



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน
Parboiled glutinous rice drying by using superheated steam
fluidization technique

โดย ผศ.ดร.เพชรรัตน์ ใจบุญ

พฤษภาคม 2563

สัญญาเลขที่ MRG5680088

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การอบแห้งข้าวเหนียวด้วยเทคนิคฟลูอิดไคเซชัน
Parboiled glutinous rice drying by using superheated steam
fluidization technique

ผศ.ดร.เพชรรัตน์ ใจบุญ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงาน
คณะกรรมการการอุดมศึกษาและมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. สกอ. และ มรส. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ภายใต้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร (มรสน.) ในการสนับสนุนเงินทุนพัฒนาศักยภาพในการทำวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ปี 2556 ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ ที่ปรึกษาในการทำวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด และ ผศ.ดร. ละมุล วิเศษ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามสำหรับความอนุเคราะห์เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบด เครื่องวัดสีและเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวสกลนครที่อนุเคราะห์เครื่องกะเทาะข้าวเปลือก เครื่องขัดสีข้าวสารและเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดข้าว ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องบดแป้งและขอขอบคุณทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้

เพชรรัตน์ ใจบุญ

พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5680088

ชื่อโครงการ: การอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชัน

ชื่อนักวิจัย: ดร.เพชรรัตน์ ใจบุญ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

อีเมลล์: petcharat@snru.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี (3 มิถุนายน 2556 ถึง 2 มิถุนายน 2558)

ข้าวหนึ่งทางการค้าผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง ข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำ โดยทั่วไปบริโภคกันในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การศึกษาด้านข้าวหนึ่งข้าวเหนียวมีน้อยมาก ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาข้าวเหนียวที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้านร้อยละต้นข้าวโดยกระบวนการหนึ่งแบบใหม่ ข้าวเหนียวเปลือกทั้งสองพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำความชื้นเริ่มต้น 12-13% (d.b.) ถูกแช่น้ำอุณหภูมิ 70 ± 5 °C ในถังหมัจนวน อัตราส่วนระหว่างข้าวเหนียวเปลือกต่อน้ำร้อนคือ 1.0:1.3 ใช้เวลาแช่นาน 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นเทน้ำออกและพักข้าวเปลือกไว้ในถังประมาณ 30 นาที ความชื้นของข้าวหลังผ่านการแช่น้ำมีค่า 50-52% (d.b.) นำไปอบด้วยลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C ในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด ความเร็วลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือ 2 m/s และ 2.3 m/s ตามลำดับ จนกระทั่งความชื้นของข้าวเหนียวเปลือกมีค่า 21-23% (d.b.) จากนั้นนำไปผึ่งลมจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายของข้าวเหนียวเปลือก 16% (d.b.) นำข้าวเหนียวเปลือกเก็บใส่ไว้ในถุงพลาสติกเก็บในตู้เย็นรอการทดสอบคุณภาพหลังการอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทุกอุณหภูมิอบแห้งสามารถช่วยให้ร้อยละต้นข้าวสูงขึ้นในข้าวเหนียวขัดสีทั้งสองพันธุ์ ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเหตุให้ค่า L^* , a^* ลดลงแต่ค่า b^* เพิ่มขึ้นสำหรับข้าวเหนียวขัดสีพันธุ์ กข6 ในขณะที่ข้าวเหนียวดำขัดสี ค่าสีทุกค่าลดลง ส่วน ΔE^* เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งทำให้เนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวเหนียวขัดสีทั้งสองพันธุ์นุ่มขึ้น ที่อุณหภูมิอบแห้งสูงกว่า 130 °C การเกิดเจลลิกในเซชันสมบูรณ์สามารถสังเกตได้จากผลของ SEM, DSC และ XRD การกระจายของไซอะมิโลเพคตินมีความยาวของสายโซ่กึ่งมากที่สุดในช่วง DP 13-24 รองลงมา คือ DP 6-12 ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวขัดสีทั้งสองพันธุ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด เทคนิคการใช้อุณหภูมิสูงในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบดสามารถผลิตข้าวหนึ่งข้าวเหนียวสมบูรณ์ในขั้นตอนเดียวแทนสองขั้นตอนเหมือนกระบวนการดั้งเดิมคือกระบวนการหนึ่งและการอบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยต่อไปอาจจึงเลือกใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวล่อง โดยคุณภาพหลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ ค่า L^* ลดลง ส่วนค่า a^* และ b^* สูงขึ้น ส่วนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ความแข็งและความเหนียวลดลง การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 และ 150 °C ทำให้เม็ดสตาร์ชของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำถูกหลอมละลายจนหมดเนื่องจากเกิดเจลลิกในเซชันสมบูรณ์ (100%) (ดูผลได้จาก SEM, DSC และ XRD) นอกจากนี้การเกิดเจลลิก

ไนเซชันมากขึ้นทำให้เมล็ดข้าวเหนียวทนต่อการขัดสีระหว่างการสีข้าวซึ่งส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวมีค่าสูงขึ้น โดยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิอบแห้ง 150 °C ทำให้ร้อยละต้นข้าวสูงที่สุด ข้าวเหนียวกลองทั้งสองพันธุ์อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับการทดสอบด้านประสาทสัมผัสโดยรวมจากผู้บริโภคมากที่สุด

คำหลัก: กระบวนการนึ่ง; ข้าวเหนียว; คุณภาพข้าว; ฟลูอิดไดเซชัน

Abstract

Project Code: MRG5680088

Project Title: Parboiled glutinous rice drying by using superheated steam fluidization technique

