข้าวนาปรังอาจมีความหนาแน่นของโซ่สั้นมากกว่า ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงและสามารถพองตัวได้ดีกว่าเมื่อได้รับความร้อน จึงส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่า

เมื่อเปรียบผลกระทบจากอายุการเก็บเกี่ยวโดยเปรียบเทียบข้าวเก่า (Old Rice) และข้าวใหม่ (New Rice) ในแต่ละประเภท พบว่าข้าวนาปีเก่า (OR) vs. ข้าวนาปีใหม่ (NR): เมื่อเปรียบเทียบแป้งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำ (0 นาที) ข้าวนาปีเก่ามีค่าความหนืดสูงสุด (423.66 RVU) สูงกว่าข้าวนาปีใหม่ (387.88 RVU) เล็กน้อย แต่ค่า breakdown ของข้าวนาปีเก่า (250.54 RVU) ก็สูงกว่าข้าวนาปีใหม่ (245.28 RVU) ด้วยเช่นกัน ผลลัพธ์นี้อาจเป็นเพราะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของแป้งในระหว่างการเก็บรักษา (aging) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุล (retrogradation) ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บเกี่ยว ทำให้โครงสร้างผลึกของแป้งแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานความร้อนสูงขึ้นในการทำลายโครงสร้างและทำให้เกิดความหนืด

สูงสุดสูงขึ้น (Kim et al., 2011) อย่างไรก็ตาม การแช่น้ำกลับทำให้ความหนืดสูงสุดของข้าวนาปีเก่าลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นจากการเก็บรักษานั้นถูกทำลายได้ง่ายด้วยการดูดซับน้ำ

ข้าวนาปรังเก่า (OD) vs. ข้าวนาปรังใหม่ (ND): ในทางกลับกัน ค่าความหนืดสูงสุดเริ่มต้นของข้าวนาปรังเก่า (499.65 RVU) สูงกว่าข้าวนาปรังใหม่ (432.68 RVU) อย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องการจัดเรียงตัวของแป้งในข้าวเก่า อย่างไรก็ตาม การแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวนาปรังเก่าลดลงอย่างมาก (จาก 499.65 เหลือ 333.93 RVU) ในขณะที่ข้าวนาปรังใหม่ก็มีค่าลดลงเช่นกัน (จาก 432.68 เหลือ 258.20 RVU) แสดงให้เห็นว่าทั้งข้าวนาปรังเก่าและใหม่มีคุณสมบัติที่อ่อนแอลงอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความชื้น

อายุการเก็บรักษาของข้าวหลังการเก็บเกี่ยวของข้าวมีผลต่อคุณสมบัติการไหลอย่างชัดเจน โดยข้าวเก่ามีแนวโน้มที่จะมีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าข้าวใหม่ ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของแป้งในระหว่างการเก็บรักษา และการแช่น้ำก่อนการแปรรูปสามารถลดค่าความหนืดเหล่านี้ลงได้ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวเหนียวในเชิงอุตสาหกรรม

การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติการไหลของแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการแช่ข้าวสารในน้ำสามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของเม็ดแป้ง (starch granules) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความหนืดสูงสุด และ ความหนืดต่ำสุด ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าการดูดซับน้ำในระหว่างการแช่ได้ทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งที่แข็งแรงอ่อนแอลง (Tester & Morrison, 1990) เมื่อนำแป้งไปให้ความร้อนและกวนในเครื่อง RVA เม็ดแป้งที่อ่อนแอลงเหล่านี้จะพองตัวและแตกออกได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการทำความหนืดลดลง ในทำนองเดียวกัน ค่า Breakdown ที่ลดลงยังสะท้อนถึงความสามารถของเม็ดแป้งในการทนทานต่อแรงเฉือน (shear) ที่ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่โครงสร้างภายในถูกทำลายไปก่อนหน้านี้ด้วยการแช่ (Sajilata et al., 2006) นอกจากนี้ ค่า Setback ที่ลดลงบ่งชี้ว่าการแช่ส่งผลกระทบต่อการจับตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่ละลายออกมา การจับตัวใหม่นี้เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดความแข็งและความเหนียวของผลิตภัณฑ์หลังการทำให้เย็นตัว ดังนั้น การที่ค่า Setback ลดลงจึงหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มและเหนียวน้อยลง

ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติการเกิดเจลาติไนเซชันและความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ของแป้งข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

ตัวอย่างข้าว	เวลาแช่(นาที)	ความหนืดสูงสุด (RVU)	ความหนืดต่ำสุด (RVU)	ความหนืดสูงสุด - ความหนืดต่ำสุด (RVU)	ความหนืดสุดท้าย (RVU)	ความหนืดสุดท้าย - ความหนืดสูงสุด (RVU)	อุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน (°C)
ข้าวนาปีเก่า (OR)	0	423.66±61.95	173.12±17.35	250.54±44.96	225.45±26.00	52.33±9.03	71.82±0.58
	30	355.02±56.06	131.83±18.80	223.18±37.28	172.95±25.78	41.11±7.02	70.82±0.37
	60	361.43±68.46	140.06±21.25	221.36±47.27	183.57±29.03	43.49±7.78	71.53±0.46
	90	336.06±41.87	130.23±14.23	205.83±27.69	174.81±18.80	44.58±4.59	71.53±0.41
	120	331.48±55.44	131.33±17.56	200.15±38.11	176.33±23.30	44.99±6.33	71.64±0.65
ข้าวนาปีใหม่ (NR)	0	387.88±2.59	142.60±1.19	245.28±2.53	198.85±1.49	56.24±1.58	71.81±0.08
	30	454.67±38.67	157.65±12.34	297.28±26.41	214.90±17.49	57.24±5.33	71.63±0.38
	60	376.92±40.03	136.48±11.43	240.43±28.63	186.38±14.63	49.90±3.56	71.98±0.40
	90	407.01±23.17	145.75±7.69	261.26±15.53	199.75±8.92	54.00±1.73	71.68±0.38
	120	283.98±58.29	114.81±13.31	169.16±45.36	159.31±17.70	44.50±6.14	72.80±0.42
ข้าวนาปรังเก่า (OD)	0	499.65±13.01	201.68±4.91	297.96±8.10	264.55±7.84	62.87±3.06	71.85±0.03
	30	333.93±53.72	134.18±18.48	199.75±35.32	174.78±24.30	40.60±6.34	71.97±1.09
	60	352.13±20.55	137.43±9.37	214.70±11.35	186.38±11.66	44.96±2.58	71.30±0.48
	90	406.88±98.86	173.55±34.46	233.33±64.48	227.11±47.80	53.56±13.50	71.98±0.85
	120	344.83±29.92	153.03±10.06	191.80±17.60	202.43±16.29	49.40±7.42	71.47±0.38
ข้าวนาปรังใหม่ (ND)	0	432.68±35.55	135.81±10.84	195.86±24.80	189.40±17.16	52.58±6.55	71.97±0.75
	30	258.20±59.66	86.06±13.72	172.13±46.13	120.78±24.59	34.71±10.94	71.99±0.37
	60	305.60±42.16	103.98±14.10	201.61±25.02	142.90±23.16	38.91±5.97	71.95±0.73
	90	258.35±44.31	86.91±14.10	182.73±30.33	118.78±18.75	31.86±4.68	71.96±0.74
	120	279.59±43.31	96.86±13.21	182.73±30.86	136.28±20.03	39.41±7.39	71.50±0.46

ในขณะเดียวกัน อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน ที่ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ บ่งชี้ว่าการแช่น้ำไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของโครงสร้างผลึกของอะไมโลเพกติน (Sakač et al., 2015) โดยปกติแล้ว คุณสมบัติทางความหนืดจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การพองตัวและการทำลายของเม็ดแป้ง ในขณะที่คุณสมบัติทางความร้อน (เช่น อุณหภูมิการเกิดเจล) จะได้รับผลกระทบจากโครงสร้างทางเคมีที่แข็งแรงกว่า จากผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำด้ 0-120 นาที และข้าวเหนียวจากข้าวนาปีและข้าวนาปรังแสดงให้เห็นว่าการแช่ข้าวสารก่อนนำมาทำเป็นแป้งมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวเหนียว ทำให้ความสามารถในการทำความหนืดของแป้งลดลงและส่งผลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย การควบคุมระยะเวลาในการแช่จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว

4.4 ศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป

4.4.1 ผลของการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวที่เหมาะสม

ผลของการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวที่เหมาะสมจำนวน 10 ระดับ ได้แก่ 0 30 60 90 120 150 180 210 240 และ 600 นาที พบว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวมีผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวเหนียว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นของข้าวเหนียวสูงขึ้น ข้าวเหนียวมีความชื้นเริ่มต้นที่ 8.40 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแช่เป็นเวลา 30 นาที และมีความชื้นคงที่หลังจากที่ใช้เวลาในการแช่ตั้งแต่นาทีที่ 60-600 นาที ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่เวลา 600 นาที เป็นเวลาที่ใช้แช่ข้าวเหนียวโดยทั่วไป (conventional method) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tian et al. (2014) Boluda-Aguilar et al. (2013) และ Han and Lim (2009) โดยพบว่าการแช่ข้าวก่อนการหุงต้มเป็นผลทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้น และการที่แป้งสามารถดูดน้ำเข้าไปในเมล็ดได้มากส่งผลต่อคุณภาพของข้าวสุก และอัตราการเกิดเจลของข้าว (Boluda-Aguilaret al., 2013) และพบว่าความชื้นของข้าวเหนียวมีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวมากกว่า 30 นาที ดังตารางที่ 4.12

เมื่อนำข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่ที่เวลาต่างๆ มาทำการนึ่งด้วยไอน้ำโดยใช้หวดไม้ไผ่เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า ดังรูปที่ 4.6 พบว่าข้าวเหนียว ที่แช่ 30 นาที มีจุดทึบ สีดำแสงผ่านได้น้อยมากกว่าที่แช่ที่เวลาอื่นๆ เนื่องจากการแช่ที่เวลา 30 นาที ข้าวเหนียวดูดซับน้ำได้น้อย ทำให้มีน้ำไม่เพียงพอในการทำให้เกิดเจลภายในเมล็ดข้าวเหนียว ส่วนการแช่ข้าวเหนียวที่เวลา 60-600 นาที ภายในเมล็ดข้าวจะเห็นเป็นลักษณะใสให้แสงส่องผ่านได้ เนื่องจากระดับการเกิดเจลของข้าวที่แช่ที่เวลา 60-600 นาที มากกว่าการแช่ข้าวที่ 30 นาที โดยข้าวสามารถดูดน้ำเข้าไปในเมล็ดข้าวได้มากกว่าจากตารางที่ 4.12 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Boluda-Aguilar et al. (2013) พบว่าระดับการเกิดเจลของข้าวจะสูงขึ้นเมื่อข้าวสามารถดูดน้ำเข้าไปภายในเมล็ดได้มาก และการเกิดเจลของสตาร์ชส่งผลต่อความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

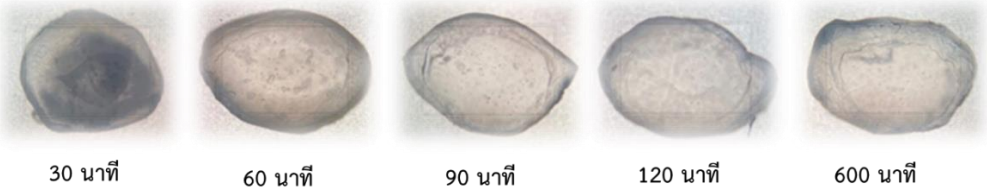
(Hou et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวด้วยเครื่อง RVA พบการแช่ข้าวเหนียว 30 นาทีมีค่าความหนืดสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเมล็ดข้าวเหนียวยังมีระดับการเกิดเจลที่ต่ำเนื่องจากระหว่างแช่มีน้ำอยู่ในเมล็ดข้าวน้อย จึงยังมีความสามารถในการดูดน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าวเพื่อทำให้เม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวเกิดการพองตัวและเป็นเจลมากขึ้นเป็นผลทำให้มีความหนืดสูงกว่าการแช่ที่เวลาอื่นๆ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลสูงกว่าการแช่ข้าวที่เวลา 60-600 นาที การแช่ที่เวลา 0 นาที มีค่าความหนืดน้อยกว่า การแช่ที่เวลา 30 นาที เนื่องจากในระหว่างการแช่มีน้ำบางส่วนแทรกไปในเม็ดแป้งทำให้มีอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่หลวมขึ้นจากการที่น้ำเข้าไปในโครงสร้างแล้วเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของ อะไมโลสกับอะโลเพกติน ทำการเกิดเจลได้ง่ายและมีความหนืดที่มากกว่าการแช่ที่ 0 นาที

ตารางที่ 4.12 ปริมาณความชื้นข้าวสารที่แช่น้ำที่เวลาต่างๆ

ระยะเวลาที่แช่ (นาที)	ปริมาณความชื้น (%)
0	$8.40^{c} \pm 0.21$
30	$35.96^{b} \pm 1.42$
60	$37.27^{a} \pm 1.47$
90	$37.57^{a} \pm 1.35$
120	$37.37^{a} \pm 1.90$
150	$37.67^{a} \pm 1.04$
180	$38.03^{a} \pm 1.75$
210	$37.35^{a} \pm 0.73$
240	$38.13^{a} \pm 1.22$
600	$38.21^{a} \pm 0.80$

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลของการแช่ข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวสูงขึ้น และมีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าว 60-600 นาที เนื่องจากเมล็ดข้าวมีระดับการเป็นเจลมากเป็นผลจากปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวมีมากพอที่ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินกับน้ำได้มากเมื่อได้รับความร้อนระหว่างการนึ่ง แต่ไม่มีผลต่อค่าความหนืดสุดท้าย



รูปที่ 4.6 ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวเหนียวที่แช่ที่เวลาต่างๆ หลังการให้ความร้อน

ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลที่สำคัญของ เวลาแช่น้ำ ชนิดข้าว และ อายุข้าว ที่มีต่อคุณภาพของข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายรูปที่ปรากฏผ่านการดูดซึมน้ำและการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งภายในเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนจากระดับความโปร่งใสและสภาพความสมบูรณ์ของเมล็ด

4.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดข้าวสารและระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อลักษณะภาพรวมและอิทธิพลของเวลาแช่น้ำต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้งข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

ข้าวเหนียวมีองค์ประกอบหลักคือแป้ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอะมิโลเพคติน (amylopectin) ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่กิ่งก้าน (branched chains) การแช่น้ำทำให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านเข้าสู่โครงสร้างของแป้ง ทำให้เกิดการบวมตัวและคลายตัวของเม็ดแป้ง (starch granules) โดยเฉพาะในส่วนที่ยังคงสภาพผลึกอยู่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะแสดงออกผ่านการเพิ่มขึ้นของความโปร่งแสงของเมล็ดข้าว (Srijesat et al., 2022; Wang et al., 2021) จากผลการทดลองในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าข้าวนาปีใหม่ (NR) มีการเปลี่ยนแปลงความโปร่งใสอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ที่สุด โดยเริ่มโปร่งใสอย่างชัดเจนที่เวลา 60 นาที และโปร่งใสสมบูรณ์ที่ 120 นาที สิ่งนี้บ่งชี้ว่าโครงสร้างของเม็ดแป้งในข้าวนาปีใหม่ยังคงมีความยืดหยุ่นสูงและไม่มีการจัดเรียงตัวแน่น (retrogradation) ทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัตถุดิบคุณภาพดีที่เหมาะสำหรับกระบวนการแปรรูป

ในทางตรงกันข้าม ข้าวนาปรังเก่า (OD) แสดงการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด แม้จะแช่น้ำนานถึง 120 นาที เมล็ดก็ยังคงทึบแสงเป็นส่วนใหญ่และพบการเกิดรอยแตก (macro-cracks) อย่างชัดเจน (ตารางที่ 4.13) การที่ข้าวเก่ามีคุณสมบัติดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์ Retrogradation ซึ่งเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของอะมิโลเพคตินในแป้งจัดเรียงตัวกลับคืนสู่โครงสร้างผลึกที่แน่นขึ้น (C. Wang et al., 2023; Zhou et al., 2021) การบ่มตัวของข้าว (aging) ทำให้โครงสร้างแป้งแข็งขึ้น การซึมผ่านของน้ำจึงเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ก่อให้เกิดแรงดันภายในเมื่อโมเลกุลน้ำแทรกซึมเข้าไป ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดรอยแตกของเมล็ดข้าวในที่สุด

ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้าวนาปีและข้าวนาปรังยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างข้าวนาปีและข้าวนาปรังได้อย่างชัดเจน โดยทั่วไปแล้ว ข้าวนาปรัง มีปริมาณอะมิโลส (amylose) ที่สูงกว่าข้าวนาปี (Adu-Kwarteng et al., 2023; P. Wang et al., 2018). แม้ข้าวเหนียวจะเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ แต่การมีปริมาณอะมิโลสที่สูงขึ้นเล็กน้อยในข้าวนาปรังก็เพียงพอที่จะส่งผลต่อความแข็งของเม็ดแป้งและนำไปสู่การเกิดรอยแตกได้ง่ายขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป ในขณะที่ข้าวนาปีที่มีโครงสร้างแป้งที่เหมาะสมกว่าจึงแสดงการเปลี่ยนแปลงความโปร่งใสที่สม่ำเสมอและคงความสมบูรณ์ของเมล็ดไว้ได้ดีกว่า การทดลองนี้ยืนยันว่า ชนิดข้าว อายุการเก็บของข้าว และระยะเวลาแช่น้ำ เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดคุณภาพของข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตอบสนองของโครงสร้างแป้งต่อการดูดซึมน้ำและการเกิดเจลาติไนเซชัน (ตารางที่ 4.13)

สำหรับกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ข้าวนาปีใหม่ ที่แช่น้ำ 120 นาที เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้คุณรูปที่เหนือกว่าในทุกด้าน ทั้งการดูดซึมน้ำที่รวดเร็ว การเกิดเจลาติไนเซ

ชันที่สมบูรณ์ และที่สำคัญคือโครงสร้างเมล็ดข้าวที่คงรูปและปราศจากรอยแตก ในทางกลับกัน ข้าวนาปรังเก่า ถือเป็นวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง เนื่องจากคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามทั้งหมด ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ผลการทดลองนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกวัตถุดิบและการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จในอุตสาหกรรมได้ต่อไป

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและความโปร่งแสงของเมล็ดข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่น้ำด้วยเวลาแตกต่างกันก่อนนึ่ง

ชนิดของข้าว	เวลาในการแช่ข้าว (นาที)				
	0	30	60	90	120
ข้าวนาปีใหม่ (NR)					
ข้าวนาปีเก่า (OR)					
ข้าวนาปรังใหม่ (ND)					
ข้าวนาปรังเก่า (OD)					

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการถ่ายภาพเมล็ดข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จหลังการแช่น้ำที่เวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที ได้เผยให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของเมล็ดข้าวทั้งสี่ประเภท ได้แก่ ข้าวนาปีใหม่ ข้าวนาปีเก่า ข้าวนาปรังใหม่ และข้าวนาปรังเก่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านความโปร่งแสงและโครงสร้างของเมล็ด (ตารางที่ 4.13) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เวลาแช่น้ำ เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระดับความโปร่งแสงของเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญของกระบวนการเจลาติไนเซชันของแป้งภายในเมล็ด การที่เมล็ดข้าวโปร่งแสงมากขึ้นบ่งชี้ถึงการที่โมเลกุลน้ำได้แทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดการบวมตัวและคลายตัวของส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) (Srijesat et al., 2022) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่พึงประสงค์สำหรับผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป

ข้าวนาปีใหม่ (NR) แสดงการตอบสนองต่อการแช่น้ำอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ที่สุด โดยเริ่มโปร่งแสงอย่างชัดเจนที่ 60 นาที และโปร่งใสสมบูรณ์ที่ 120 นาที การเปลี่ยนแปลงนี้ชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างเม็ดแป้งในข้าวนาปีใหม่ยังคงอยู่ในสรูปที่ดี สามารถดูดซึมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและสม่ำเสมอ ในทางตรงกันข้าม ข้าวนาปรังเก่า (OD) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมล็ดส่วนใหญ่ยังคง

ทึบแสงแม้จะแช่น้ำนานถึง 120 นาที และเริ่มพบรอยแตกอย่างชัดเจน (ตารางที่ 4.13) การที่ข้าวมีคุณสมบัติดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์ Retrogradation ซึ่งเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของอะมิโลเพคตินในแป้งจัดเรียงตัวกลับสู่โครงสร้างผลึกที่แน่นขึ้น (C. Wang et al., 2023; Zhou et al., 2021) การบ่มตัวของข้าวทำให้โครงสร้างแป้งแข็งขึ้น การซึมผ่านของน้ำจึงเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ความชื้นและแรงดันภายในเมื่อโมเลกุลน้ำแทรกซึมเข้าไป นำไปสู่การเกิดรอยแตกของเมล็ดในที่สุด (ตารางที่ 4.14)

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดและอายุของข้าวสามารถอธิบายได้เพิ่มเติมจากองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของเมล็ดข้าว โดยทั่วไปแล้ว ข้าวนาปรังมีปริมาณอะมิโลส (amylose) ที่สูงกว่าข้าวนาปี (Adu-Kwarteng et al., 2023; P. Wang et al., 2018) แม้ว่าข้าวเหนียวจะเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ แต่การมีปริมาณอะมิโลสที่สูงขึ้นเล็กน้อยในข้าวนาปรังก็เพียงพอที่จะส่งผลต่อความแข็งของเม็ดแป้งและนำไปสู่การเกิดรอยแตกได้ง่ายขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป ข้าวนาปีเก่า (OR) แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่าข้าวนาปีใหม่ แต่ยังคงให้คุณรูปที่ดี โดยเมล็ดเกือบโปร่งใสสมบูรณ์ที่ 120 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ retrogradation ในข้าวนาปีเก่าไม่รุนแรงเท่ากับในข้าวนาปรังเก่า ส่วนข้าวนาปรังใหม่ (ND) มีการเปลี่ยนแปลงความโปร่งใสที่ช้ากว่าข้าวนาปี แต่ยังคงดูดซึมน้ำได้ดีกว่าข้าวนาปรังเก่า ซึ่งบ่งชี้ว่าแม้จะมีโครงสร้างที่แข็งกว่า แต่ยังไม่ผ่านกระบวนการ retrogradation ที่ทำให้โครงสร้างแน่นจนเกินไป ซึ่งผลการทดลองนี้ยืนยันว่า ชนิดข้าว อายุข้าว และ เวลาแช่น้ำ เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดคุณภาพของข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จได้อย่างชัดเจน

จากการทดลองนี้ สรุปได้ว่า เวลาแช่น้ำ ส่งผลโดยตรงต่อการดูดซึมน้ำและระดับความโปร่งใสของเมล็ดข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จ ในขณะที่ ชนิดข้าว และ อายุข้าว เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้โครงสร้างเมล็ดตอบสนองแตกต่างกัน สำหรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ข้าวนาปีใหม่ ที่แช่น้ำ 120 นาที ให้คุณภาพดีที่สุด เนื่องจากเมล็ดโปร่งใสสมบูรณ์ โครงสร้างสมบูรณ์ และไม่มีรอยแตก ในทางกลับกัน ข้าวนาปรังเก่า ไม่เหมาะสำหรับการผลิตข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จคุณภาพสูง เพราะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ช้า เกิดรอยแตกง่าย และความโปร่งใสไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 4.14 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของของเมล็ดข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่น้ำด้วยเวลาแตกต่างกันก่อนนึ่ง

เวลาแช่น้ำ	ข้าวนาปีใหม่	ข้าวนาปีเก่า	ข้าวนาปรังใหม่	ข้าวนาปรังเก่า
0 นาที	เมล็ดมีลักษณะทึบแสง โครงสร้างภายในแน่น แป้งยังคงสภาพกึ่งผลึก	เมล็ดทึบแสงมากกว่า โครงสร้างแน่นกว่า	เมล็ดทึบแสงคล้ายข้าวนาปีใหม่แต่แข็งกว่าเล็กน้อย	เมล็ดทึบแสงและโครงสร้างแข็งแน่นมาก
30 นาที	เริ่มโปร่งแสงเล็กน้อยบริเวณผิวเมล็ด	โปร่งแสงเพียงเล็กน้อยภายนอก	เริ่มโปร่งแสงบางส่วน แต่การ	เมล็ดยังคงทึบแสงเกือบทั้งหมด ดูดน้ำได้น้อย

	แสดงถึงการดูดซึมน้ำเริ่มต้น	แต่แกนกลางยังคงทึบ	เปลี่ยนแปลงช้ากว่านาปีใหม่	
60 นาที	เมล็ดโปร่งแสงชัดเจน แสดงถึงการเจลาติไนเซชันเริ่มเกิดทั่วทั้งเมล็ด	เริ่มเกิดการเจลาติไนซ์ในบางส่วน แต่ยังเห็นแกนกลางทึบ	โปร่งแสงบางส่วนโดยเฉพาะบริเวณผิวเมล็ด	เริ่มเปลี่ยนเล็กน้อยบริเวณขอบเมล็ด แต่แกนกลางยังทึบ
90 นาที	เมล็ดโปร่งใสเกือบทั้งหมด แสดงถึงการดูดน้ำเต็มที่และเกิดเจลาติไนซ์สมบูรณ์	เมล็ดโปร่งแสงเพิ่มขึ้นชัดเจน เหลือส่วนทึบเพียงเล็กน้อย	โปร่งแสงมากขึ้น แต่ยังเหลือส่วนทึบเล็กน้อย	เมล็ดยังมีแกนกลางทึบมากกว่าชนิดอื่น
120	เมล็ดโปร่งใสสมบูรณ์ โครงสร้างเจลาติไนซ์ครบถ้วน	โปร่งใสเกือบสมบูรณ์ เหลือส่วนขุ่นเล็กน้อยเท่านั้น	เมล็ดโปร่งแสงมากที่สุดและมีการดูดน้ำเต็มที่	เมล็ดโปร่งแสงเพิ่มขึ้นแต่ยังพบรอยแตกและโครงสร้างไม่สมบูรณ์

4.4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดข้าวสารและระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อคุณสมบัติการเกิดเจลาติไนเซชันด้วยเครื่อง RVA สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

เมื่อนำข้าวเหนียวที่แช่ในน้ำเป็นเวลา 30 60 90 120 และ 600 นาที และนำไปให้ความร้อนด้วยการนึ่ง 30 นาที ไปทำการตรวจสอบทางลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นจะมีค่าความแข็งลดลง และค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็นผลมาจากน้ำที่เข้าไปในโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชสามารถเข้าไปทำลายโครงสร้างผลึก (crystalline region) ของเม็ดสตาร์ช โดยทำให้โครงสร้างภายในมีความหนาแน่นลดลง เมื่อได้รับความร้อนทำให้อะไมโลเพกตินที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในข้าวเหนียวจะเกิดเป็นเจลที่ไม่แข็งแรงเนื่องจากไม่เกิดโครงสร้างร่างแห (network) (Copeland et al., 2009) ดังนั้นจึงทำให้ข้าวเหนียวนุ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

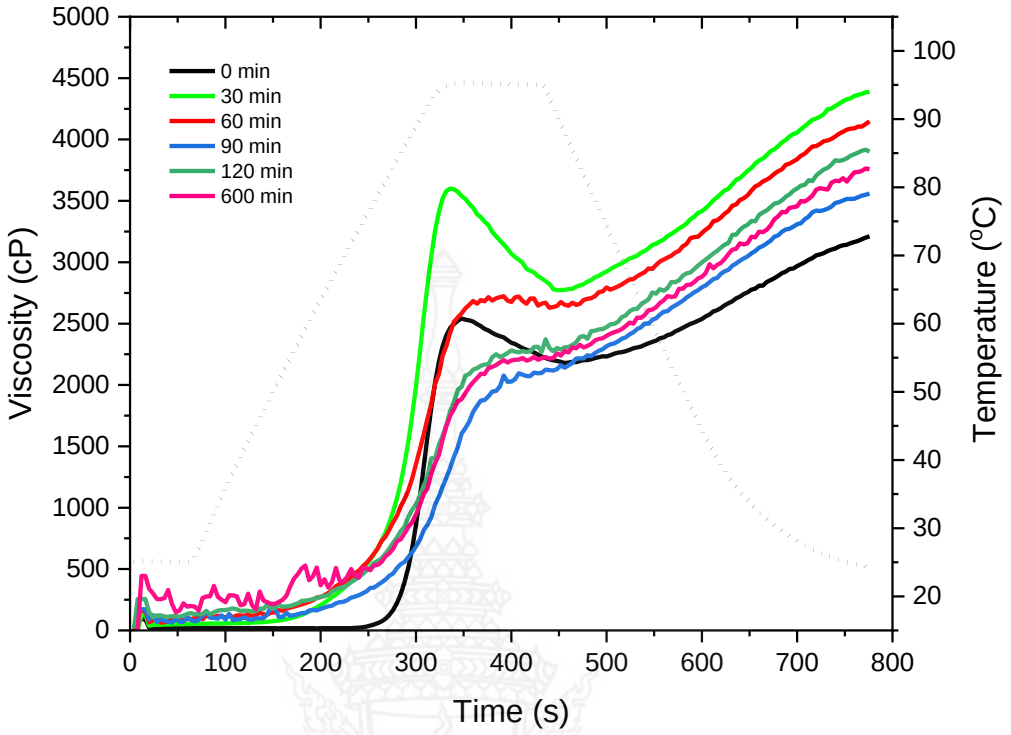
จากการทดสอบคุณภาพของข้าวที่ผ่านการแช่น้ำที่เวลาต่างๆ พบว่าการแช่น้ำที่เวลา 60-600 นาที และการเกิดเจลของข้าวเหนียว ทำให้มีปริมาณน้ำแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าการแช่ข้าวเหนียวที่เวลา 90-600 นาที แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งการแช่ข้าวเหนียว 600 นาที หรือ 10 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาแช่ข้าวด้วยวิธีปกติ ดังนั้นจึงเลือกการแช่ข้าวเหนียวที่เวลา 90 นาที ไปทำการศึกษาในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวัดค่าความหนืดของข้าวเหนียวด้วยเครื่อง Rapid Visco-Analyzer (RVA) หลังจากผ่านการแช่ด้วยระยะเวลาต่างกัน (0-600 นาที) ซึ่งบ่งชี้ถึงพฤติกรรมการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งในข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature): ค่านี้จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อข้าวเหนียวผ่านการแช่ จาก 81.00 °C สำหรับข้าว

ที่ไม่ได้แช่ เหลือเพียงประมาณ 26.93–30.23 °C เมื่อแช่นาน 60 นาทีขึ้นไป ซึ่งค่าที่ลดลงนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวเหนียวที่แช่น้ำสามารถเริ่มเกิดเจลาติไนเซชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ และค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity): ค่านี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อแช่ข้าวเพียง 30 นาที (3621.67 cP) เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้แช่ (2507.33 cP) แต่หลังจากแช่นานกว่า 30 นาที ค่าความหนืดสูงสุดกลับลดลงและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับการแช่ที่ 60, 90, 120 และ 600 นาที สำหรับค่าความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity): ค่านี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสำหรับข้าวที่แช่น้ำเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้แช่ แต่ในกลุ่มที่ผ่านการแช่แล้ว (30-600 นาที) ค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การแช่ข้าวเหนียวในน้ำทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของเม็ดแป้ง (starch granules) ได้อย่างทั่วถึง เมื่อเม็ดแป้งได้รับน้ำอย่างเพียงพอแล้ว โครงสร้างผลึก (crystalline structure) ของมันจะอ่อนแอลง ทำให้ใช้พลังงานความร้อนน้อยลงในการสลายตัวและเกิดเจลาติไนเซชัน . งานวิจัยของ Zhou et al. (2021) พบว่าการแช่เมล็ดข้าวทำให้เกิดการดูดซึมน้ำอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากน้ำเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินไว้ สำหรับค่าความหนืดสูงสุดที่เพิ่มขึ้นเมื่อแช่ 30 นาที: การที่ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อแช่ 30 นาที เกิดจากการดูดซึมน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้เต็มที่และสลายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพในระหว่างการให้ความร้อน ส่งผลให้แป้งปลดปล่อยออกมาในปริมาณมากในระยะแรก นอกจากนี้ความหนืดสูงสุดที่ลดลงเมื่อแช่นานขึ้น: สำหรับการแช่น้ำนานกว่า 30 นาที ค่าความหนืดสูงสุดกลับลดลง เนื่องจากระยะเวลาการแช่ที่นานเกินไปอาจทำให้ การชะล้าง (leaching) ของอะมิโลสและสารอื่นๆ ออกจากเม็ดแป้งเกิดขึ้นก่อนการให้ความร้อน ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งภายในอ่อนแอลงมากเกินไป ส่งผลให้เมื่อได้รับความร้อนเม็ดแป้งแตกตัวเร็วขึ้นและไม่สามารถพองตัวได้อย่างเต็มที่เท่าที่ควร ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง Nugroho et al. (2022) ได้ทำการศึกษาการแช่ข้าวเหนียวและพบว่าการแช่ที่นานเกินไปส่งผลให้การชะล้างของอะมิโลสสูงขึ้น และทำให้ความหนืดสูงสุดลดลง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "pre-gelatinization" หรือการที่เม็ดแป้งเริ่มสลายตัวก่อนการให้ความร้อนอย่างเต็มที่ และค่าความหนืดสุดท้ายที่คงที่สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำแสดงให้เห็นว่า การเกิดเจลตัว (gel formation) หลังจากที่แป้งเย็นตัวลงนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหลังจากถึงจุดอิ่มตัวของการแช่แล้ว ความหนืดสุดท้ายบ่งชี้ถึงความสามารถในการย้อนกลับของการเกิดเจลาติไนเซชัน (retrogradation) ซึ่งงานวิจัยของ Wang et al. (2023) ชี้ให้เห็นว่าแม้ระยะเวลาการแช่จะแตกต่างกัน แต่หากน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปเพียงพอแล้ว การเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในระหว่างการทำให้เย็นก็จะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ดังนั้นการแช่ข้าวเหนียวมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณสมบัติทางความหนืดของแป้ง โดยมีระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 30-60 นาที ซึ่งช่วยลดอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดได้อย่างมีนัยสำคัญและเพิ่มความหนืดสูงสุด อย่างไรก็ตาม การแช่นานเกินไปอาจส่งผลเสียต่อความหนืดสูงสุด เนื่องจากโครงสร้างของเม็ดแป้งถูกทำลายมากเกินไปก่อนการให้ความร้อน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.7 ความหนืดของข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่ที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.15 ความหนืดของข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่ที่เวลาต่างๆ