Investigator: Dr. Petcharat Jaiboon

E-mail Address: pjaiboon6@yahoo.com

Project Period: 2 years

Most commercial parboiled rice is produced from high amylose content rice. Glutinous rice, which is lacking in amylose content, is generally consumed in Southeast Asian countries. Rare study of parboiling glutinous rice has been observed. In this study, glutinous rice was improved in head rice yield by a novel parboiling process. Two rough glutinous rice, rice department 6 (RD6) and black glutinous rice (BGR) cultivars, the initial moisture content was 12-13% (d.b.), were soaked with hot water at 70 ± 5 °C in an insulated tank. The ratio between paddy and hot water was 1.0:1.3 and soaking time was 3 h. After that, it was drained and tempered for 30 min. The rice's moisture content after soaking was 50-52% (d.b.), it was dried with hot air (HA) and superheated steam (SHS) at temperature of 110, 130 and 150 °C and a superficial air velocity of 2 m/s for HA and 2.3 m/s for SHS in a fluidized bed dryer. The paddy was dried until its moisture content reach to 21-23% (d.b.). The samples were shade dried until the final moisture content of around 16% (d.b.) and kept in the plastic seal in a refrigerator for quality tests. The results show that, superheated steam at all drying temperatures can improve the high head rice yield in both milled parboiled glutinous rice cultivars better than hot air drying. Higher temperature drying caused L^* , a^* value to decrease but the b^* value increases in RD6 whereas in BGR all color values decreased and ΔE^* was increased when the drying temperature increased. Increasing drying temperature presented a softer texture of both milled glutinous rice cultivars. Upper 130 °C, completed gelatinization of both varieties can be obtained and seen by SEM, DSC and XRD. The most chain length distribution of amylopectin was in the range of DP 13-24 and followed by DP 6-12. The consumers preferred dried milled parboiled glutinous rice by SHS at 150 °C. This technique of using high temperature fluidized bed drying can produce completely parboiled glutinous rice in a single process instead of two conventional processes, steaming and drying, in series. For the next year step, superheated steam media was used for dried brown parboiled glutinous rice. The quality after drying showed that higher drying temperature gave L^* decreased while a^* and b^* increased. For texture quality, increasing drying temperature resulted in lower hardness and stickiness. Drying by SHS at 130 and 150 °C implied the starch granules fused themselves of both brown parboiled glutinous rice due to the fully

gelatinization occurring (100%), as can be seen in SEM, DSC and XRD resulted. In addition, Higher gelatinization can resist broken rice kernels resulted in higher head rice yield. Both brown parboiled glutinous rice cultivars dried by SHS at 150 °C showed the most preferred total sensory evaluation from consumers.

Keywords: Glutinous rice; Fluidization; Head rice yield; Parboiling process

Executive Summary

การอบแห้งข้าวเหนียวด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดโดยใช้ตัวกลางการอบแห้งแบบลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง อุณหภูมิอบแห้งสูงสามารถระเหยความชื้นของข้าวเหนียวได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำให้คุณภาพหลังการอบแห้งของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน เช่นได้ร้อยละต้นข้าวสูงกว่าในกรณีข้าวหนึ่งข้าวเหนียวขัดสี ดังนั้นงานวิจัยต่อมาสำหรับกรณีข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้างจึงเลือกใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยคุณภาพหลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่า L^* ลดลง ส่วน a^* และ b^* สูงขึ้น ส่วนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ความแข็งและความเหนียวลดลง การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 และ 150 °C ทำให้เม็ดสตาร์ชของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำถูกหลอมละลายจนหมดเนื่องจากเกิดเจลลิตไนซ์สมบูรณ์ (100%) (ดูผลได้จาก SEM และ DSC) โครงสร้างผลึกหายไป (ผลจาก XRD) นอกจากนี้การเกิดเจลลิตไนซ์ชันมากขึ้นทำให้เมล็ดข้าวเหนียวทนต่อการขัดสีระหว่างการสีข้าวซึ่งส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวมีค่าสูงขึ้น โดยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิอบแห้ง 150 °C ทำให้ร้อยละต้นข้าวสูงที่สุดและได้รับการยอมรับการทดสอบด้านประสาทสัมผัสโดยรวมจากกลุ่มตัวอย่างมากที่สุด

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
Executive summary	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ซ
1. บทนำ	1
2. วัตถุประสงค์	1
3. วิธีดำเนินงานวิจัย	2
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	8
5. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	28
6. เอกสารอ้างอิง	28
7. Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.	32

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดาเซชัน	2
2. การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C (ก) กข 6 (ข) ข้าวเหนียวดำ	9
3. ร้อยละต้นข้าว (ก) กข 6 (ข) ข้าวเหนียวดำ	10
4. โครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งด้วยตัวกลาง และอุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ	13
5. การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแป้งข้าวเหนียวอ้างอิง แป้งข้าวเหนียวหลังแช่ และแป้งข้าวเหนียว ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C และ 150 °C (ก) พันธุ์ กข 6 (ข) พันธุ์ข้าวเหนียวดำ	17
6. ความยาวของสายโซ่กิ่งของสตาร์ชที่ผ่านการย่อยพันธะกิ่งด้วยเอนไซม์ไอโซอะมิเลสของ ข้าวเหนียวดำกล้องอ้างอิงและข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 อ้างอิง	20
7. โครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียว กล้องพันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำ ที่เงื่อนไขการอบแห้งแบบต่าง ๆ	24
8. การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแป้งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 และ 150 °C	25

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวที่ตัวกลางและอุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ	11
2. สีของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวที่ตัวกลางและอุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ	14
3. สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวหนึ่งสุกที่ผ่านการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ	15
4. การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำ ขัดสีที่ผ่านการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ	18
5. ร้อยละการกระจายตัวของสายโซ่กิ่งที่มีความยาวต่าง ๆ กัน (chain length distribution) ของโมเลกุลอะมิโลเพคตินของตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ไอโซอะมิเลส	19
6. ร้อยละต้นข้าวของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลัองที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ	21
7. สีของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลัองที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ	22
8. สมบัติทางความร้อนของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลัองที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ	23
9. การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลัองพันธุ์ กข6 อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ	26
10. การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกลัองอบแห้งด้วย ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ	27

1. บทนำ

ข้าวเหนียนิยมปลูกและบริโภคกันมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ ไทยรวมถึงประเทศเพื่อนบ้านได้แก่ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เวียดนามและ กัมพูชา ส่วนใหญ่ประชาชนนิยมบริโภคข้าวเหนียนในรูปข้าวเหนียวขาวเนื่องจากมีความนุ่มและ เหนียวแต่ข้าวเหนียวขาวมีปริมาณน้ำตาลสูงอาจทำให้เสี่ยงต่อโรคเบาหวานประเภทที่ 2 Jaiboon et al. (2011) รายงานว่าข้าวเหนียวขาวมีค่า glycemic index (GI คือดัชนีที่ใช้วัด ปริมาณน้ำตาลในอาหาร) สูง (GI = 108) กว่าข้าวเหนียวกล้อง (GI = 87) แต่ข้าวเหนียวขาวมี ความนุ่มกว่า (ความแข็ง = 52 N) ข้าวเหนียวกล้อง (ความแข็ง = 131 N) ข้อดีของข้าวเหนียว กล้องคือ GI ต่ำแต่ความแข็งมากและเก็บไว้ไม่ได้นานในขณะที่ข้าวเหนียวขาวมีความแข็งต่ำแต่ ค่า GI สูง การบริโภคข้าวเหนียวที่มีความนุ่มและค่า GI ต่ำจึงจะส่งผลดีต่อผู้บริโภคข้าวเหนียว เป็นประจำ จากงานวิจัยที่ผ่านมาการลดปริมาณน้ำตาลในเมล็ดข้าวเจ้าทำได้โดยการทำให้เป็น ข้าวหนึ่งหรือทำให้เกิดเจลาทีไนเซชัน

กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง (parboiling process) มี 3 ขั้นตอนได้แก่ การแช่น้ำ (soaking) การนึ่ง (steaming) และการอบแห้ง (drying) การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นการรวม ขั้นตอนของการนึ่งและการอบแห้งเข้าด้วยกันทำให้ประหยัดเวลาและพลังงาน สำหรับการ อบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันคือการอบแห้งที่ทำให้วัสดุที่นำมาอบแห้งมีสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือเริ่มแรกวัสดุถูกวางบนตะแกรงในหอตลอดที่มีรูปร่างทรงกระบอก ของไหลที่ใช้ ได้แก่ ก๊าซหรือของเหลว ปลอຍให้ผ่านทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็ง ของไหลจะไหล ผ่านชั้นเม็ดของแข็งและไหลออกทางส่วนบนของหอตลอด เพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้น เรื่อยๆ จนในที่สุดจะเห็นเม็ดของแข็งขยับตัวและลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ข้อดีของวิธี นี้คือช่วยลดความชื้นในวัสดุได้รวดเร็ว ป้องกันการเกิดสีเหลืองในเมล็ดข้าว ลดเวลาที่ใช้ในการ อบแห้ง จากข้อดีของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันและการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งทดแทน ขั้นตอนการนึ่งและการอบแห้งประกอบกับข้อมูลของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันและ การใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งของการทำข้าวหนึ่งข้าวเหนียวยังมีจำกัด ผู้วิจัยซึ่งเป็นคนอีสานและมีความคุ้นเคยกับข้าวเหนียวมาตลอดมีความสนใจศึกษาผลของการอบแห้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวด้วย เทคนิคฟลูอิดไดเซชันโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และทำการเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมของการทำ ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวขาวและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องโดยทดสอบคุณภาพด้านโครงสร้างระดับ จุลภาค (SEM) สมบัติทางความร้อน (DSC) สมบัติด้านสภาพเป็นผลึก (XRD) สมบัติด้านเนื้อ สัมผัส (texture analysis) การทดสอบด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) และ การ กระจายสายโซ่ของอะมิโลเพคติน (chain length distribution)

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อหาผลของการอบแห้งด้วยฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อ จลนพลศาสตร์และคุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียว

2.2 เพื่อหาผลของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อคุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง

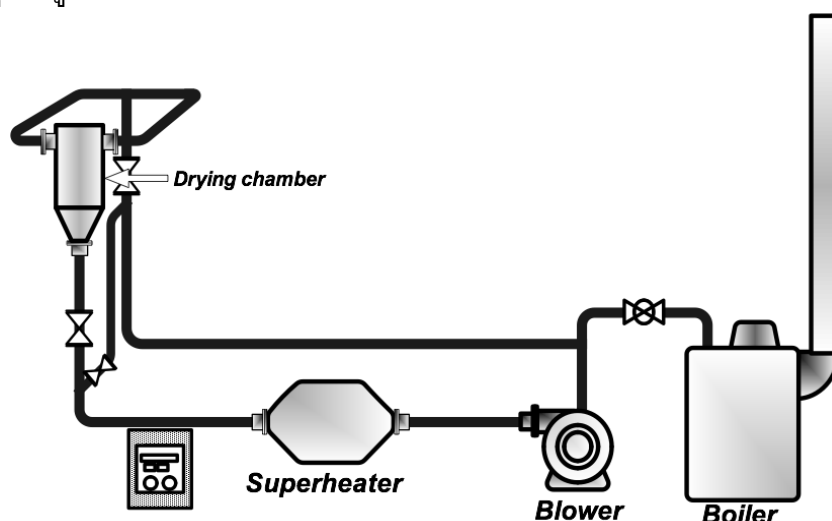
3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

ตัวอย่างข้าวเหนียวที่นำมาใช้ในการทดลองได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (rice department 6; RD6) และข้าวเหนียวดำ (black glutinous rice; BGR) จากศูนย์วิจัยข้าว สกลนคร จ.สกลนคร

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน สามารถใช้งานได้ทั้งการอบแห้งด้วยลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย ห้องอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm สูง 60 cm อุปกรณ์ให้ความร้อนใช้ชุดลดความร้อนขนาด 15 kW โดยมี temperature controller เป็นตัวควบคุมให้ได้อุณหภูมิอบแห้งตามที่ต้องการ พัดลมที่ใช้ในการอบแห้งเป็นพัดลมชนิดแบบแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง (backward curve fan) โดยใช้มอเตอร์ 3 เฟสขนาด 2 kW เป็นตัวขับเคลื่อนพัดลม และมีตัวปรับความเร็วรอบของพัดลมให้ได้อัตราการไหลของอากาศตามต้องการ สำหรับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีหม้อน้ำไอน้ำ (boiler) ความดันสัมบูรณ์ 200 kPa ที่อุณหภูมิหม้อน้ำไอน้ำ 120 °C



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน

3.3 วิธีการทดลอง

นำข้าวเปลือกเหนียว 2 พันธุ์ คือข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำ ความชื้นเริ่มต้น 12-13% (d.b.) มาแช่น้ำอุณหภูมิ 70 ± 5 °C ในถังหมักจนวน อัตราส่วนระหว่าง

ข้าวเปลือกเหนียวกับน้ำร้อน คือ 1.0:1.3 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นระบายน้ำทิ้งปล่อยข้าวเปลือกเหนียวในถังแช่ (tempering) 30 นาที ความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวขึ้นอยู่กับระหว่าง 50-52% (d.b.) โดยใช้วิธีหาความชื้นตาม Soponronnarit & Prachayawarakorn (1994) และนำข้าวเปลือกเหนียวขึ้นจำนวน 250 กรัมไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไธซ์เบดที่ใช้ลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C ความเร็วของลมร้อน 2 m/s และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.3 m/s จนความชื้นลดลงเหลือ 21-23% (d.b.) จากนั้นนำไปผึ่งในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิแวดล้อม 27-29 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 55-60% จนความชื้นลดลงเหลือ 14-16% (d.b.) แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพต่อไป

3.4 การทดสอบคุณภาพของข้าวเหนียว

3.4.1 การหาความชื้นของข้าวเปลือกเหนียว

การหาความชื้นของข้าวเปลือกเหนียว โดยชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกเหนียวจำนวน 50 g ใส่ในกระป๋องความชื้น (moisture can) นำเข้าตู้อบลมร้อน (Mettler, model no ULE500, Schwabach, Germany) อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 h จากนั้นนำมาใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 45 min ชั่งน้ำหนักอีกครั้งแล้วคำนวณเป็นความชื้นมาตรฐานแห่งดังสมการที่ 1

$$M_d = \left(\frac{w - d}{d} \right) \quad (1)$$

เมื่อ M_d = ความชื้นมาตรฐานแห่ง, เศษส่วน
 w = มวลของวัสดุ, g
 d = มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), g

3.4.2 อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้นของข้าวเปลือกเหนียว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (2)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น (ไม่มีหน่วย)
 M = ความชื้น ณ เวลาใดๆ (%d.b.)
 M_i = ความชื้นเริ่มต้น (%d.b.)
 M_e = ความชื้นสมดุล (%d.b.)

สำหรับความชื้นสมดุล มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งอ้างอิงมาจาก Tasirin et al. (2014) และ Chayjan et al. (2012)

3.4.3 การหาร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียว

การหาร้อยละของต้นข้าว (head rice yield) ของข้าวเหนียว มีขั้นตอนดังนี้ นำข้าวเปลือกเหนียวมากระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะ (Otake, model no. FC2K, Tokyo, Japan) นำไปขัดสี (ผลิตโดย บริษัท tsmsci.co.th, Nonthaburi, Thailand) จากนั้นนำไปคัดแยกเมล็ดเต็มด้วยเครื่องคัดขนาด (Satake, model no. TRG-05A, Hiroshima, Japan) ร้อยละต้นข้าวคือข้าวขัดสีที่มีความยาวของเมล็ดอย่างน้อย 3 ใน 4 ส่วนหรือพื้นที่ของเมล็ดข้าวยังเหลือ 80% ของเมล็ดทั้งหมด (Rice standards, 1997) คำนวณจากน้ำหนักข้าวขัดสีที่คัดขนาดแล้วหารด้วยน้ำหนักของข้าวเปลือกเริ่มต้น ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

3.4.4 สี

การวัดสีของเมล็ดข้าวเหนียวใช้เครื่องวัดสีแบบ HunterLab ColorFlex (Reston, VA) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 และมุมของผู้สังเกตคือ 10° ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ทำการ calibrated เครื่องวัดสีด้วยใช้แผ่นมาตรฐานสีขาว ($X = 78.50$, $Y = 83.40$, $Z = 87.63$) ใช้ระบบ Hunter ในการแสดงค่าสี ได้แก่ ค่า L^* (darkness/lightness) แสดงค่าความมืดกับสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า a^* (redness/greenness) แสดงสีแดง (เครื่องหมาย +) และสีเขียว (เครื่องหมาย -) และค่า b^* (yellowness/blueness) แสดงสีเหลือง (เครื่องหมาย +) กับน้ำเงิน (เครื่องหมาย -) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล จากนั้นคำนวณเป็นความแตกต่างของสีโดยรวม (total color difference; ΔE^*) ดังสมการที่ 3

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{เมื่อ } \Delta L^* = L_1^* - L_0^*, \Delta a^* = a_1^* - a_0^*, \Delta b^* = b_1^* - b_0^*$$

3.4.5 โครงสร้างระดับจุลภาค (SEM)

โครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) ของเมล็ดข้าวเหนียววัดด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy: SEM (JSM, JSM-5600LV, Tokyo, Japan) โดยนำเมล็ดข้าวเหนียวมาหักครึ่งเพื่อดูโครงสร้างตามแนวขวาง นำตัวอย่างเมล็ดข้าวเหนียวที่ทำ การหักครึ่งแล้วไปเคลือบทอง ก่อนนำไปเข้าเครื่องทดสอบเพื่อดูโครงสร้างของเม็ดแป้ง เปรียบเทียบกันระหว่างข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งและข้าวเหนียวอึ่งอึ่ง โดยใช้ accelerating voltage 15 kV บริเวณที่ฉายภาพคือบริเวณระหว่างผิวและใจกลางเมล็ดข้าวเหนียว

3.4.6 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อน (thermal property) เมล็ดข้าวหนึ่งข้าวเหนียวนำมาบดด้วยเครื่องบดเป็นแป้ง Ultra centrifugal mill (Retsch, model no. ZM 100, Hann, Germany) และนำแป้งที่บดแล้วไปร่อนผ่าน Sieve ขนาด 0.25 mm (ความชื้นของแป้งประมาณ 16% (d.b.)) เพื่อหาสมบัติทางความร้อน (thermal properties) ของแป้งโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter: DSC (Perkin Elmer, model no. DSC-7, Norwalk, CT) นำแป้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียว 3 mg ใส่ใน aluminium DSC pan เติมน้ำกลั่น 10 μ L ปิดฝาให้สนิททิ้งไว้เป็นเวลา 1 h ที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ใช้ Indium สำหรับ Calibrate DSC empty pan เพื่อใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง รันตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิ 40 จนถึง 100 °C อัตราการรันคือ 10 °C/min จะได้อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature) และอุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature) ของการเกิดเจลในเซชันของตัวอย่างแป้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียว เอนทาลปี (enthalpy) หาได้จากพื้นที่ของเส้นกราฟและระดับการเกิดเจลในเซชันหาได้จากสมการที่ 4

$$SG (\%) = \left(1 - \left[\frac{\Delta H}{\Delta H_c} \right] \right) \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ SG = ระดับการเกิดเจลในเซชัน (degree of gelatinization) (%)

ΔH = เอนทาลปีของแป้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้ง (J/g (dry matter))

ΔH_c = เอนทาลปีของแป้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวอ้างอิง (J/g (dry matter))