ระยะเวลาแช่ (นาที)	อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (°C)	ความหนืดสูงสุด (cP)	ความหนืดสุดท้าย (cP)
0	81.00^{a}±0.39	2507.33^{b}±31.72	3195.00^{a}±22.11
30	61.95^{b}±1.52	3621.67^{a}±34.08	4346.33^{a}±69.66
60	26.93^{c}±2.25	2429.67^{b}±217.12	3280.33^{a}±219.75
90	28.23^{c}±1.64	2249.00^{b}±47.03	3475.00^{a}±85.00
120	30.23^{c}±1.10	2356.00^{b}±106.07	3243.00^{a}±315.50
600	29.53^{c}±2.55	2236.33^{b}±101.12	3686.33^{a}±287.59

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.16 ที่แสดงข้อมูลลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่มีระยะเวลาในการแช่ต่างกัน ตารางแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสหลักสองประการ ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) และ ความเหนียว (Adhesiveness) โดยผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ใช้เวลาแช่ต่างกัน ซึ่งค่าความแข็ง (Hardness): เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่จาก 30 นาทีเป็น 60, 90, 120 และ 600 นาที ค่าความแข็งของข้าวเหนียวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก 11517.97 g เป็นประมาณ

9000 g และค่าความแข็งจะเริ่มคงที่เมื่อแช่นานกว่า 90 นาที (ค่าที่ 90, 120 และ 600 นาทีไม่แตกต่างกันทางสถิติ) ในทางตรงกันข้ามค่าการยึดเกาะ (Adhesiveness) เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่จาก 30 นาทีเป็น 60, 90, 120 และ 600 นาที ค่าความเหนียวจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จาก 139.93 g เป็นประมาณ 900 g และค่าความเหนียวจะเริ่มคงที่เมื่อแช่นานกว่า 90 นาที (ค่าที่ 90, 120 และ 600 นาทีไม่แตกต่างกันทางสถิติ)

การที่ค่าความแข็งของข้าวเหนียวลดลงเมื่อแช่น้ำนานขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการ การดูดซึมน้ำ (Water absorption) การแช่ข้าวสารในน้ำจะทำให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำเข้าไปภายใน ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้ง (starch granules) อ่อนตัวลง (softening) และบวม (swelling) ซึ่งเตรียมความพร้อมสำหรับการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ระหว่างการนึ่ง การที่เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ดีขึ้นส่งผลให้โครงสร้างภายในนุ่มลง ทำให้ข้าวที่สุกแล้วมีความแข็งน้อยลง งานวิจัยของ Liu et al. (2020) พบว่าการแช่ข้าวฟ่างก่อนการหุงมีผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Jang et al. (2021) ได้ศึกษาการแช่ข้าวเจ้าชนิดต่างๆ และยืนยันว่าการแช่น้ำช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว ทำให้โครงสร้างแป้งภายในนุ่มลงและลดความแข็งของข้าวหุงสุกในที่สุด ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าความเหนียวเมื่อแช่น้ำนานขึ้นเกิดจากปัจจัยทางเคมีและโครงสร้างของแป้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) และการปลดปล่อยอะมิโลเพคติน (amylopectin) จากเม็ดแป้งที่บวมตัว การที่ข้าวดูดซับน้ำได้ดีขึ้นจากการแช่นานๆ จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวและเกิดเจลาติไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อเม็ดแป้งสลายตัวจะปลดปล่อยโมเลกุลของอะมิโลเพคตินออกมาเคลือบผิวของเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวเหนียวติดกันและเพิ่มค่าความเหนียว โดย Chen et al. (2022) ได้ทำการวิเคราะห์ผลของการแช่ต่อคุณสมบัติของข้าวชนิดต่างๆ พบว่าระยะเวลาการแช่ที่เหมาะสมช่วยเพิ่มการปลดปล่อยแป้งและโปรตีนบางส่วน ทำให้ข้าวที่สุกมีความเหนียวและนุ่มมากขึ้น นอกจากนี้ Sae-Eung et al. (2023) ได้ศึกษาข้าวเหนียวไทยและยืนยันว่าการแช่ที่นานขึ้นทำให้การดูดซึมน้ำดีขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเกิดเจลและค่าความเหนียวที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการแช่ในระยะเวลาสั้นๆ

นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งและความเหนียวเริ่มคงที่เมื่อแช่ข้าวตั้งแต่ 90 นาทีเป็นต้นไปจนถึง 600 นาที (10 ชั่วโมง) ซึ่งแสดงว่า มีระยะเวลาการแช่ที่เหมาะสมที่สุด (optimal soaking time) เมื่อแช่ถึงจุดอิ่มตัวของการดูดซึมน้ำแล้ว การแช่ต่อไปอีกในระยะเวลานานๆ จะไม่ทำให้คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญอีกต่อไป ซึ่งงานวิจัยของ Zhou et al. (2021) ชี้ให้เห็นว่าการดูดซึมน้ำของเมล็ดพืชมีอัตราที่ลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงอิ่มตัว โดยกระบวนการแพร่ของน้ำจะช้าลงอย่างมาก ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากถึงจุดอิ่มตัวแล้ว

ผลการวิจัยจากตารางนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ระยะเวลาในการแช่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกำหนดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียว โดยการแช่ที่นานขึ้นจะช่วยลดความแข็งและเพิ่มความเหนียวของข้าวเหนียวซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ผู้บริโภคทั่วไปต้องการ โดยมีจุดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งคุณสมบัติเริ่มคงที่หลังจากการแช่ประมาณ 90 นาที ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์อาหารและได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.16 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่มีระยะเวลาในการแช่ต่างกัน

ระยะเวลาแช่ (นาที)	ลักษณะเนื้อสัมผัส	
	ความแข็ง (g)	ความเหนียว (g)
30	11517.97^{a}±1130.59	139.93^{c}±21.78
60	9611.15^{b}±367.03	412.94^{b}±63.99
90	9142.80^{c}±638.16	890.14^{a}±90.11
120	9054.83^{c}±580.10	913.92^{a}±90.06
600	9052.71^{c}±556.13	915.62^{a}±39.03

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

4.4.4 ผลการศึกษาการแช่แข็งของข้าวเหนียวก่อนการทำแห้ง

นำข้าวเหนียวไปแช่น้ำ 90 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่เลือกได้จากข้อ 4.1.1 มาให้ความร้อนด้วยไอน้ำ แล้วนำไปทำการแช่แข็งเป็นเวลา 4 ระดับ ได้แก่ 0 1 2 และ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวเหนียวไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนข้าวเหนียวมีความชื้น 13-14 เปอร์เซ็นต์ ผลของการศึกษาการแช่แข็ง การแช่แข็งที่ระยะเวลาต่างกันส่งผลให้ค่าความหนาแน่น และอัตราการคืนรูปมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ความหนาแน่น และอัตราการคืนรูปของข้าวเหนียวแช่แข็ง

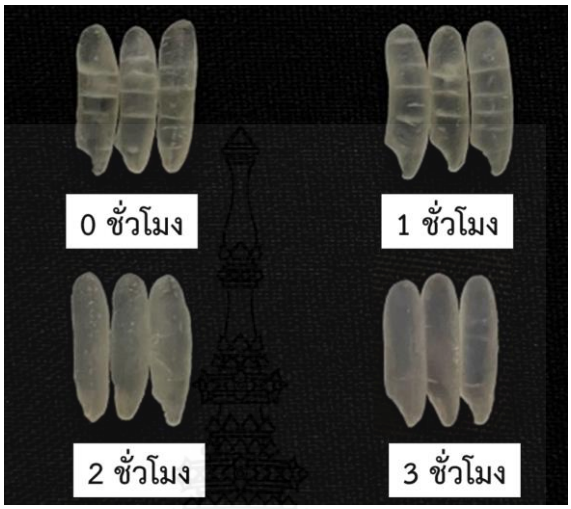
ระยะเวลาแช่แข็ง (ชั่วโมง)	ค่าความหนาแน่น (g/ml)	อัตราการคืนรูป
0	0.61^{a}±0.01	0.52^{a}±0.01
1	0.61^{a}±0.01	0.52^{a}±0.01
2	0.61^{a}±0.02	0.51^{a}±0.03
3	0.61^{a}±0.02	0.50^{a}±0.03

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการสังเกตลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการทำแห้ง พบว่าลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวมีรอยร้าวที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดเมื่อผ่านการแช่แข็ง 0-1 ชั่วโมง และมีรอยร้าวลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่แข็งเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.3 เนื่องจากการแช่แข็งในช่วงเวลา 0-1 ชั่วโมง มีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันน้อย เนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพกตินที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างแบบกิ่ง ซึ่งโครงสร้างของอะไมโลเพกตินจากพืชในกลุ่มของธัญพืชมีโครงสร้างเป็นแบบ A (A-Type) ซึ่งเป็นอะไมโลเพกตินสายสั้น จึงมีผลทำให้โครงสร้างของเจลอะไมโลเพกตินซึ่งเป็นเจลที่ไม่แข็งแรง (Copeland et al., 2009) เมื่อนำไปทำแห้งน้ำในโครงสร้างของเจลเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวและระเหยกลายเป็นไอ

เกิดความเสียหายจึงมีรอยร้าวมาก แต่เมื่อมีระยะเวลาในการแช่แข็งนานขึ้นอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวเหนียวจะสูงขึ้น (Yu et al., 2010) จึงทำให้น้ำอยู่ในโครงสร้างของเจลออกมา

นอกโครงสร้างได้มาก เมื่อได้รับความร้อนน้ำสามารถระเหยออกจากเมล็ดข้าวเหนียวได้ง่ายและไม่ดันโครงสร้างของเจล เป็นผลทำให้เมล็ดข้าวมีการแตกร้าวน้อยกว่าการแช่แข็งในช่วงแรก ดังรูปที่ 4.8



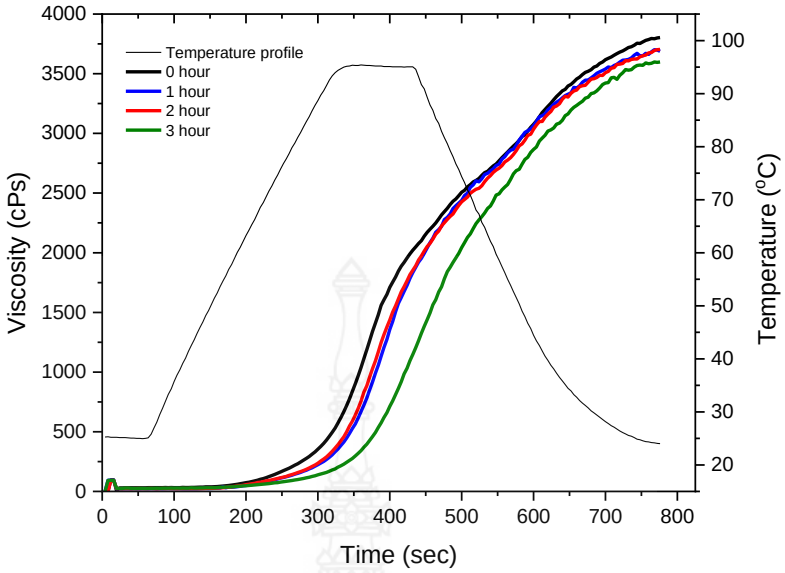
รูปที่ 4.8 ลักษณะของเมล็ดข้าวเหนียวที่แช่แข็งที่เวลาต่างๆ หลังการทำแห้ง

ตารางที่ 4.18 คุณภาพในการหุงต้มของข้าวเหนียวแช่แข็ง

ระยะเวลาแช่แข็ง (ชั่วโมง)	การวัดคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค	
	ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น	อัตราการดูดซับน้ำ
ข้าวเหนียวดิบ	1.55^{bc}±0.09	1.80^{c}±0.03
0	1.63^{ab}±.010	2.03^{a}±0.03
1	1.72^{a}±0.07	2.04^{a}±0.02
2	1.45^{c}±0.15	2.00^{b}±0.02
3	1.44^{c}±0.06	2.00^{b}±0.02

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำข้าวเหนียวไปทำการทดสอบคุณภาพการหุงต้ม พบว่าการแช่แข็งมีผลทำให้ปริมาตรของข้าวเหนียวหลังการหุงต้มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.19 โดยการแช่แข็งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะมีผลทำให้ได้ข้าวเหนียวที่มีปริมาตรมากที่สุด และมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากระหว่างการแช่แข็งมีผลให้เกิดการรีโทรเกรเดชันของข้าวเหนียวต่างกัน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ รูปที่ 4.8 การแช่แข็งข้าวเหนียวในช่วงแรกเมื่อนำมาทำแห้งทำให้เมล็ดข้าวมีการแตกร้าวมาก จึงสามารถดูดน้ำเข้าไปในเมล็ดข้าวได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการดูดซับน้ำของข้าวเหนียว เป็นผลให้ข้าวเหนียวขยายตัวและมีปริมาตรมาก การแช่แข็งที่เวลา 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับ สุภาภรณ์, (2545) พบว่าเมล็ดข้าวที่มีความเป็นรูพรุนจะมีอัตราการดูดซับน้ำสูงสามารถคืนรูปได้เร็วกว่าข้าวที่มีอัตราการดูดซับน้ำต่ำ



รูปที่ 4.9 ความหนืดของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่แข็งที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.19 ความหนืดของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการแช่แข็งที่เวลาต่างๆ

ระยะเวลาแช่แข็ง (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (^{o}C)	ความหนืดสูงสุด (RVU)	ความหนืดสุดท้าย (RVU)
0	88.08^{a}±4.47	1765.83^{a}±272.56	3722.67^{a}±75.08
1	81.40^{a}±13.39	1725.17^{a}±368.69	3653.50^{ab}±33.55
2	91.28^{a}±9.04	1022.83^{b}±127.52	3505.50^{bc}±71.57
3	85.71^{a}±10.10	1035.00^{b}±103.03	3366.17^{c}±301.07

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวเหนียวที่แช่แข็งที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า การแช่แข็งข้าวเหนียวที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนืด และความหนืดสุดท้ายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด เนื่องจาก ข้าวเหนียวมีระดับการเกิดเจลที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปแช่แข็งมีผลทำให้ค่าความหนืด และความหนืดสุดท้ายลดลง เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่แข็งเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.20) มีการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างมาก การจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีความหนาแน่นมากขึ้น ความหนืดจึงลดลง และเป็นผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่แข็ง 2-3 ชั่วโมง เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการดูดซับน้ำลดลง ดังตารางที่ 4.20 แต่การแช่แข็งมีผลทำให้ความเหนียวของข้าวเหนียวมีค่ามากกว่าการหุงข้าวด้วยวิธีปกติ

ตารางที่ 4.20 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่มีระยะเวลาในการแช่แข็งต่างกัน

ระยะเวลาแช่แข็ง (ชั่วโมง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส	
	ความแข็ง (g)	ความเหนียว (g)
Control	8539.85^{a}±288.59	862.17^{b}±96.38
0	7091.62^{bc}±162.08	1056.77^{a}±107.42
1	6811.01^{c}±94.30	1155.02^{a}±120.45
2	7438.95^{b}±367.61	1036.69^{a}±101.61
3	7780.79^{b}±361.44	1113.39^{a}±191.06

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาแช่ข้าวที่มีต่อลักษณะทางโครงสร้างผลึก (XRD) ของแป้งข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป

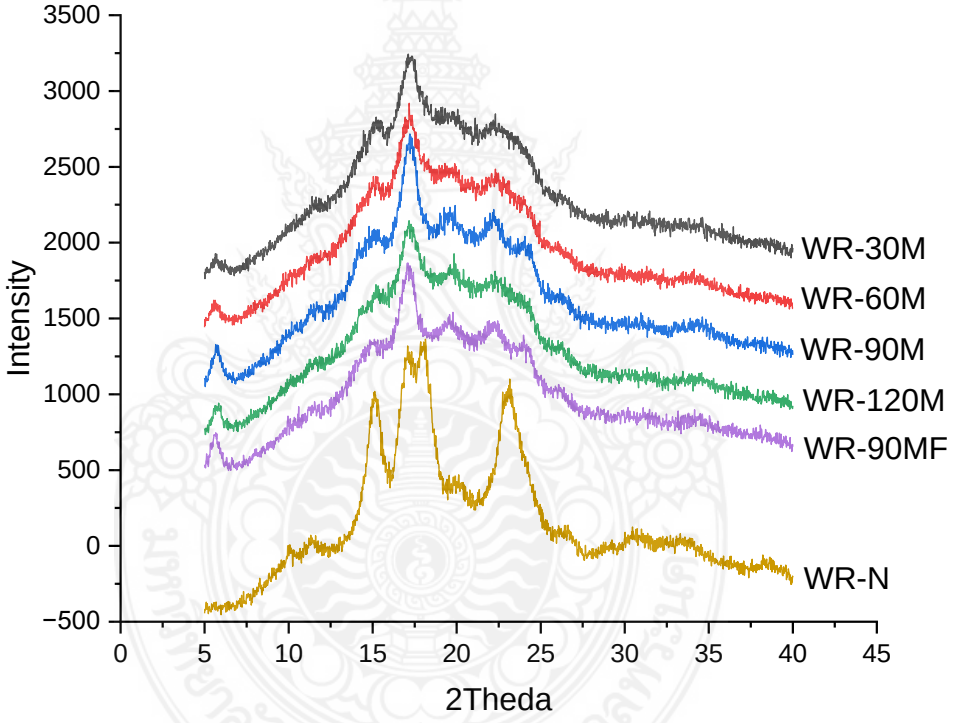
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึก (crystallinity) ของแป้งข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตโดยการแช่ข้าวสารในน้ำด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกันและการแปรรูปหลังการนึ่งที่แตกต่างกัน โดยปกติแล้วแป้งจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจะมีโครงสร้างผลึกแบบ A-type ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือมีพีคที่มุม 2θ ประมาณ 11.26°,15.06°, 17.03°, 18.05°, 20.10 และ 23.16° (Zhou et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่น่าสนใจของโครงสร้างผลึกหลังจากผ่านกระบวนการนึ่ง ข้าวสารดิบ (WR-N): กราฟ XRD ของข้าวสารดิบยืนยันลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบ A-type อย่างชัดเจน (รูปที่ 4.10) โดยมีพีคความเข้มสูงสุด (peak intensity) ที่มุม 2θ ประมาณ 17.5° ซึ่งเป็นคุณสมบัติของแป้งในสภาพแป้งดิบ (Native Starch)

ผลของเวลาแช่น้ำ (WR-30M, WR-60M, WR-90M, WR-120M): เมื่อเวลาแช่น้ำเพิ่มขึ้น โครงสร้างผลึกของแป้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ความสูงของพีค A-type ลดลงอย่างต่อเนื่อง และเมื่อเวลาแช่น้ำนานขึ้น พีคที่ 2θ ประมาณ 20° ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบ V-type เริ่มปรากฏขึ้นและมีความชัดเจนมากขึ้นเรื่อยๆ (รูปที่ 4.10) .ในขณะที่ความสูงของพีค A-type พีคที่ 2θ ประมาณ 15° และ 23° ลดความสูง การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลมาจากกระบวนการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ที่ทำให้โครงสร้างผลึกเดิมของแป้งแตกสลายออก และเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสและอะมิโลเพคตินกับน้ำหรือลิพิด ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกแบบ V-type (Wang et al., 2021)

นอกจากนี้ผลของการแช่แข็งก่อนทำแห้ง (WR-90MF): ตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งก่อนอบแห้ง (WR-90MF) แสดงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน (รูปที่ 4.10) โดยความสูงของพีคที่ 2θ ประมาณ 20° ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบ V-type เพิ่มขึ้นอย่างมาก และพบว่ามีพีค A-type ที่เกิดขึ้นใหม่หรือมีความสูงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้าง

ผลึกแบบ A+V-type (Wang et al., 2023) การแช่แข็งก่อให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) อย่างรุนแรง ซึ่งเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของอะไมโลเพคตินกลับมาจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึกใหม่ ซึ่งมีความเสถียรมากขึ้นและส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ในที่สุด (Zhou et al., 2021)

การศึกษาโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิค XRD ยืนยันว่ากระบวนการแปรรูปมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของแป้ง การแช่น้ำและการนึ่งทำให้โครงสร้างผลึกเดิมแบบ A-type แตกสลาย ส่วนการทำแห้งส่งเสริมให้เกิดโครงสร้างผลึกแบบ V-type ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้ง สำหรับการแช่งแข็งก่อนการทำแห้งทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันอย่างรุนแรง ส่งผลให้เกิดโครงสร้างผลึกแบบ A+V-type ซึ่งมีความแข็งแรงและคืนสภาพได้ยาก การค้นพบนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ



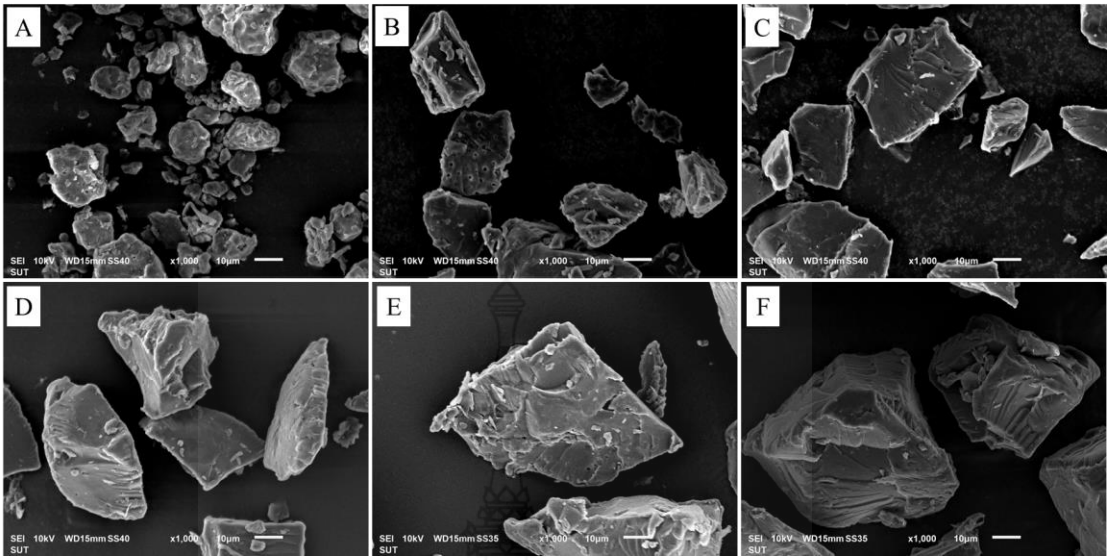
รูปที่ 4.10 ลักษณะทางโครงสร้างผลึก (Crytallinity) ของแป้งข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ใช้เวลาในการแช่ข้าวก่อนนึ่งแตกต่างๆ กัน ได้แก่ WR-N: ข้าวสารดิบ (Native), WR-30M: แช่ 30 นาที WR-60M: แช่ 60 นาที, WR-90M: แช่ 90 นาที, WR-120M: แช่ 120 นาที และ WR-90MF: แช่ 90 นาทีและทำการแช่แข็งก่อนอบแห้ง

4.4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาแช่ข้าวที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้เผยให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากเวลาในการแช่น้ำก่อนการนึ่ง (รูปที่ 4.11) . การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนโดยตรงถึงกระบวนการทางกายภาพและเคมีของแป้ง และมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย จากการวิเคราะห์ภาพ SEM พบว่าเม็ดแป้งในข้าวสารดิบ (A) มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมและมีพื้นผิวเรียบ (Srijesat et al., 2022) อย่างไรก็ตาม เมื่อผ่านกระบวนการแช่น้ำและนึ่ง โครงสร้างของเม็ดแป้งได้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เมื่อนำข้าวไปแช่น้ำ 30 นาที (B) เม็ดแป้งยังคงรักษารูปทรงเดิมไว้ได้มาก แต่เริ่มมีการบวมตัวเล็กน้อยและปรากฏรอยแตกบนพื้นผิว ซึ่งบ่งชี้ว่าการดูดซึมน้ำยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) อย่างสมบูรณ์ การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ข้าวในน้ำเป็น 60 และ 90 นาที (C, D) เม็ดแป้งเริ่มบวมตัวอย่างชัดเจนมากขึ้น พื้นผิวเริ่มขรุขระและสูญเสียรูปทรงหลายเหลี่ยมเดิมไป ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการที่เม็ดแป้งดูดซับน้ำและขยายตัวเพื่อเปลี่ยนสภาพเป็นเจล (Wang et al., 2021) ส่วนการแช่ข้าวที่เวลา 120 นาที (E) เม็ดแป้งส่วนใหญ่ได้ผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์ พื้นผิวปรากฏเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดใหญ่และไม่เหลือเค้าโครงเดิมของเม็ดแป้ง การเปลี่ยนแปลงนี้แสดงถึงการดูดซับน้ำที่เต็มที่และการคลายตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ภายในเม็ดแป้งอย่างสมบูรณ์ (Wang et al., 2023)

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่แช่น้ำ 90 นาทีแต่ไม่ได้ผ่านการแช่แข็ง (D) กับตัวอย่างที่แช่น้ำ 90 นาทีและผ่านการแช่แข็งก่อนอบแห้ง (F) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการแช่แข็งอย่างชัดเจน ภาพ SEM ของตัวอย่าง (F) แสดงให้เห็นโครงสร้างที่แน่นและแข็งขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์ Retrogradation ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเม็ดแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้วสูญเสียน้ำและโมเลกุลของอะมิโลเพคตินกลับมาจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึกที่แข็งและเป็นระเบียบมากขึ้น (Zhou et al., 2021) การแช่แข็งเร่งให้เกิดกระบวนการนี้ ทำให้โครงสร้างของแป้งแน่นและไม่สามารถดูดซับน้ำได้ดีเท่าที่ควรเมื่อนำไปปรุงอาหารอีกครั้ง

ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วย SEM ยืนยันว่า เวลาในการแช่น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดแป้งในข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป การแช่น้ำที่เหมาะสมช่วยส่งเสริมให้เกิดการเจลาติไนซ์ที่สมบูรณ์ ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณรูปที่ดีขึ้นและพร้อมสำหรับการคืนสภาพ (rehydration) เพื่อการบริโภค ในทางตรงกันข้าม การแช่แข็งก่อนการอบแห้งก่อให้เกิดกระบวนการรีโทรเกรเดชันอย่างรุนแรง ทำให้โครงสร้างของแป้งแน่นและแข็งขึ้นอย่างถาวร ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้งานในภายหลัง การค้นพบนี้จึงเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับผู้ผลิตในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปให้ดีที่สุด



รูปที่ 4.11 ภาพจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบสแกน (SEM) ของแป้งข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่ใช้เวลาในการแช่ข้าวก่อนนึ่งแตกต่างๆ กัน (A) ข้าวสารดิบ (Native) (B) แช่ 30 นาที (C) แช่ 60 นาที (D) แช่ 90 นาที (E) แช่ 120 นาที และ (F) แช่ 90 นาทีและทำการแช่แข็งก่อนอบแห้ง

4.4.7 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการแช่ข้าวสารที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวนึ่งสำเร็จรูป

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวนึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมจากข้าวสารที่ผ่านการแช่น้ำด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับคุณสมบัติการดูดซับน้ำของธัญพืชดังแสดงในตารางที่ 4.21 โดยค่า ความชื้น ของข้าวนึ่งสำเร็จรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการแช่ในทุกตัวอย่างข้าว ค่าเริ่มต้นของความชื้นในข้าวนึ่งจากข้าวนาปีเก่า (OR) คือ 10.19% และเพิ่มขึ้นเป็น 12.52% เมื่อแช่ 120 นาที ในทำนองเดียวกัน ตัวอย่างข้าวนาปรังใหม่ (ND) มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.62% เป็น 13.66% สำหรับตัวอย่างที่แช่ 120 นาที ในทางตรงกันข้าม ค่าร้อยละของสารอาหารหลัก ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต และ โปรตีน มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่าคาร์โบไฮเดรตในข้าวนาปีเก่าลดลงจาก 82.27% (ไม่แช่) เหลือ 79.87% (แช่ 120 นาที) และค่าโปรตีนลดลงจาก 6.75% เหลือ 7.08% ในช่วงเดียวกัน ซึ่งค่าเหล่านี้ถือว่ามีความผันแปรน้อยมาก การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ชี้ว่าสารอาหารสูญหายไปจากการแช่ แต่เป็นผลมาจากการที่ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นไปเจือจางความเข้มข้นของสารอาหารเหล่านี้เมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ (dry weight basis)

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่สังเกตได้จากผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้จากการดูดซับน้ำของข้าวสารในระหว่างกระบวนการแช่ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมข้าวนึ่งสำเร็จรูป อิทธิพลของการดูดซับน้ำ: การที่ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาแช่นานขึ้นเป็นการยืนยันว่าเม็ดข้าวสามารถดูดซึมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการนี้ทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งอ่อนตัวลงและทำให้การเกิดเจลลาติไนเซชันสมบูรณ์ขึ้นในระหว่างการนึ่ง ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Ju et al., 2011) ความผันแปรของสารอาหาร: การลดลงของค่าร้อยละของ

คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นปรากฏการณ์ปกติที่พบได้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ผ่านกระบวนการไฮเดรชันหรือดูดซับน้ำ โดยสารอาหารที่แท้จริงในปริมาณน้ำหนักแห้งยังคงอยู่เกือบจะเท่าเดิม และความสำคัญในเชิงอุตสาหกรรม: การควบคุมค่าความชื้นของข้าวนึ่งสำเร็จรูปมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ความนุ่มและความเหนียว (Oli et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เนื่องจากความชื้นที่สูงเกินไปอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการกำหนดเวลาในการแช่จึงเป็นมาตรการควบคุมคุณรูปที่สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงและคงมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งสำเร็จรูปได้ โดยสรุปแล้วการแช่ข้าวสารก่อนการนึ่งมีผลกระทบหลักต่อปริมาณความชื้นของข้าวนึ่งสำเร็จรูป ซึ่งส่งผลต่อร้อยละของสารอาหารอื่นๆ เมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ การควบคุมกระบวนการแช่เป็นสิ่งสำคัญในการจัดการคุณภาพทางกายภาพและอายุการเก็บรักษาของข้าวนึ่งสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.21 องค์ประทางเคมีของข้าวนึ่งสำเร็จรูป (Proximate analysis) ที่เตรียมจากข้าวสารที่แช่น้ำด้วยระยะเวลาแตกต่างกันก่อนการนึ่ง

ตัวอย่าง	เวลาแช่ (นาที)	พลังงาน (kcal/100 g)	เถ้า (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)
ข้าวนาปรังใหม่ (ND)	0	354.59	0.27	80.65	11.62	7.03	0.43
	30	354.39	0.24	80.51	11.70	7.12	0.43
	60	349.64	0.22	79.46	12.92	6.96	0.44
	90	350.75	0.23	79.89	12.62	6.83	0.43
	120	346.63	0.22	78.72	13.66	6.97	0.43
ข้าวนาปีเก่า (OR)	0	360.58	0.29	82.27	10.19	6.75	0.50
	30	356.13	0.18	81.04	11.30	7.07	0.41
	60	350.65	0.18	80.02	12.57	6.90	0.33
	90	350.23	0.17	79.59	12.81	7.00	0.33
	120	350.95	0.18	79.87	12.52	7.08	0.35
ข้าวนาปีใหม่ (NR)	0	356.16	0.25	80.67	11.21	7.47	0.40
	30	352.24	0.20	80.71	12.24	6.45	0.40
	60	347.23	0.19	79.37	13.49	6.56	0.39
	90	349.75	0.22	79.96	12.78	6.69	0.35
	120	350.52	0.17	80.35	12.60	6.56	0.32

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ขยายจาก 7 ครัวเรือนเป็น 171 ครัวเรือน มีพื้นที่นาเกือบ 1,783 ไร่ ผลิตข้าว “ข้าวอิ่ม” และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าวฮางงอก (Product Champion), ผงชงดื่มจมูกข้าว ไอศกรีมข้าว และน้ำจมูกข้าว ได้มาตรฐานออร์แกนิค ฮาลาล และ OTOP 4 ดาว กำไรสูงสุดต่อหน่วยคือผงชงดื่มจมูกข้าว 300% รายได้สูงสุดจากข้าวฮางงอก 36.3% ของรายได้รวม ช่องทางจำหน่ายทั้งหน้ากลุ่ม งานนิทรรศการ ร้าน Agro outlet และออนไลน์ ได้รับสนับสนุนจากภาครัฐ ธนาคาร และสถาบันการศึกษา แม้มีความเข้มแข็ง กลุ่มยังเผชิญปัญหาน้ำไม่เพียงพอ ขาดเทคโนโลยีแปรรูป ทำตลาดออนไลน์ไม่ต่อเนื่อง ขาดทุนทางการเงิน และบรรจุภัณฑ์/ตราสินค้าไม่โดดเด่น จึงควรสนับสนุนเครื่องจักร เทคโนโลยีการผลิต การฝึกอบรม และสร้างเครือข่ายการตลาดเพื่อยกระดับกลุ่มสู่ความยั่งยืน