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

3.4.7 สมบัติด้านสภาพเป็นผลึก

สมบัติด้านสภาพเป็นผลึก (X-ray diffraction: XRD) ของข้าวเหนียวมีวิธีการวัดระดับสภาพเป็นผลึก (degree of crystallinity) ของแป้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียวขาว (จำนวน 0.5 g) ด้วยเครื่อง X-ray diffraction: XRD Bruker AXS D8 DISCOVER XRD (Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany) โดยใช้รังสี $\text{CuK}\alpha$ ขนาด 40 kV และ 40 mA ที่ความยาวคลื่น 0.1546 nm อัตราการเลี้ยวเบนรังสีที่มุม 2θ คือ 2°/min ความเข้มสัมพัทธ์ของการเลี้ยวเบนรังสีตั้งแต่มุม 4-40° และระดับสภาพเป็นผลึก (X_c) ของตัวอย่างคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} \times 100 \% \quad (5)$$

เมื่อ X_c = ระดับสภาพเป็นผลึก, %

A_c = พื้นที่บริเวณชั้นผลึก

A_a = บริเวณอสัณฐาน

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

3.4.8 การทดสอบสมบัติด้านการหุงต้ม

การทดสอบสมบัติด้านการหุงต้ม โดยการนำข้าวเหนียวในแต่ละเงื่อนไขจำนวน 20 g มาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องจนเมล็ดอมน้ำโดยข้าวเหนียวอ้างอิงใช้เวลาในการแช่น้ำ 3 ชั่วโมง ส่วนข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งใช้เวลาในการแช่น้ำ 30 นาที รินน้ำออก จากนั้นนำมาวางบนชั้นหนึ่งเป็นเวลา 30 min ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 min ก่อนนำมาทำการทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัส (Juliano, 1985)

3.4.9 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

สมบัติด้านเนื้อสัมผัส (texture analysis) ได้แก่ การทดสอบความแข็ง (hardness) และความเหนียว (stickiness) ของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวสุกทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) (Stable Micro System, TA XT Plus, Surrey, UK) นำเมล็ดข้าวหนึ่งข้าวเหนียวสุกจำนวน 6 เมล็ดวางบนแผ่นอะลูมิเนียม จากนั้นกดด้วยแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm ระยะ 90% strain ที่อัตราทดสอบและหลังการทดสอบ 0.5 และ 1 mm/s ตามลำดับ ความแข็งของเมล็ดข้าวหนึ่งข้าวเหนียวสุกหาได้จากแรงสูงสุดที่ใช้กดครั้งแรกสำหรับความเหนียวคือแรงสูงสุดที่ถอนขึ้นหลังจากกดเมล็ดข้าวหนึ่งข้าวเหนียวสุกในครั้งแรก ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

3.4.10 การทดสอบด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ใช้วิธีทดสอบโดยใช้ระดับสเกลความชอบ (hedonic scale) ตั้งแต่ 1-9 กับอาสาสมัครที่เป็นคนคุ้นเคยกับการรับประทานข้าวเหนียว จำนวน 100 คน

3.4.11 การกระจายของโซ่

การกระจายของโซ่ (chain length distribution) มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. เตรียมแป้งให้มีความบริสุทธิ์ โดยมีขั้นตอนดังนี้ เติมน้ำตาลลงในฟลาวข้าว และกรองผ่านตะแกรงกรองขนาด 106 ไมครอน เพื่อทำการแยกส่วนของไฟเบอร์ออก จากนั้นจึงเติมไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide, DMSO) และให้ความร้อนเป็นเวลา 20 นาทีในอ่างน้ำเดือด เพื่อให้แป้งสุก ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้วจึงเติมน้ำตาลลงในสารละลายแป้งสุกในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เก็บตะกอนโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,890 g เป็นเวลานาน 10 นาที ล้างตะกอนที่ได้ด้วยอะซิโตนและไดเอทิลอีเทอร์ (Hazard et al., 2012)

2. นำตะกอนแป้งที่เตรียมได้จากข้อที่ 1 มาย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง และวิเคราะห์ขนาดสายโซ่กลูแคน (chain length distribution) ที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่าง โดยใช้ ion exchange chromatography ตามวิธีการของ Bertoft (2004) โดยละลายตัวอย่างแป้งด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide, DMSO) และเจือจางให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำเอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง ได้แก่ เอนไซม์ไอโซอะมิเลส

(Isoamylase from *Pseudomonas sp.*, 1000 U/ml, Megazyme, Ireland) เข้มข้น 4 unit และ เอนไซม์พูลูลาเนส (Pullulanase M1 from *Klebsiella planticola*, 720 U/ml, Megazyme, Ireland) เข้มข้น 2.88 unit โดยปรับให้เอนไซม์ทำงานในสภาวะที่มีโซเดียมอะซิเตรทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.01 โมลาร์ (พีเอช 5.5) แล้วจึงบ่มสารละลายตัวอย่างทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 25 °C หยุดปฏิกิริยาโดยต้มตัวอย่างในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลานาน 5 นาที และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ ขนาดสายโซ่กลูแคน (chain length distribution) ด้วยเครื่อง High performance anion exchange chromatography โดยใช้ดีเทคเตอร์แบบ Pulsed amperometric detector (HPAEC-PAD) กรองตัวอย่างด้วยเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอนก่อนฉีดเข้าคอลัมน์และควบคุมตัวอย่างที่จะทำการคัตขนาดจะให้มีปริมาตรเท่ากับ 20 ไมโครลิตร ใช้คอลัมน์ PA-100 เพื่อคัตแยกขนาดของสายโซ่กลูแคนและควบคุมอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.25 มิลลิลิตรต่อนาที โดยเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้จะประกอบด้วย eluent A คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ และ eluent B คือ โซเดียมอะซิเตรทเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ ควบคุมให้มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เป็นองค์ประกอบในเฟสคงที่ ดังนี้ นาทีที่ 0 ถึง 9 มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เพิ่มขึ้นจาก 15 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์ นาทีที่ 9 ถึง 18 มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เพิ่มขึ้นจาก 36 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และนาทีที่ 18 ถึง 110 มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เพิ่มขึ้นจาก 45 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

ทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ในการตัดกิ่งก้านของเอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง โดยเติมเอนไซม์เบต้าอะมิเลส (β -amylase, 10000 U/ml, Megazyme, Ireland) ลงในตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยพันธะกิ่งที่เจือจางให้มีความเข้มข้นลดลง 4 เท่า จากนั้นเติมเอนไซม์เบต้าอะมิเลส 44 unit โดยปรับให้เอนไซม์ทำงานในสภาวะที่มีโซเดียมอะซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ (พีเอช 6) แล้วจึงบ่มสารละลายตัวอย่างทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 25 °C หยุดปฏิกิริยาโดยต้มตัวอย่างในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลานาน 5 นาที จากนั้นกรองด้วยเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอนและวิเคราะห์น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิคทางโครมาโตกราฟี (ion exchange chromatography) ตามวิธีการของ Bertoft (2004) ใช้คอลัมน์ Carbpac PA-100 เพื่อคัตแยกขนาดของสายโซ่กลูแคนและควบคุมอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.25 มิลลิลิตรต่อนาที โดยเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้จะประกอบด้วย eluent A คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ และ eluent B คือ โซเดียมอะซิเตรทเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ ควบคุมให้มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เป็นองค์ประกอบในเฟสคงที่ ดังนี้ นาทีที่ 0 ถึง 9 มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เพิ่มขึ้นจาก 15 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์ นาทีที่ 9 ถึง 18 มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เพิ่มขึ้นจาก 36 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และนาทีที่ 18 ถึง 110 มีร้อยละสัดส่วนของ eluent B เพิ่มขึ้นจาก 45 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยตัวอย่างที่ย่อยพันธะกิ่งสมบูรณ์จะพบเฉพาะน้ำตาลมอลโทส และน้ำตาลมอลโทไตรโอส โดยจะพบน้ำตาลมอลโทส (DP = 2) เป็นองค์ประกอบหลัก

3.4.12 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS® โดยใช้วิธีวิเคราะห์สถิติ ANOVA (analysis of variance) โดยวิธี DMRT (Duncan's multiple range tests) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

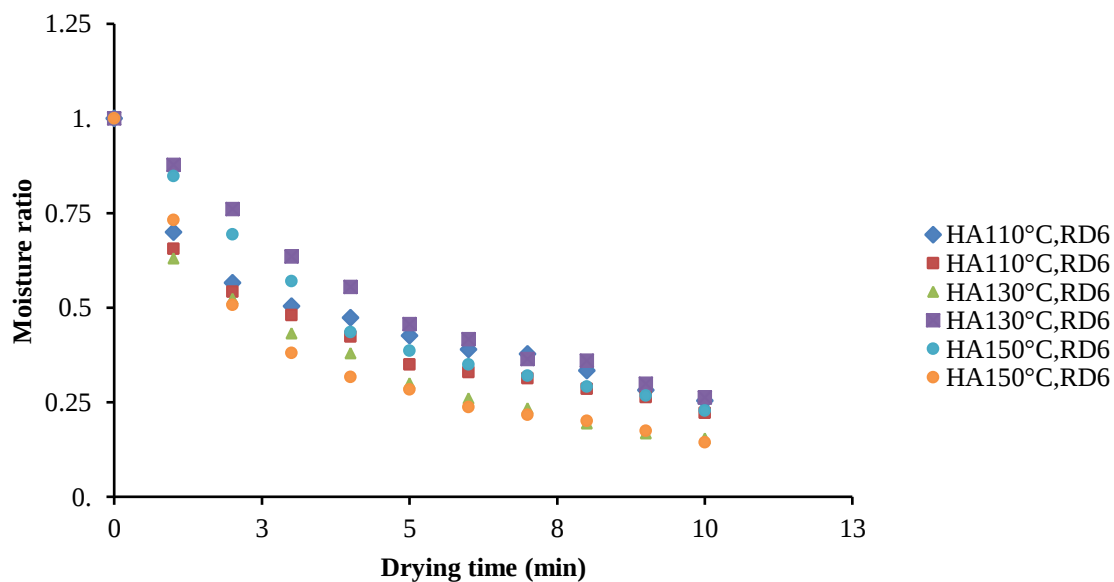
ผลการทดลองการอบแห้งข้าวเหนียวแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวขัดสี และการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อคุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง

ในส่วนแรกเป็นการทดลองอบแห้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์คือ กข 6 และข้าวเหนียวดำ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน โดยใช้ตัวกลาง 2 ชนิด คือ ลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง แล้วเปรียบเทียบผลการทดลองด้านจลนพลศาสตร์ในการอบแห้งและคุณภาพของข้าวเหนียวหลังการทดลอง ได้แก่ ร้อยละต้นข้าว ระดับการเกิดเงาที่โนเซชัน โครงสร้างระดับจุลภาค สี สมบัติด้านเนื้อสัมผัส การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส และการกระจายโซ่กิ่ง

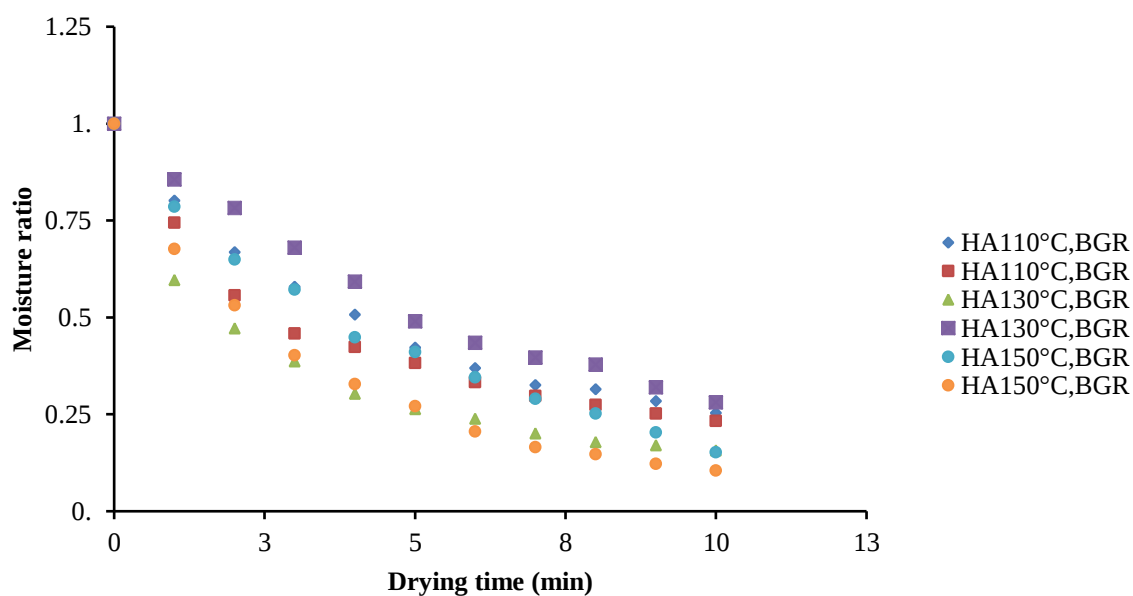
1. การอบแห้งด้วยฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวขัดสี

1.1 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

การลดความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวทั้งสองพันธุ์ ที่อบด้วยลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2 (ก-ข) พบว่าความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งลดลงช้ากว่ากรณีอบแห้งด้วยลมร้อนในช่วงแรกเป็นเวลา 0-4 นาที แต่หลังจากนั้นความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับการอบแห้งทั้งสองกรณี ซึ่งเห็นได้ชัดในรูปที่ 2 (ก) การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วงเวลา 0-4 นาทีเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในช่วงแรกของการอบแห้ง (Rordprapat et al., 2003)



(ก) กข 6



(ข) ข้าวเหนียวดำ

รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอุณหภูมิ

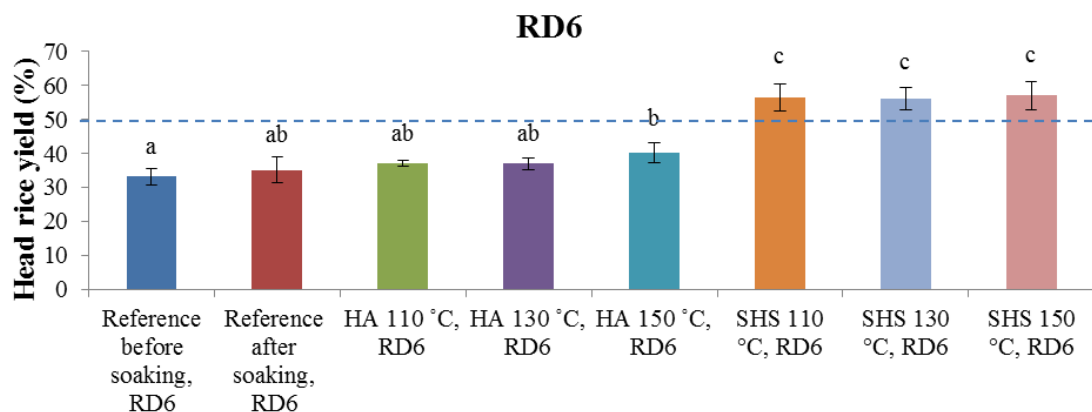
110, 130 และ 150 °C (ก) กข6 (ข) ข้าวเหนียวดำ

HA = ลมร้อน, SHS = ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

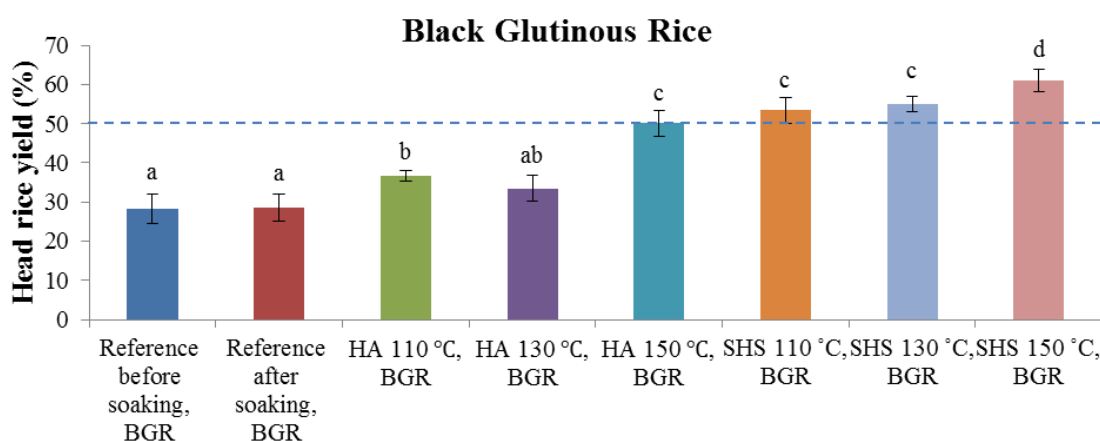
1.2 ร้อยละต้นข้าว

ร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวขัดสีอ้างอิง (ก่อนแช่น้ำ) ข้าวเหนียวขัดสีอ้างอิง (หลังแช่น้ำ) และข้าวเหนียวขัดสีพันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำ ที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนและไอน้ำ

ร้อนนวดยิ่งในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดที่อุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C แสดงในรูปที่ 3 (ก-ข)



(ก) กข 6



(ข) ข้าวเหนียวดำ

รูปที่ 3 ร้อยละต้นข้าว (ก) กข 6 (ข) ข้าวเหนียวดำ

HA = ลมร้อน, SHS = ไอน้ำร้อนนวดยิ่ง

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (>100 °C) แสดงการเพิ่มขึ้นของร้อยละต้นข้าวของข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งทำให้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งเห็นได้ชัดในกรณีอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่ง ($p < 0.05$) นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 150 °C ให้ร้อยละต้นข้าวสูงที่สุดคือ 50.1% สำหรับอบแห้งข้าวเหนียวดำด้วยลมร้อน และ 61.2% สำหรับอบแห้งข้าวเหนียวดำด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนและไอน้ำร้อนนวดยิ่งของข้าวเหนียวแต่ละพันธุ์ พบว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่งช่วยให้ร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Rordprapat et al. (2003) รายงานว่าร้อยละต้นข้าวอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนนวดยิ่งมีค่าสูงกว่าการอบแห้งข้าวด้วยลมร้อนทุกกรณี เนื่องจากเจลาทีไนเซชันเกิดขึ้นระหว่าง

ขบวนการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิและความชื้นสูงสามารถทำให้เม็ดแป้งหลอมรวมเต็มช่องว่าง ในขณะที่ความชื้นเคลื่อนย้ายออก เม็ดแป้งหลอมรวม เปลี่ยนแปลงรูปร่างและสุดท้ายเกิดการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ หรือเรียกว่า ไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) (Rordprapat et al., 2003; Taechapairoj et al., 2003) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 (ก-ข)

1.3 ระดับการเกิดเจลลิตในเซชัน

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งข้าวเหนียวได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) อุณหภูมิสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิตสุดท้าย (T_c) ของการเกิดเจลลิตในเซชัน เอนทาลปี (ΔH) และระดับการเกิดเจลลิตในเซชัน (DG) ปกติอุณหภูมิทรานซิชันของแป้งข้าวเหนียวถูกพบอยู่ในช่วง $T_o = 61.9-69.0$ °C, $T_p = 64.9-70.3$ °C และ $T_c = 75.5-83.1$ °C (Wang & Wang, 2002; Vandeputte et al., 2003; Keeratipibul et al., 2008) การเกิดเจลลิตในเซชันบางส่วนของข้าวเหนียวเกิดจากความร้อนทำให้อุณหภูมิทรานซิชันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิข้าวเหนียวอ้างอิง ซึ่งคล้ายกับการค้นพบก่อนหน้านี้โดย Chung et al., 2006