5.1.2 ชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียวในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา อายุ 41–60 ปี มีอาชีพหลักคือปลูกข้าวเหนียว พื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ย 10–25 ไร่ ปัญหาหลักคือราคาข้าวผันผวน พึ่งพาพ่อค้าคนกลาง ภัยธรรมชาติ ต้นทุนสูง และขาดโอกาสแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า เกษตรกรสนใจพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่นุ่ม เหนียว และหอม แต่เข้าถึงเทคโนโลยี เช่น เครื่องนึ่งอัตโนมัติ การบรรจุสุญญากาศ และการเก็บรักษาแบบควบคุมอุณหภูมิ ยังน้อย การวิเคราะห์ SWOT ของกลุ่มพบ จุดแข็งคือความร่วมมือภายในกลุ่ม โรงสีขนาดเล็ก และผู้นำมีความสามารถ จุดอ่อนคือขาดความรู้ด้านแปรรูป การตลาด และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ โอกาสคือการลดต้นทุนและสร้างเครือข่ายการตลาด ขณะที่ข้อจำกัดคือคู่แข่ง ราคาข้าวขึ้นอยู่กับตลาด และภัยธรรมชาติ ข้อเสนอแนะคือสนับสนุนเครื่องจักรและเทคโนโลยีการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป พัฒนาแบรนด์และบรรจุภัณฑ์ ประชาสัมพันธ์ผ่านออนไลน์และตลาดสุขภาพ ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ และรับการสนับสนุนจากภาครัฐเพื่อสร้างความยั่งยืน

5.1.3 การศึกษาเปรียบเทียบข้าวเหนียว 4 ชนิด (นาปีเก่า/ใหม่, นาปรังเก่า/ใหม่) พบความแตกต่างด้านความยาว รูปร่าง และความใส/ขาว ข้าวนาปียาวกว่า ข้าวเก่าขาวทึบและแข็ง ข้าวใหม่ขาวนวล ความแตกต่างเกิดจากสายพันธุ์ ฤดูกาลเพาะปลูก และอายุการเก็บรักษา ข้อมูลเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวต่อไป

1) ข้าวเหนียวเป็นธัญพืชที่มีอะไมโลสต่ำและอะไมโลเพกตินสูง ทำให้สามารถดูดน้ำและพองตัวได้ดี การแช่ข้าวก่อนนึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพเม็ดข้าวและเนื้อสัมผัส ผลการศึกษาพบว่าข้าวเก่า (OR, OD) มีความสามารถในการดูดน้ำสูงกว่า ทำให้ความยาวของเม็ดเพิ่มขึ้น พองตัวดีขึ้น และปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ช่วยให้เจลาติไนเซชันเกิด

ง่าย ทำให้ข้าวนึ่งมีเนื้อนุ่มและเหนียวมากขึ้น ดังนั้น การแช่ข้าวในระยะเวลาที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตข้าวเหนียวนึ่งคุณภาพสูง

2) การแช่ข้าวมีผลต่อความชื้นของข้าวเหนียว โดยข้าวดูดซับน้ำเร็วภายใน 30 นาที และถึงจุดอิ่มตัวประมาณ 60 นาที หลังอบแห้ง ความชื้นคงที่เหมาะสำหรับการเก็บและป้องกันจุลินทรีย์ ระยะเวลาแช่ส่งผลต่อขนาดเม็ด ขณะที่ชนิดข้าวส่งผลต่อปริมาณอะไมโลส ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดข้าวกับเวลาแช่มีผลต่อความชื้นและอะไมโลส การปรับเวลาแช่และเลือกชนิดข้าวเหมาะสมจึงสำคัญต่อการนึ่งให้ข้าวเหนียวมีเนื้อนุ่มสม่ำเสมอและคุณภาพดี

3) การแช่ข้าวในน้ำส่งผลต่อโครงสร้างภายในเม็ดแป้งและกระบวนการเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวเหนียว ข้าวเก่ามีแนวโน้มให้ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลและเอนทาลปีลดลง เนื่องจากน้ำช่วยทำให้โครงสร้างอะไมโลเพกตินอ่อนตัว ขณะที่ข้าวใหม่มีผลกระทบน้อย สำหรับข้าวนาปรังเก่าการแช่เป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของแป้ง ส่งผลให้เอนทาลปีสูงขึ้น การวิเคราะห์สถิติชี้ให้เห็นว่าชนิดของข้าวมีผลต่ออุณหภูมิและเอนทาลปีอย่างชัดเจน ส่วนเวลาแช่มีแนวโน้มส่งผลต่อเอนทาลปี และปฏิกิริยาร่วมระหว่างชนิดข้าวกับเวลาแช่มีผลต่อเอนทาลปีอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าข้าวแต่ละชนิดตอบสนองต่อการแช่น้ำแตกต่างกัน ความเข้าใจในผลเหล่านี้มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพและการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวในเชิงอุตสาหกรรม

4) การแช่ข้าวสารในน้ำมีผลต่อคุณสมบัติการไหลและการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าวเหนียว โดยเฉพาะข้าวเก่าที่ค่า Peak Viscosity ลดลงตามเวลาแช่ ค่า Breakdown และ Setback ลดลง ทำให้เม็ดแป้งอ่อนและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นุ่มขึ้น ขณะที่อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันคงที่ ชนิดและอายุของข้าวมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติเหล่านี้ การควบคุมเวลาแช่จึงสำคัญต่อคุณภาพและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

5.1.4 การศึกษาอิทธิพลของชนิดข้าวสารและระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

1) ระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวมีผลอย่างชัดเจนต่อความชื้นและคุณภาพของเมล็ด ข้าวที่แช่ 0–30 นาทีดูดซึมน้ำน้อย ทำให้การเกิดเจลต่ำ เมล็ดทึบและมีความหนืดสูง แต่การแช่ 60 นาทีขึ้นไปช่วยให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำมาก เกิดเจลาติไนเซชันสูง เมล็ดโปร่งใสและเนื้อนุ่มขึ้น อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลดลงตามเวลาแช่และคงที่ตั้งแต่ 60 นาทีขึ้นไป ดังนั้น การแช่ข้าว 60 นาทีขึ้นไปจึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการเตรียมข้าวเหนียวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดี

2) การทดลองพบว่าชนิดข้าวและระยะเวลาแช่น้ำมีผลสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป ข้าวนาปีใหม่ (NR) แสดงการดูดซึมน้ำได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ ทำให้เมล็ดข้าวโปร่งใสและคงรูปสมบูรณ์เมื่อแช่น้ำ 120 นาที แสดงถึงโครงสร้างแป้งที่ยืดหยุ่นและไม่มีการจัดเรียงตัวแน่น ในทางตรงกันข้าม ข้าวนาปรังเก่า (OD) ดูดซึมน้ำได้ช้ากว่า เกิดรอยแตกของเมล็ดมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการ retrogradation ทำให้โครงสร้างแป้งแข็งและซึมน้ำได้ยาก ปริมาณอะมิโลสที่สูงกว่าในข้าวนาปรังยังเป็นปัจจัยที่เพิ่มความแข็งของเม็ดแป้งและทำให้เกิดรอยแตกง่ายขึ้น ดังนั้น ข้าวนาปีใหม่ที่แช่น้ำ 120 นาทีถือว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำดี การเกิดเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ และโครงสร้าง

เมล็ดข้าวคงรูป ผลการทดลองนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกวัตถุดิบและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่มีคุณภาพสูงสุด

3) ชนิดข้าวและเวลาแช่น้ำมีผลสำคัญต่อคุณสมบัติข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป ข้าวนาปีใหม่ดูดซึมน้ำได้เร็วและสม่ำเสมอ ทำให้เมล็ดโปร่งใส คงรูปสมบูรณ์ และเกิดเจลาติไนเซชันเต็มที่เมื่อแช่ 120 นาที ในขณะที่ข้าวนาปรังเก่าดูดซึมน้ำน้อยกว่า เกิดรอยแตกของเมล็ดมากขึ้น เนื่องจากโครงสร้างแป้งแข็งและปริมาณอะมิโลสสูง ข้าวนาปีใหม่จึงเหมาะที่สุดสำหรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปคุณภาพสูง

4) การแช่แข็งข้าวเหนียวมีผลต่อปริมาตรและความหนืดหลังการหุงต้มอย่างชัดเจน การแช่ 1 ชั่วโมงให้ปริมาตรสูงสุด เนื่องจากเมล็ดแตกร้าวและดูดซับน้ำได้ดี แต่เมื่อแช่ 2–3 ชั่วโมง ปริมาตรและความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการรีโทรเกรเดชันของแป้งอะไมโลเพกตินที่เพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างแป้งแน่นขึ้น สูญเสียน้ำมากขึ้น และลดความสามารถในการดูดซับน้ำ แม้อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดจะไม่แตกต่าง การลดลงของความหนืดสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเมล็ดข้าว

5) การวิเคราะห์ XRD พบว่าระยะเวลาแช่และกระบวนการแปรรูปมีผลต่อโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียว แป้งจากข้าวดิบมีโครงสร้าง A-type ชัดเจน แต่เมื่อแช่น้ำนานขึ้น พีค A-type ลดลง ขณะที่โครงสร้าง V-type ปรากฏมากขึ้น แสดงถึงการเจลาติไนเซชันและการจัดเรียงใหม่ของแป้ง การแช่แข็งก่อนอบแห้งทำให้เกิดโครงสร้างผสม A+V-type ซึ่งเสถียรมากขึ้น การควบคุมเวลาแช่และวิธีแปรรูปจึงสำคัญต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์

6) การศึกษา SEM พบว่าระยะเวลาแช่ข้าวส่งผลต่อรูปร่างและพื้นผิวของเม็ดแป้ง ข้าวดิบมีเม็ดหลายเหลี่ยมและพื้นผิวเรียบ การแช่ 30–90 นาทีทำให้เม็ดบวม แตกเล็กน้อย และพื้นผิวขรุขระจนเข้าสู่การเจลาติไนเซชัน เมื่อแช่ 120 นาที เม็ดแป้งมีรูพรุนและสูญเสียรูปทรงเดิม ส่วนตัวอย่างแช่แข็งก่อนอบแห้งมีโครงสร้างแน่นขึ้นจากรีโทรเกรเดชัน ทำให้ดูดซับน้ำน้อย การควบคุมเวลาแช่และการแช่แข็งจึงสำคัญต่อคุณภาพและการคืนสภาพของผลิตภัณฑ์

7) ระยะเวลาแช่ข้าวมีผลโดยตรงต่อความชื้นของข้าวนึ่งสำเร็จรูป โดยความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามเวลาการแช่ ขณะที่ร้อยละคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันลดลงเล็กน้อย จากการเจือจางของน้ำ ไม่ได้เกิดจากการสูญเสียสารอาหาร การดูดซับน้ำช่วยให้เม็ดข้าวอ่อนตัวและเกิดเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ ส่งผลต่อความนุ่มและความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ขณะเดียวกัน ความชื้นสูงเกินไปอาจกระทบต่ออายุการเก็บรักษา ดังนั้น การควบคุมเวลาแช่จึงสำคัญต่อการรักษาคุณภาพและมาตรฐานของข้าวนึ่งสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการจัดหาเครื่องนึ่งอัตโนมัติ เครื่องอบแห้ง เครื่องบรรจุสุญญากาศ และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

5.2.2 ปรับกระบวนการแช่ข้าวอย่างเหมาะสม โดยควบคุมเวลาและอุณหภูมิการแช่ข้าวให้เหมาะสม โดยเฉพาะข้าวนาปีใหม่ที่แช่น้ำ 120 นาที เพื่อให้เกิดการดูดซับน้ำเต็มที่และเจลาติไนเซชันสมบูรณ์

5.2.3 ควรออกแบบบรรจุภัณฑ์และสร้างเอกลักษณ์ตราสินค้าให้โดดเด่น เพิ่มมูลค่าและความสามารถแข่งขันทั้งในตลาดออฟไลน์และออนไลน์

5.2.4 ควรจัดอบรมให้เกษตรกรเข้าใจคุณสมบัติข้าว เทคนิคการแช่ การเจลาติไนเซชัน และทักษะด้านการตลาดและการจัดจำหน่าย

5.2.5 สร้างเครือข่ายการตลาดและสนับสนุนภาครัฐ พัฒนาช่องทางจำหน่ายและเครือข่ายผู้ค้าส่ง ร้านค้าปลีก และตลาดสุขภาพ เพื่อลดความเสี่ยงจากพ่อค้าคนกลาง เพิ่มรายได้ และสร้างความยั่งยืนให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. (2559). **องค์ความรู้เรื่องข้าว.** ค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2563, จาก http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Varieties.htm

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกลู ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง.** (พิมพ์ครั้งที่ 3), กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กุลวดี ศรีสุวรรณ และคณะ. (2562). *วิถีชีวิตและการปลูกข้าวเหนียวของเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*. วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์, 8(2), 45-60.

แก้วแสนชัย ณ. ., & ทวีกุล ไ. . (2023). แนวทางการส่งเสริมและพัฒนาวิสาหกิจชุมชนศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนบ้านโนนรัง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น. วารสารเกษตรพระวรุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 20(1), 65–72.

ข้อมูลโภชนาการ. (ม.ป.ป.). **คุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียว.** ค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2563, จาก https://www.calforlife.com/th/calories/rice-white-glutinous-cooked

จรัสกร วรวสุนธรา. (2560). การสื่อสารการตลาดดิจิทัลบนเส้นทางการการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคที่ส่งผลต่อการซื้อสินค้าประเภทแฟชั่นผ่านเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ชาคริต ดิเรกวัฒนชัย. (2010), ชีวิตเร่งรีบแต่ต้องดูดี. **Quality for Marketing & Branding,** 92(16), 92-94.

ชุติมา แสงทอง และคณะ. (2564). *การบรรจุสุญญากาศเพื่อยืดอายุข้าวเหนียวนึ่ง*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, 27(1), 77-85.

ธงพล พรหมสาขา ณ สกลนคร และอุทิศ สังขรัตน. (2556). แนวทางการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กและขนาดจิ๋วในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นุชสราคำมัน1*ธานินทรคงศิลา2และพัฒนาสุขประเสริฐ. (2561). ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของวิสาหกิจชุมชนในอำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี. วารสารการวิจัยกาสะลองคำ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 9(2), 131–146.

ประสิทธิ์ ภักดี และคณะ. (2563). *นโยบายรัฐกับการสนับสนุนเกษตรกรรายย่อย*. วารสารเกษตรศาสตร์, 12(3), 102-117.

ฝ่ายส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน. (2564). กลยุทธ์การส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน. เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม 2564. สืบค้นจาก http://www.sceb.doae.go.th/Documents/Strategy_sceb.pdf

พัดชา เศรษฐากา. (2560). พืชยุทธศาสตร์เฉพาะถิ่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2547). โครงสร้องของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน. ค้นเมื่อ 16 สิงหาคม 2563, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0184/amylose

วสันต์ ชัยพรม. (2560). *การจัดการปัจจัยการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในภาคอีสาน*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2017). ข้าวเหนียวหุงสุกเร็ว. ค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2563, จาก https://www3.rdi.ku.ac.th

ศิริพักตร์ ฐานิสโร. (2553). การศึกษาปัญหาและกำหนดลยุทธ์ธุรกิจและกลยุทธ์การตลาดเพื่อเพิ่มผลประกอบการในธุรกิจข้าวบรรจุถุง กรณีศึกษาข้าวบรรจุถุงมาบุญครองของ บริษัท ปทุมไรซ์มิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน). (บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. (2564). การขึ้นทะเบียนรายชื่อศูนย์ข้าวชุมชน. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2565. สืบค้นจาก https://drive.google.com/file/d/1hJ7cj3HRrnJmmyw60Ep6wfbrFfn-yVrL/view

สำนักงานเกษตรอำเภอเมืองขอนแก่น. (2563). แผนส่งเสริมและพัฒนาเกษตรอำเภอเมืองขอนแก่น ปี 2562. ขอนแก่น: สำนักงานเกษตรอำเภอเมืองขอนแก่น

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2564. สืบค้นจาก https://www.nesdc.go.th/download/plan12.pdf

สุกัญญา แก้วคำ. (2561). *ปัญหาการตลาดข้าวของเกษตรกรรายย่อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*. วารสารเศรษฐศาสตร์การเกษตร, 5(1), 15-28.

สุภาภรณ์ ธัญญะวานิช. (2545). การปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (พิมพ์ครั้งที่ 3), กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adu-Kwarteng, A. B., Anokye, A. A., Gbewonyo, S., & Baffoe, A. (2023). Influence of Variety and Grain Age on Cooking and Sensory Properties of Rice. Journal of Food Quality, 2023, 1–7.

Anthony C. Dona; Guilhem Pages; Robert G. Gilbert; Philip W. Kuchel (2010). Digestion of starch: In vivo and in vitro kinetic models used to characterise oligosaccharide or glucose release. , 80(3), 599–617.

Biliaderis, C. G. (1991). The structure and rheology of starches. Food Chemistry, 40(1), 1-22.

Bouda-Aguilar M., Taboade-Rodriguez A. and Lopez-Gomez A. (2013). Quick cooking rice by high hydrostatic pressure processing. LWT-Food Science and Technology. 51, 196-204.

Chen, H., Li, S., & Wang, Y. (2022). Effects of soaking on the quality of cooked rice. Food Chemistry, 375, 131922.

Copeland L., Blazek J., Salman H. and Tang M.C. (2009). Form and functionality of starch. Food Hydrocolloids. 23, 1527-1534.

FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gilbert, L. R. A. F. B. (2008). EP Gidley MJ A novel approach for calculating starch crystallinity and its correlation with double helix content: a combined xrd and nmr study. Biopolymers, 89(9), 761-768.

Han J. and Lim S. (2009). Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice. Cereal Chemistry. 86, 100-105.

Hou C., Zhao X., Tian M., Zhou Y., Yand R., Gu Y. and Wang P. (2020). Impact of water extractable arabinoxylan with different molecular weight on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. Food Chemistry. 318, 126-477.

Jang, H. J., Kim, K. H., Lee, J. Y., & Lee, S. H. (2021). The effect of soaking time and temperature on the physicochemical properties of cooked rice. Journal of Cereal Science, 98, 103197.

Ju, D., Lee, S., Kim, Y., & Lee, S. (2011). Effect of soaking and steaming on the proximate composition, amino acid and fatty acid composition of brown rice. Food Science and Biotechnology, 20(3), 855-862.

Kim, W., Kim, S. K., & Moon, S. H. (2011). Effect of harvest year on physicochemical and pasting properties of waxy rice starches. Food Science and Biotechnology, 20(3), 855-862.

Kim, Y. G., Kim, J., & Lee, S. (2017). Effect of soaking time on the physicochemical and pasting properties of rice flour. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 60(4), 451-458.

Kongseree, N., & Wongs-Aree, C. (2015). Effect of storage period on physical properties and cooking quality of glutinous rice. Journal of Food Science and Technology, 52(10), 6330–6336.

Kubo, Y., et al. (2018). “Quality Preservation of Cooked Rice by Rapid Cooling and Packaging Technology.” *Journal of Food Engineering*, 231, 23–30.

Lertworasirikul, A., & Nuchsongklan, T. (2017). Effects of soaking on quality of sticky rice. Journal of Food Science and Agricultural Technology, 1(2), 55-60.

Leksawasdi, N., & Panyakaew, K. (2018). The effect of planting season on physical and chemical properties of Thai glutinous rice. Journal of Agricultural Science, 10(2), 115-121.

Li, C. (2022). Recent progress in understanding starch gelatinization-An important property determining food quality. Carbohydrate Polymers, 293, 119735.

Liu, X., Wang, H., & Zhang, Q. (2020). Impact of soaking on the textural and structural properties of cooked millet. LWT - Food Science and Technology, 120, 108920.

Mittal, G. S., & Weng, Y. (2005). Effect of soaking on cooking quality of rice. Journal of Food Engineering, 66(1), 1-8.

Nugroho, H., Setyani, R., & Rahayu, R. (2022). The effect of soaking time and temperature on the physicochemical properties of glutinous rice flour. Journal of Food Science and Technology, 59(8), 3291-3301.

Oli, K., Kumar, A., & Pande, S. (2015). Effect of soaking and steaming on the proximate composition and cooking properties of rice varieties. Journal of Food Science and Technology, 52(8), 5174-5182.

Pansa-ead V., Huaisan K., Yangyeun S. and Wiriyaumpaiwong S. (2014). Pre-processing glutinous rice effects on textural and morphological changes. Journal of Food, Agriculture & Enviroment. 12, 115-121.

Park, S. G., Oh, S. H., Hong, J. T., & Park, H. J. (2012). Pasting and rheological properties of waxy and non-waxy rice starches. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 55(4), 519-526.

Rerkchai, A., & Nuchsongklan, T. (2018). The effect of soaking time and temperature on the physical properties of glutinous rice. International Journal of Agricultural Technology, 14(1), 1-8.

Riyanto, R., Lertworasirikul, A., & Nuchsongklan, T. (2018). Physicochemical properties and gelatinization characteristics of glutinous rice from different cultivars. Food Science and Technology International, 24(5), 458-467.

Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Rheological and thermal properties of starches from different rice varieties. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(13), 2133–2141.

Sae-Eung, T., Thongkum, A., & Sirichote, T. (2023). Influence of pre-gelatinization and soaking on the texture of glutinous rice. International Journal of Food Science and Technology, 58(4), 1891-1899.

Sakač, M., Mišan, A., Marić, M., & Velić, D. (2015). Thermal properties of starch. In J. L. Kokini, J. L. Zaidul, T. G. S. Zaidul, & S. M. Hossain (Eds.), Food Properties Handbook: Physical, Chemical, and Biological Properties (pp. 531–558). CRC Press.

Sanyang, M. L., Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., & Jumaidin, R. (2017). Sugar palm starch-based composites for packaging applications. In Bionanocomposites for packaging applications (pp. 125-147). Cham: Springer International Publishing.

Seung, D. (2020), Amylose in starch: towards an understanding of biosynthesis, structure and function. New Phytol, 228: 1490-1504.

Singh, J., Kaur, L., & Singh, N. (2005). Effects of soaking on thermal and pasting properties of rice starches. Journal of Food Science and Agricultural Technology, 85(4), 167-173.

Srijesat, A., Rattanaporn, K., & Kongtong, Y. (2022). Effects of pre-gelatinization and rehydration conditions on physicochemical properties of glutinous rice flour. Food Science and Technology International, 28(7), 585-594.

Srinives, P., & Lertmongkol, C. (2011). Classification of glutinous rice varieties based on physicochemical properties and amylose content. Science Asia, 37(3), 209-215.

Tananuwong, K., & Tansakul, T. (2011). Effect of drying on the physicochemical properties of glutinous rice. Food Science and Technology International, 17(5), 455-463.

Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of starch granules. Cereal Foods World, 35(5), 456-460.

Tian Y., Zhao J., Xie Z., Wanf J. and Xu Xueming. (2014). Effect of different pressure-soaking treatments on color, texture morphology and retrogradaton properties of cooked rice. LWT-Food Science and Technology. 55, 368-373.

Tukomane, C., Suksawat, P., & Pongpattana, P. (2005). Effect of soaking and drying on the pasting and thermal properties of rice flour. Food Chemistry, 92(4), 723–729.

Varith, J., & Sirisomboon, P. (2017). Effects of aging on physicochemical properties and milling quality of Thai glutinous rice. Journal of Food Science and Agricultural Technology, 3(1), 1-8.

Wang, C., Li, S., Wang, R., Huang, S., Chen, Y., Yu, D., & Yang, B. (2023). Effects of storage conditions on the physicochemical properties and cooking quality of aged rice. Food Chemistry, 404, 134766.

Wang, C., Li, S., Wang, R., Huang, S., Chen, Y., Yu, D., & Yang, B. (2023). Effects of storage conditions on the physicochemical properties and cooking quality of aged rice. Food Chemistry, 404, 134766.

Wang, J., Wang, R., Su, Y., Zhao, S., Zhang, S., Gu, C., & Zhang, Y. (2021). Effects of different heating methods on the structure and physicochemical properties of pre-gelatinized glutinous rice. Journal of Food Processing and Preservation, 45(11), e15967.

Wang, L., Zhang, Y., & Li, J. (2023). Influence of water content and pre-treatment on the rheological properties of rice starch. Food Hydrocolloids, 137, 108340.

Wang, P., Li, C., Zhu, W., & Zhang, H. (2018). Effect of amylose content on the physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starch. International Journal of Biological Macromolecules, 118, 223–229.

Wongs-Aree, C., Chaisri, K., & Pradit, P. (2019). The effect of soaking time on the gelatinization properties of different varieties of glutinous rice. Applied Science and Engineering Progress, 12(3), 133-138.

Yu S., Ma Y., and Sun D. (2010). Effect of freezing rates on starch retrogradation and textural properties of cooked rice during storage. LWT-Food Science and Technology. 43, 1138-1143.

Zaidul, I. S. M., Norizzah, M. R., & Norhidayah, A. (2007). Effect of steeping time on the physicochemical properties of sago starch. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87(11), 2056–2062

Zeng, J., Li, G., Gao, H., & Ru, Z. (2011). Comparison of A and B starch granules from three wheat varieties. Molecules, 16(12), 10570-10591.

Zhou, X., Yu, J., Wang, S., & Wu, C. (2021). The influence of retrogradation of amylopectin on the aging of glutinous rice. Food Chemistry, 340, 128157.

Zhou, Y., Tang, Y., & Wei, X. (2021). Water absorption kinetics and its effect on the properties of different grains. Journal of Food Engineering, 302, 110574.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รูปภาพการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป

กรรมวิธีการเตรียมข้าวเหนียว และการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป

1. กรรมวิธีการเตรียมข้าวเหนียว

ทำการแช่ข้าวเหนียว 1,000 กรัม ต่อน้ำ 2,000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 90 นาที และสะเด็ดน้ำ 3 นาที

↓

ทำการนึ่งให้ความร้อน โดยใช้หวดที่ทำจากไม้ไผ่ เป็นเวลา 30 นาที

แผนรูปที่ ก.1 กรรมวิธีการเตรียมข้าวเหนียว

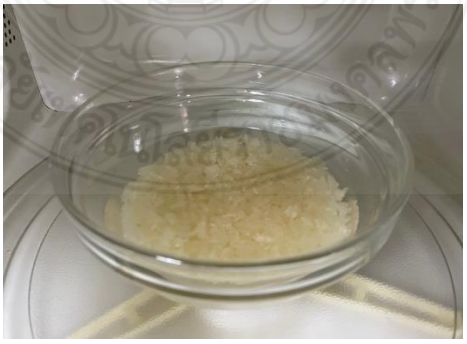
2. กรรมวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป

นำข้าวเหนียวไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

↓

นำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

↓



ทำการคืนรูปด้วยไมโครเวฟระดับครัวเรือน อัตราส่วน ข้าว 100 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 นาที

↓

ข้าวเหนียว

แผนภาพที่ ก.2 กรรมวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวเหนียวกึ่งสำเร็จรูป

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) รุ่น TA -XT2i

วิธีการวิเคราะห์

1) เสียบปลั๊กไฟ เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture
2) เข้าโปรแกรม Exponent Connect และเปิด Graph texture
3) เลือกเมนู TA กดเลือก Calibrate เลือก Calibrate Force สังเกตค่า Capacity ว่าถูกต้องหรือไม่ กดเลือก Next วางตุ่มน้ำหนักลงบน platform อ่านค่าในช่อง measure force แล้วกด OK นำตุ่มน้ำหนักลง
4) เลือกเมนู TA กดเลือก Calibrate เลือก Calibrate Height ตั้ง Return Distance ให้มากกว่าความสูงของชิ้นตัวอย่าง ตั้งค่าที่ Return to speed 15 mm/sec และตั้ง Contact force 10-5 g
5) ตั้งค่า T.A. Settings อ้างอิงจากงานวิจัย
6) เลือกเมนู T.A. กดเลือก Run a Test ตั้งชื่อตัวอย่างและเลือก Drive ที่ต้องการบันทึกข้อมูล

วิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Amylograph (RVA) รุ่น RVA4500

วิธีการวิเคราะห์

1) เสียบปลั๊กไฟ เปิดสวิตช์เครื่องสำรองไฟ เครื่องคอมพิมเตอร์และเครื่องวัดการเกิดเจลาติไนเซชัน
2) เปิดโปรแกรม Programs Thermocline for windows กด Collect ที่แถบด้านล่างตรงคำว่า Avilable ซึ่งตอนแรกจะเป็นสีแดง รอจนเปลี่ยนเป็นสีเขียว แถบด้านล่างจะบอกอุณหภูมิประมาณ 50-90 องศาเซลเซียส
3) คลิกเข้าไปที่ Configuse เลือกที่ Log on กดใส่ password ด้วยคำว่า Newport กดตลงและใส่ใบพัดเข้าไปที่แกนสำหรับใส่ใบพัด คลิก Zero แล้วกด Starts (กด Zero ไปเลื่อยๆจนได้ค่าเท่ากับ 0) กด Close และใส่แคนพร้อมใบพัดเข้าไปแล้วกดมอเตอร์ลง
4) คลิกเข้าไปที่ Run แล้วกด Standard (Sd1) แล้วตั้งชื่อใน Disk D
5) เมื่อเสร็จแล้วดูผลการทดลองกด Analysis เข้าไปที่ Result หรือ Data

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (สุภาภรณ์, 2545)

การหาค่าความหนาแน่น (Bulk density) นำตัวอย่างข้าวใส่ในกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจนเต็มถึงขีด 50 มิลลิลิตร แล้วนำข้าวที่เหลือใส่ในกระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งค่า Bulk density โดยน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์หาได้จาก

$$\text{Bulk density (กรัม / มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - (\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times \text{ปริมาณความชื้น}/100)}{100}$$

การวัดคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค (cooking and eating quality of grains) (Batcher et al., 1956)

1) ชั่งตัวอย่างข้าว 8$\pm$0.10 กรัม และวัดความสูงของข้าวที่อยู่ใน cylinder-wire basket

2) นำข้าวไปคืนรูปโดยต้มน้ำ 160 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จนเดือด นำข้าวที่ใส่ใน cylinder-wire basket จุ่มลงในบีกเกอร์ ยกลงจากเต้าไฟ ปิดด้วยกระจกนาฬิกา เป็นเวลา 5 นาที และรินน้ำออกจากข้าวเป็นเวลา 2 นาที

3) วัดความสูงของตัวอย่างข้าวสุกที่อยู่ใน cylinder-wire basket แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (volume expansion) และอัตราการดูดซับน้ำ (water uptake ratio)

$$\text{ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volume expansion)} = \frac{\text{ความสูงของข้าวสุก (มิลลิเมตร)}}{\text{ความสูงของข้าวสาร (มิลลิเมตร)}}$$

$$\text{อัตราการดูดซับน้ำ (Water uptake ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวสุก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของข้าวสาร (กรัม)}}$$

อัตราการคืนรูป (Rehydration) (Pansa-ead et al. 2014)

$$\text{คำนวณดังสมการอัตราการคืนรูป} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการคืนรูป} - \text{น้ำหนักก่อนการคืนรูป}}{\text{น้ำหนักก่อนการคืนรูป}}$$

การวิเคราะห์ค่าความชื้นแบบอินฟาเรด IR)
รุ่น Kett FD-620

วิธีการวิเคราะห์

1) เสียบปลั๊กเครื่องอินฟาเรด

2) เตรียมตัวอย่างให้เป็นผง

3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ตัวอย่างลงบนถาด แล้วนำไปวางบนเครื่อง Infrared

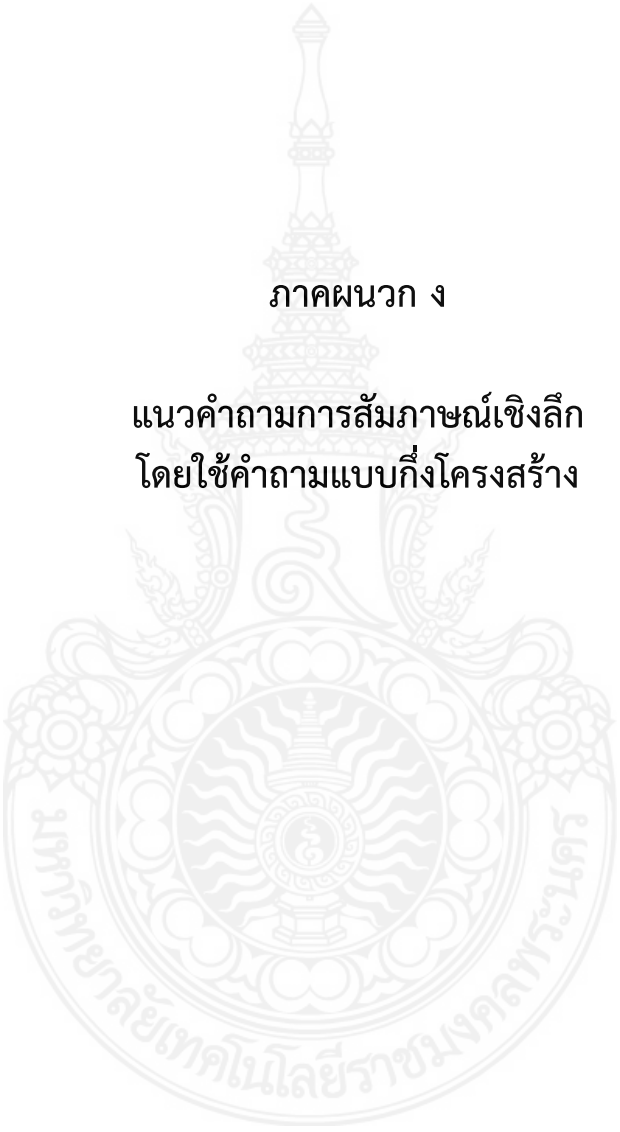
Moisture Determination Balance; IR รุ่น Kett FD-620 เพื่อวัดค่าความชื้น
4) รอเครื่องเสียงดัง แล้วทำการอ่านค่าความชื้น
5) ทำการวัดค่า 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย

ภาคผนวก ค
ผลิตภัณฑ์ต้นแบบข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

รูปที่ 1 โลโก้และผลิตภัณฑ์ต้นแบบข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

ภาคผนวก ง

แนวคำถามการสัมภาษณ์เชิงลึก
โดยใช้คำถามแบบกึ่งโครงสร้าง



แนวคำถามการสัมภาษณ์การศึกษาภูมิปัญญาปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับกระบวนกำรผลิตข้าวนึ่งสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี โครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด จังหวัดมหาสารคาม

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ

1. เพศ
   - ☐ ชาย
   - ☐ หญิง
2. อายุ
   - ☐ ต่ำกว่า 50 ปี
   - ☐ 50–60 ปี
   - ☐ มากกว่า 60 ปี
3. ระดับการศึกษา
   - ☐ ประถมศึกษา
   - ☐ มัธยมศึกษาตอนต้น
   - ☐ มัธยมศึกษาตอนปลาย
   - ☐ ปริญญาตรีหรือสูงกว่า
4. จำนวนสมาชิกในครอบครัว
   - ☐ 1–3 คน
   - ☐ 4–6 คน
   - ☐ 7–9 คน
   - ☐ มากกว่า 10 คน
5. พื้นที่ทำการเกษตร
   - ☐ น้อยกว่า 5 ไร่
   - ☐ 5–10 ไร่
   - ☐ 11–20 ไร่
   - ☐ มากกว่า 21 ไร่
6. รายได้ต่อปี (จากการเกษตร)
   - ☐ น้อยกว่า 50,000 บาท
   - ☐ 50,001–100,000 บาท
   - ☐ 100,001–150,000 บาท
   - ☐ มากกว่า 150,001 บาท
7. การเป็นหนี้
   - ☐ ไม่มีหนี้
   - ☐ น้อยกว่า 50,000 บาท
   - ☐ 50,001–100,000 บาท
   - ☐ 100,001–150,000 บาท
   - ☐ มากกว่า 150,001 บาท
8. แหล่งเงินทุนหรือการกู้ยืม
   - ☐ ครอบครัว
   - ☐ ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร
   - ☐ สหกรณ์การเกษตร
   - ☐ กองทุนหมู่บ้าน

ส่วนที่ 2: ประสบการณ์เกี่ยวกับข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

9. คุณเคยผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปหรือไม่?

☐ เคย ☐ ไม่เคย

10. หากเคย กรุณาอธิบายกระบวนการผลิตและการจำหน่าย:

.....

.....

หากไม่เคย คุณสนใจที่จะผลิตไหม?

☐ สนใจ

☐ ไม่สนใจ

โปรดระบุเหตุผล:

.....

.....

12. ปัญหาที่พบในการผลิตข้าวเหนียวนึ่ง:

.....

.....

.....

13. คุณคิดว่าลักษณะข้าวเหนียวนึ่งแบบใดที่มีคุณภาพดีและสามารถแข่งขันได้:

.....

.....

.....

14. เทคนิคหรือวิธีใดที่ช่วยเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์:

.....

.....

.....

ส่วนที่ 3: ความสนใจและทัศนคติในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

15. สนใจพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปหรือไม่?

☐ สนใจ

☐ ไม่สนใจ

โปรดระบุเหตุผล:

.....

.....

16. อุปสรรคสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์:

.....

.....

.....

17. การอบรมหรือถ่ายทอดความรู้ด้านเทคนิคช่วยได้อย่างไร:

.....

.....

.....

18. ใครควรมีส่วนร่วมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และเพราะเหตุใด:

.....

.....

.....

ส่วนที่ 4: การตลาดและการเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์

19. คุณเคยจำหน่ายข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปในตลาดหรือไม่?

☐ เคย ☐ ไม่เคย

ช่องทางการจำหน่าย: .....

20. คุณคิดว่าตลาดข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปมีโอกาสเติบโตหรือไม่?

☐ มีโอกาส ☐ ไม่แน่ใจ ☐ ไม่มองเห็นโอกาส

โปรดระบุเหตุผล:

.....

.....

21. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์หรือแบรนด์ช่วยเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์อย่างไร:

.....

.....

.....

22. หากมีเงินทุนหรือความช่วยเหลือ อยากให้สนับสนุนด้านใดมากที่สุด:

.....

.....

.....

ส่วนที่ 5: ความต้องการและข้อเสนอแนะ

23. ความต้องการเร่งด่วนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป:

.....

.....

24. ข้อเสนอแนะเพื่อให้การพัฒนากระบวนการผลิตสำเร็จและยั่งยืน:

.....

.....

แนวคำถามการสัมภาษณ์ชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว
เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์
ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา ตำบลบ้านลาด จังหวัดมหาสารคาม

ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ถูกสัมภาษณ์

1. ช่วงอายุ ☐ 20-30 ปี ☐ 31-40 ปี ☐ 41-50 ปี ☐ 51-60 ปี ☐ 60 ปี ขึ้นไป
2. อาชีพหลัก – อาชีพรอง.....
3. พื้นที่ปลูกข้าวเหนียว.....

ส่วนที่ 2 ระบบการดำเนินการของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว

2.1 ปัจจัยนำเข้าของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว (Input)

2.1.1 การมีบริหารจัดการวัตถุดิบข้าวเหนียวก่อนนำไปจัดจำหน่ายหรือแปรรูปอย่างไร

.....

.....

2.1.2 อธิบายเกี่ยวกับการปลูกข้าวเหนียวด้วยสายพันธุ์ที่ปลูก ที่มาการนำสายพันธุ์มาปลูก ความแตกต่างระหว่างแต่ละสายพันธุ์ การเพาะปลูกข้าวเหนียวด้วยตัวเอง หรือผู้อื่น พร้อมวิธีการเพาะปลูก ว่าเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

.....

2.1.3 ท่านอธิบายเกี่ยวกับดินที่ใช้ในการปลูกข้าวเหนียว

.....

.....

.....

2.1.4 ท่านอธิบายเกี่ยวกับปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกข้าวเหนียว ความจำเป็นสำหรับการใช้ยาบำรุงต่อการปลูกข้าวเหนียว สัดส่วนต่อไร่

.....

.....

.....

2.2 ผลผลิตของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว (output)

2.2.1 ท่านอธิบายเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ในหนึ่งรอบการปลูกข้าวให้ผลผลิตจำนวนเท่าไหร่

.....

.....

.....

2.2.2 ท่านอธิบายเกี่ยวกับราคา (Price) ผู้กำหนดราคาในการขายข้าวเหนียวคือใคร ราคาสูงสุด โดยประมาณของข้าวเหนียว ราคาต่ำสุดโดยประมาณของข้าวเหนียว

.....

.....

.....

2.2.3 ท่านอธิบายเกี่ยวกับช้องทางการตลาด (Place) ผลผลิตข้าวเหนียวของท่านมีการจัดจำหน่ายอย่างไร ช่องทางไหนบ้าง

.....

.....

.....

2.2.4 ท่านอธิบายเกี่ยวกับการส่งเสริมการตลาด (Promotion) ท่านมีการส่งเสริมการตลาดอย่างไร และหน่วยงานภาครัฐได้เข้ามาสนับสนุนด้านใดบ้าง

.....

.....

.....

2.3 ปัจจุบันพื้นที่ปลูกข้าวเหนียวประสบปัญหาด้านใดบ้าง

.....

.....

.....

ส่วนที่ 3 สภาพแวดล้อมการดำเนินงานประกอบอาชีพชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว

3.1 ปัจจัยนำเข้าของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว (Input)

3.1.1 ท่านอธิบายเกี่ยวกับการประกอบอาชีพชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว ที่มาของการประกอบอาชีพชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว เช่น ใครเป็นคนสอนการเพาะปลูก เป็นต้น

.....

.....

.....

3.1.2 ท่านอธิบายเกี่ยวกับการบริหารจัดการ มีการจัดการอย่างไรเกี่ยวกับผลผลิตข้าวเหนียว ใช้ระยะเวลานานเท่าใดในการเริ่มปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต

.....

.....

.....

3.1.3 ปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกประสบปัญหาด้านใดบ้าง

.....

.....

.....

3.1.4 สภาพเศษฐกิจในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อการประกอบอาชีพชาวนาอย่างไรบ้าง

.....

.....

.....

3.1.5 ท่านได้รับความช่วยเหลือจากภาครัฐ และให้การสนับสนุน บทบาทภาครัฐต่อการประกอบอาชีพชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว ความต้องการที่ได้รับการดูแลและสนับสนุนกิจกรรมต่างๆ เกี่ยวกับการผลิตข้าวเหนียว

.....

.....

.....

ส่วนที่ 4 ข้อมูลแนวคิดในการพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

3.1 ท่านอธิบายวิธีการบริโภคข้าวเหนียว บอกขั้นตอนการหุงต้มจึงถึงวิธีการเก็บรักษาข้าวเหนียวนึ่ง

.....

.....

ท่านอธิบายคุณรูปที่ดีของข้าวเหนียวนึ่ง

.....

.....

ท่านอธิบายปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่ง

.....

.....

3.2 ท่านมีเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปข้าวเหนียวหรือไม่อย่างไร

.....

.....

3.3 ท่านได้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปข้าวเหนียวได้อย่างไร

.....

.....

3.4 ท่านรู้จักหรือเคยบริโภคข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปหรือไม่ จากช่องทางใด

.....

.....

3.5 หากมีสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐหรือเอกชนในการฝึกอบรมหรือถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปท่านมีความสนใจที่จะเข้าร่วมกิจกรรมหรือไม่

.....

.....

3.6 ประโยชน์ที่ท่านคาดว่าจะได้รับจากเข้าร่วมกิจกรรมการฝึกอบรมหรือถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

.....

.....

.....

****

ขอขอบคุณที่สละเวลาในการสัมภาษณ์

ภาคผนวก จ

เอกสารชี้แจงอาสาสมัคร

เอกสารชี้แจงอาสาสมัคร

เอกสารนี้อาจมีข้อความที่ท่านยังไม่เข้าใจ โปรดสอบถามจากหัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้แทนให้อธิบาย ท่านจะได้รับเอกสารนี้ 1 ฉบับ หรือนำกลับไปปรึกษาหารือกับญาติ พี่น้อง เพื่อน สนิท แพทย์ประจำตัวของท่าน หรือผู้อื่นที่ท่านต้องการปรึกษา เพื่อช่วยในการตัดสินใจยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์

ชื่อผู้วิจัย (หัวหน้าโครงการ หรือ อาจารย์ที่ปรึกษาและนักศึกษา) นางสาวศุภักษร มาแสวง

สังกัด (สาขาวิชา/คณะ/โทรศัพท์/อีเมล) สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีอาหาร โทร. 0616353997 อีเมล์ supuksorn.m@rmutp.ac.th

สถานที่วิจัย (ถ้ามี) ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีอาหาร

ชื่อแหล่งทุน กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : งบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2567

โครงการวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อ (บอกวัตถุประสงค์ด้วยภาษาที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าใจได้)

ศึกษาแนวทางการแปรรูปข้าวเหนียวเป็นข้าวเหนียวสำเร็จรูป โดยการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตจากวัตถุดิบข้าวพันธุ์ กข6 ที่เป็นข้าวเก่าและข้าวใหม่ เพื่อนำองค์ความรู้การแปรรูปข้าวที่แสดงถึงอัตลักษณ์ของชุมชนไปถ่ายทอดแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีข้าวเป็นวัตถุดิบในท้องถิ่น

ซึ่งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตและจำหน่ายข้าวเหนียว ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของทางกลุ่มวิสาหกิจ “ท่านอาจจะไม่ได้รับประโยชน์โดยตรงจากการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ แต่ข้อมูลที่ได้จะมีประโยชน์ต่อ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร”

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมวิจัยนี้เพราะ (บอกคุณสมบัติที่เหมาะสมของอาสาสมัครที่จะทำการศึกษาวิจัย)

ท่านเป็นประธาน และสมาชิกของกลุ่มวิสากิจชุมชนข้าวเกษตรอินทรีย์ ตำบลลาดพัฒนา อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์การปลูกข้าว ทราบถึงสายพันธุ์ ขั้นตอนการเพาะปลูก วิธีในการบริโภค และการใช้ประโยชน์จากข้าวเหนียว

จะมีอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยทั้งสิ้น 10-30 **คน**

ระยะเวลาที่จะทำวิจัยทั้งสิ้น (เดือน/ปี) เดือนเมษายน-กันยายน 2567

หากท่านตัดสินใจเป็นอาสาสมัคร จะมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้คือ (ขอให้ระบุเป็นข้อๆ เพื่อให้เข้าใจง่าย)

- การสัมภาษณ์ ลักษณะของแบบสัมภาษณ์เป็นแบบมีโรงสร้างใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกประธานกลุ่ม และสมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ประกอบด้วยคำถาม 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การสำรวจข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครโดยไม่ระบุชื่อ-ที่อยู่ ส่วนที่ 2 ระบบการดำเนินการของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว ส่วนที่ 3 สภาพแวดล้อมการดำเนินงานประกอบอาชีพชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว และส่วนที่ 4 ข้อมูลแนวคิดในการพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป เพื่อทราบถึงข้อมูลการเพาะปลูก ปัญหา/อุปสรรคในการประกอบกิจการ และศักยภาพด้านการจำหน่ายหรือแปรรูปเหนียวข้าว เป็นต้น โดยการสัมภาษณ์ (interview) และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสำเร็จ

- โดยการสัมภาษณ์ (interview) จำนวนท่านละ 1 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1-1.30 ชั่วโมงต่อท่าน โดยใช้ช่วงเวลาลงพื้น 2 ครั้ง โดยแบ่งอาสาสมัครเป็น 2 กลุ่ม ครั้งละ 5 ท่าน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสำเร็จ

- แนวข้อคำถามปลายเปิด ใช้วิธีสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการ ในหัวข้อข้อมูลพื้นฐานของผู้ถูกสัมภาษณ์ ระบบการดำเนินการของชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว สภาพแวดล้อมการดำเนินงานประกอบอาชีพชาวนาผู้ปลูกข้าวเหนียว และข้อมูลแนวคิดในการพัฒนาข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูป

- ใช้เครื่องบันทึกเสียงและภาพ ได้แก่ โปรแกรมบันทึกเสียงในโทรศัพท์มือถือ สำหรับการบันทึกเสียงขณะสัมภาษณ์ และกล้องถ่ายรูปสำหรับบันทึกภาพโดยไม่บันทึกภาพผู้ให้สัมภาษณ์ และใช้การจัดบันทึกในแบบคำถาม

- โดยจะขอทำการสัมภาษณ์ที่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนวิสาหกิจชุมชนข้าวอินทรีย์ลาดพัฒนา เลขที่ 149 หมู่ที่ 2 ตำบลลาดพัฒนา อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเป็นอาสาสมัคร

- การสัมภาษณ์ การตอบแบบสอบถาม ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นคือ เสียเวลา หรือ ท่านอาจรู้สึกอึดอัด ไม่สบายใจ เครียด กับบางคำถาม ท่านมีสิทธิ์ที่จะไม่ตอบคำถามเหล่านั้นได้

หากท่านไม่รับเป็นอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยนี้ก็จะไม่มีผลต่อ

การไม่เข้าร่วมวิจัยหรือถอนตัวออกจากโครงการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อการปฏิบัติงานของท่านในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแต่ประการใด

หากมีอาการผิดปกติ รู้สึกไม่สบายกาย หรือมีผลกระทบต่อจิตใจของท่านเกิดขึ้นระหว่างการวิจัย ท่านจะแจ้งผู้วิจัยโดยเร็วที่สุด

หากท่านรู้สึกอึดอัด หรือรู้สึกไม่สบายใจกับบางคำถาม ท่านมีสิทธิ์ที่จะไม่ตอบคำถามเหล่านั้นได้ รวมถึงท่านมีสิทธิ์ถอนตัวออกจากโครงการนี้เมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบเรื่องค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

หากมีข้อข้องใจที่จะสอบถามเกี่ยวข้องกับการวิจัย หรือเมื่อบาดเจ็บ/เจ็บป่วยจากการวิจัยโปรดติดต่อ (ระบุชื่อผู้วิจัยที่จะสามารถติดต่อได้)

นางสาวศุภักษร มาแสวง (หัวหน้าโครงการวิจัย) คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เบอร์โทรศัพท์ 02 6653777 ต่อ 5238 เบอร์มือถือ 061-6353997 อีเมล์ supuksorn.m@rmutp.ac.th

ค่าตอบแทนที่จะได้รับ (ระบุว่ามีหรือไม่มี เช่น เป็นค่าเดินทางเพื่อมาติดต่อตามนัด, ค่ายา และค่าตรวจทางห้องปฏิบัติการที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่ต้องรับผิดชอบจ่ายเอง)

การสัมภาษณ์ครั้งนี้ท่านจะไม่ได้รับค่าตอบแทนใดๆ ทั้งสิ้น

ค่าใช้จ่ายที่อาสาสมัครจะต้องรับผิดชอบเองมีอะไรบ้าง (ระบุว่ามีหรือไม่มี)

การสัมภาษณ์ครั้งนี้ท่านจะไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ทั้งสิ้น

ข้อมูลในการสัมภาษณ์จะถูกเก็บรักษาไว้ ไม่เปิดเผยต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล แต่จะรายงานผลการวิจัยในภาพรวมเท่านั้น และจะดำเนินการทำลายข้อมูลที่เกี่ยวข้องภายหลังเสร็จสิ้นการวิจัย โดยอาสาสมัครสามารถรับทราบคำชี้แจงและลงชื่อท้ายเอกสาร หรือรับทราบด้วยวาจาในกรณีที่ไม่ต้องการลงชื่อเอกสารชี้แจงอาสาสมัครในแบบแนวทางการสัมภาษณ์

หากมีข้อมูลเพิ่มเติมทั้งด้านประโยชน์และโทษที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะแจ้งให้ทราบอย่างรวดเร็วและไม่ปิดบัง ข้อมูลส่วนตัวของอาสาสมัครจะถูกเก็บรักษาไว้ ไม่เปิดเผยต่อสาธารณะ แต่จะรายงานผลการวิจัยเป็นข้อมูลส่วนรวม ข้อมูลของอาสาสมัครอาจมีคณะบุคคลบางกลุ่มเข้ามาตรวจสอบได้ เช่น ผู้ให้ทุนวิจัย สถาบัน หรือองค์กรของรัฐที่มีหน้าที่ตรวจสอบ คณะกรรมการจริยธรรมฯ เป็นต้น อาสาสมัครมีสิทธิ์ถอนตัวออกจากโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้าและการไม่เข้าร่วมการวิจัยหรือถอนตัวออกจากโครงการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบต่อการบริการและการรักษาที่สมควรจะได้รับแต่ประการใด

โครงการวิจัยนี้ได้รับการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งมีสำนักงานอยู่ที่

งานจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชั้น 3 อาคารรพี เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2665 3777 ต่อ 6094

E-mail: irb@rmutp.ac.th

หากท่านได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามที่ระบุไว้ ท่านสามารถติดต่อกับประธานคณะกรรมการ หรือผู้แทน ได้ตามสถานที่และหมายเลขโทรศัพท์ข้างต้น

ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดในเอกสารนี้และเข้าใจครบถ้วน และขอเข้าร่วมโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์

ลงชื่อ.....**อาสาสมัคร**

(.....)

วันที่.....

ประวัติผู้วิจัย

ข้อมูลหัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย): ศุภักษร มาแสวง

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ): SUPUKSORN MASAVANG

2. หน่วยงาน หมายเลขโทรศัพท์มือถือ และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

- หน่วยงาน: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หมายเลขโทรศัพท์มือถือ: 061-6353997

- E-mail: supuksorn.m@rmutp.ac.th

3. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิและสถานศึกษา	ปีที่จบการศึกษา
Doctor of Philosophy	Food-processing Biotechnology Université Bourgogne-Franche-Comté (ฝรั่งเศส)	2562
ปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ไทย)	2551
ปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยมหิดล (ไทย)	2545

4. สมรรถนะด้านการวิจัย

- ผลงานตีพิมพ์

ลำดับ	ชื่อบทความ	ชื่อวารสาร	ระดับชาติ/นานาชาติ	ปีที่ตีพิมพ์
1	New insights into moisture sorption characteristics, nutritional compositions, antioxidant and morphological properties of dried duckweed (*Wolffia arrhiza (L.)* Wimm).	Journal of the Science of Food and Agriculture	ระดับนานาชาติ	2022
2	Effect of storage conditions on qualities and water	Trends in Sciences	ระดับนานาชาติ	2022

	sorption isotherm of Khanom La.			
3	ผลของแป้งสุกในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย	PBRU Science Journal	ระดับชาติ	2022
4	Mango (cv. Nam Dokmai) peel as a source of pectin and its potential use as a film-forming polymer	Food Hydrocolloids	ระดับนานาชาติ	2020
5	Identification of complex glass transition phenomena by DSC in expanded cereal-based food extrudates: Impact of plasticization by water and sucrose,	Journal of Food Engineering	ระดับนานาชาติ	2019

- ผลงานทรัพย์สินทางปัญญา ที่ได้รับและที่อยู่ระหว่างยื่นจด (ระบุชื่อผลงาน ประเภท และสถานะ

ลำดับ	ชื่อผลงาน	ประเภท	สถานะ	ปีที่ยื่น
-	-	-	-	-

5. ระบุประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

ลำดับ	ชื่อโครงการ / แผนงาน	ปีงบประมาณ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	หน้าที่ความรับผิดชอบ (หัวหน้าโครงการ/ผู้ร่วมวิจัย)
1	การผลิตไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยด้วยเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน	2564	งบประมาณจากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริม	7,000	ที่ปรึกษาโครงการ

ลำดับ	ชื่อโครงการ / แผนงาน	ปีงบประมาณ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	หน้าที่ความรับผิดชอบ (หัวหน้าโครงการ/ผู้ร่วมวิจัย)
			สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่		
2	การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid	2564	งบประมาณเงินรายได้	17,000	หัวหน้าโครงการ
3	การศึกษาผลของการลดปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักที่มีต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนเฟสคุณสมบัติเชิงกลความสามารถในการดูดซับน้ำและอายุการเก็บรักษา	2564	งบประมาณด้าน ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๔)	302,450	หัวหน้าโครงการ
4	การพัฒนากระบวนการผลิตขนมทองหยอดโดยใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมธิลเซลลูโลส (HPMC), คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC), และแซนแทนกัม	2563	โครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท. ประจำปี ๒๕๖๓	250,000	หัวหน้าโครงการ

6. ความเชี่ยวชาญของตนเองที่สอดคล้องกับข้อเสนอโครงการที่จัดส่งครั้งนี้ (ผลงานและหน้าที่ความรับผิดชอบที่ผ่านมา ที่แสดงให้เห็นถึงการดำเนินโครงการให้สำเร็จลุล่วง)

- ผู้เสนอของบประมาณมีความเชี่ยวชาญด้านการแปรรูปอาหาร เคมีอาหารและการวิเคราะห์คุณภาพอาหารด้านกายภาพ เคมีและด้านจุลชีววิทยา อีกทั้งมีความรู้เกี่ยวกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายพฤติกรรมต่างๆ ในอาหาร เช่น การทำนายค่า Glass transition, การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property) การเคลื่อนของน้ำในอาหาร (water mobility และ Sorption Isotherm เป็นต้น

- ผู้เสนอของบประมาณรับผิดงานสอนในรายวิชาเคมีอาหาร การวิเคราะห์อาการ เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ขนมหวาน และการควบคุมคุณภาพอาหาร ซึ่งมีเนื้อหาที่สามารถบูรณาการในการทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารและการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

6.1 งานบริการทางวิชาการ

6.1.1 วิทยากรบรรยาย ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาศักยภาพส่งเสริมการพัฒนาอาชีพแก่ผู้ประกอบการในชุมชน ในหัวข้อ Smart Professional Entrepreneur : BUS – SPE) ณ โรงเรียนเทศบาล ๑ เทศบาลนครสมุทรปราการ ระหว่างวันที่ ๒๙-๓๐ มกราคม ๒๕๖๒

6.1.2 วิทยากรสาธิตและสอนการปฏิบัติการทำแยมสับปะรด และน้ำสับปะรดเข้มข้น ที่ชุมชนแม่อ้อยถิ่น จังหวัดราชบุรี ในวันที่ ๒๒ มิถุนายน ๒๕๖๓

6.1.3 วิทยากรฝึกอบรมหลักสูตรจิตอาสา ๙๐๔ “หลักสูตรประจำ” รุ่นที่ ๕ ประจำปี ๒๕๖๓ ในวันที่ ๒๔-๒๕ ธันวาคม ๒๕๖๓

6.1.4 วิทยากร ทำการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับขนมไทยตามที่ได้รับการร้องของจากคนในตำบลเหมืองใหม่ อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ภายใต้โครงการยกระดับเศรษฐกิจและสังคมรายตำบลแบบบูรณาการ (๑ ตำบล ๑ ผลิตภัณฑ์) ให้การอบรมขนมที่มาจากไข่ เช่นทองหยิบ ฝอยทองและฝอยเงิน และผลิตภัณฑ์อื่น เช่น แยมส้มโอ เมี่ยงคำ น้ำสมุนไพร และขนมพุดดิ้งมะพร้าว เพื่อนำไปประกอบเป็นอาชีพให้แก่ชุมชน วันที่ ๔ ตุลาคม ๒๕๖๔ และวันที่ ๔-๖ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

6.1.5 วิทยากรในโครงการยกระดับเศรษฐกิจชุมชนด้านผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ และการตลาดดิจิทัลของ ตำบลเจดีย์ อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ภายใต้โครงการยกระดับเศรษฐกิจและสังคมรายตำบลแบบบูรณาการ (๑ ตำบล ๑ ผลิตภัณฑ์) เพื่อฝึกอบรมการทำเจลแอลกอฮอล์และน้ำยาล้างจาน ในวันที่ ๒๔ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

6.1.6 วิทยากรในงานศิษย์เก่าและชุมชนสัมพันธ์ ฝ่ายกิจการนักศึกษา ในวันคล้ายวันสถาปนาโชติเวช ประจำปี ๒๕๖๕ เพื่อฝึกอบรมการทำเจลแอลกอฮอล์และน้ำยาล้างจานในวันศุกร์ที่ ๑ เมษายน ๒๕๖๕ ณห้องประชุมโชติเวช ชั้น ๔ อาคารเรือนปัญญา คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

6.2 งานบริหาร

6.2.1 อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรคหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

6.2.2 หัวหน้างานวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6.3 งานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

6.3.1 ผู้ตรวจประเมินบทความวิจัยงานประชุมวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

6.3.2 ผู้ตรวจประเมินบทความวิจัยวารสารคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6.3.3 ผู้ตรวจประเมินบทความวิจัยวารสาร Walailak Journal of Science and Technology มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

6.3.4 ผู้ตรวจประเมินบทความวิจัยวารสาร Trends in Sciences มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

6.3.5 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานวิจัยระดับปริญญาตรี โครงงานวิจัยเรื่อง “The effect of banana peel fibre on the physical, chemical and sensory properties of milk ice cream” ให้กับนักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร วิทยาเขตกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล

6.3.6 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานวิจัยระดับปริญญาตรี เรื่อง “การศึกษากระบวนการสกัดบีต้ากลูแคนด้วยหม้อนึ่งความดันสูงจากเห็ดนางลมภูฏาน” ของนางสาวพรรณภัทร แหยมวิเชียร นักศึกาชั้นปีที่ ๔ ในรายวิชา KAFT ๔๙๔: Special Project หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร) วิทยาเขตกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล

6.3.7 อาจารย์พิเศษ ในรายวิชา KAFT ๔๙๔: Special project ให้กับนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาคการศึกษา ๒/๒๕๖๓ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร วิทยาเขตกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล

6.3.8 อาจารย์พิเศษรายวิชา KAFT ๔๙๔: Special Project ให้กับนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร) ภาคการศึกษา ๒/๒๕๖๔ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร วิทยาเขตกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล

6.3.9 ที่ปรึกษาโครงการส่งเสริมและพัฒนาผู้ประกอบการใหม่ ประจำปี ๒๕๖๔ กิจกรรมพัฒนาผู้ประกอบการใหม่ (SME-Early Stage: All Stars) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ร่วมกับสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.)

6.3.10 คณะกรรมการดำเนินการจัดทำวารสารเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6.3.11 คณะกรรมจัดทำรายงานการประเมินตนเอง (SAR) ประจำปีการศึกษา ๒๕๖๓ ของคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6.3.12 คณะกรรมจัดทำรายงานการประเมินตนเอง (SAR) ประจำปีการศึกษา ๒๕๖๔ ของคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6.3.13 คณะกรรมการดำเนินงานสัมมนาวิชาการคกรรมศาสตร์ ประจำปี ๒๕๖๔

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....

(หัวหน้าโครงการวิจัย)

ข้อมูลผู้ร่วมวิจัยคนที่. 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย): วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ): Woralak Panyathitipong

2. หน่วยงาน หมายเลขโทรศัพท์มือถือ และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

- หน่วยงาน: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- หมายเลขโทรศัพท์มือถือ: 089-8913433
- E-mail: woralak.p@rmutp.ac.th

3. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิและสถานศึกษา	ปีที่จบการศึกษา
Doctor of Philosophy	Food Science สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2554
ปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรNการอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2545
ปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม	2542

4. สมรรถนะด้านการวิจัย

- ผลงานตีพิมพ์

ลำดับ	ชื่อบทความ	ชื่อวารสาร	ระดับชาติ/นานาชาติ	ปีที่ตีพิมพ์
1	Effect of storage conditions on qualities and water sorption isotherm of Khanom La.	Trends in Sciences	ระดับนานาชาติ	2022
2	ผลของแป้งสุกในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย	PBRU Science Journal	ระดับชาติ	2022
3	การใช้ความร้อนระดับครัวเรือนเพื่อปรับปรุงคุณภาพของมะขามหวาน	วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร	ระดับชาติ	2561

ลำดับ	ชื่อบทความ	ชื่อวารสาร	ระดับชาติ/นานาชาติ	ปีที่ตีพิมพ์
3	การใช้คาร์บอกซิลเมทธิลเซลลูโลสในการปรับปรุงคุณภาพขนมปังที่ใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีบางส่วน	วารสารวิจัย มหาวิทยาการ	ระดับชาติ	2559
4	การใช้ประโยชน์จากเนื้อตาลสุกของชุมชนจังหวัดเพชรบุรีเพื่อผลิตขนมปัง	วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร	ระดับชาติ	2559
5	การใช้ประโยชน์จากน้ำตาลสดในผลิตภัณฑ์วุ้นกรอบ	วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ	ระดับชาติ	2558
6	Characteristics of proteins from fresh and dried residues of soy milk production.	Kasetsart J. (Nat. Sci)	ระดับนานาชาติ	2012
7	Optimization of medium components for production bacterial cellulose by response surface methodology	Proceeding of 14th Asean Food Conference. The bigger picture: One Asean through food technology	-	2015

- ผลงานทรัพย์สินทางปัญญา ที่ได้รับและที่อยู่ระหว่างยื่นจด (ระบุชื่อผลงาน ประเภท และสถานะ

ลำดับ	ชื่อผลงาน	ประเภท	สถานะ	ปีที่ยื่น

5. ระบุประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

ลำดับ	ชื่อโครงการ / แผนงาน	ปีงบประมาณ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	หน้าที่ความรับผิดชอบ (หัวหน้าโครงการ/ผู้ร่วมวิจัย)

1	การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชเพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนจากเนื้อสัตว์	2565	งบภายนอก	358,600	หัวหน้าโครงการ
2	การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid	2564	งบประมาณเงินรายได้	17,000	ผู้ร่วมโครงการ
3	การพัฒนากระบวนการผลิตขนมทองหยอดโดยใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมธิลเซลลูโลส (HPMC), คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC), และแซนแทนกัม	2563	โครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท. ประจำปี ๒๕๖๓	250,000	ผู้ร่วมโครงการ
4	การพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์จากเห็ดเพื่อสร้างมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและพัฒนาอาชีพชุมชนบ้านวังตะเคียน จังหวัดราชบุรี	2563	งบประมาณเงินรายจ่าย	360,000	ผู้ร่วมโครงการ

6. ความเชี่ยวชาญของตนเองที่สอดคล้องกับข้อเสนอโครงการที่จัดส่งครั้งนี้ (ผลงานและหน้าที่ความรับผิดชอบที่ผ่านมา ที่แสดงให้เห็นถึงการดำเนินโครงการให้สำเร็จลุล่วง)

- ผู้เสนอของบประมาณมีความเชี่ยวชาญด้านการแปรรูปอาหาร เคมีอาหารและการวิเคราะห์คุณภาพอาหารด้านกายภาพ เคมีและด้านจุลชีววิทยา
- ผู้เสนอของบประมาณรับผิดงานสอนในรายวิชาเคมีอาหาร และการแปรูปอาหาร

6.1 งานบริการทางวิชาการ

วิทยากรสาธิตและสอนการปฏิบัติการทำแยมสับปะรด และน้ำสับปะรดเข้มข้น ที่ชุมชนแม่อ้อยถิ่น จังหวัดราชบุรี ในวันที่ 22 มิถุนายน 2563

6.2 งานบริหาร

ประธานหลักสูตรอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรคหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

6.3 งานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

6.3.1 กองบรรณาธิการ ประจำวารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

6.3.2 ผู้ตรวจประเมินบทความวิจัยวารสารคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....

(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)