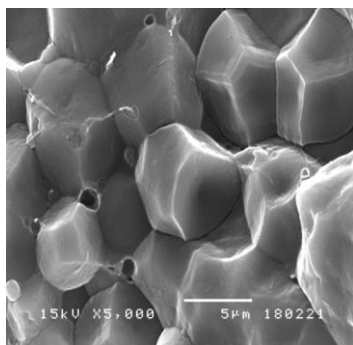
ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวที่ตัวกลางและอุณหภูมิต่าง ๆ

Processing conditions	Transition temperature (°C)			ΔH	DG
	T_o	T_p	T_c	(J/g)	(%)
Reference before soaking, BGR	62.5	70.5	77.3	10.9	0
Reference after soaking, BGR	68.1	74.8	80.6	8.2	24.8
SHS 110 °C, BGR	67.8	76.0	82.7	3.4	68.8
SHS 130 °C, BGR	-	-	-	-	100
SHS 150 °C, BGR	-	-	-	-	100
HA 150 °C, BGR	-	-	-	-	100
Reference before soaking, RD6	61.9	69.4	78.3	9.2	0
Reference after soaking, RD6	69.0	77.1	84.2	8.4	8.7
SHS 110 °C, RD6	66.9	73.6	81.3	2.9	68.5
SHS 130 °C, RD6	-	-	-	-	100
SHS 150 °C, RD6	-	-	-	-	100
HA 150 °C, RD6	-	-	-	-	100

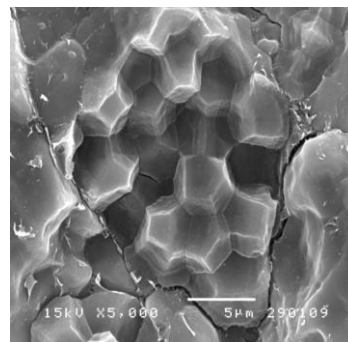
RD6 = rice department6; BGR=black glutinous rice; DG = degree of gelatinization; SHS = superheated steam; HA = hot air; $\Delta H_c = \Delta H$ of each reference before soaking glutinous rice cultivars.

นอกจากนี้ ข้าวเหนียวดำอ้างอิงก่อนแช่น้ำมีค่าเอนทาลปีมากกว่าข้าวเหนียว กข6 อ้างอิงก่อนแช่น้ำเนื่องจากมีปริมาณอมิโลสมากกว่า เมื่อข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์ผ่านการแช่น้ำและอบแห้งที่อุณหภูมิสูง เม็ดสตาร์ชถูกหลอมรวม (สามารถดูได้จากรูปที่ 4) และเอนทาลปี

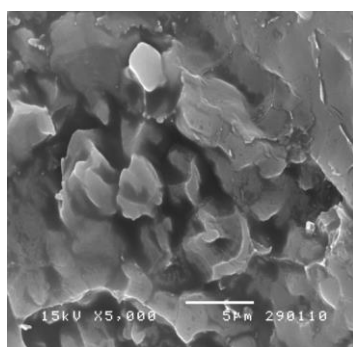
สำหรับการหลอมเม็ดสตาร์ชมีค่าลดลง สามารถสังเกตได้ว่าระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นและการใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงกว่า 130 °C ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชของ ข้าวเหนียวเกิดเจลลิตีในช้อย่างสมบูรณ์



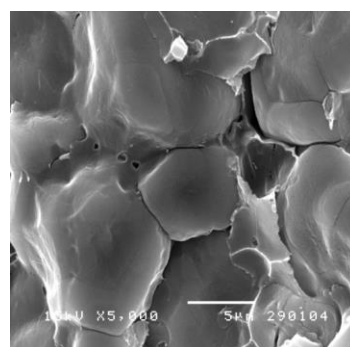
Reference before soaking (RD6)



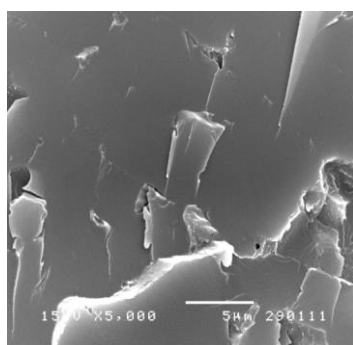
Reference after soaking (RD6)



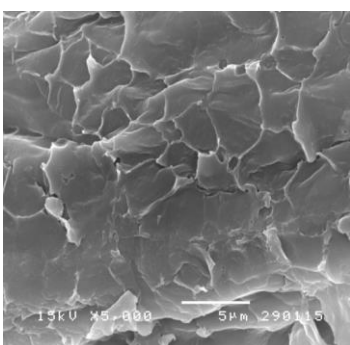
HA 110 °C (RD6)



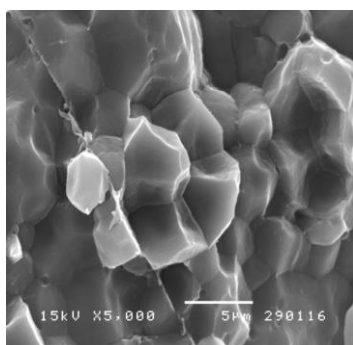
SHS 110 °C (RD6)



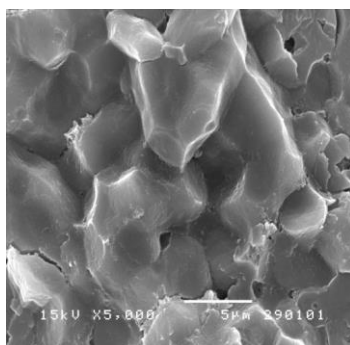
HA 150 °C (RD6)



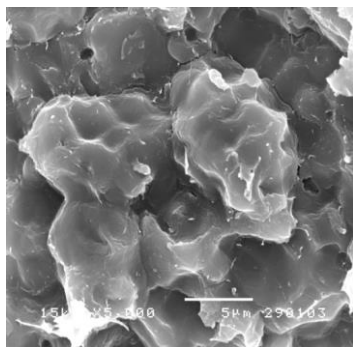
SHS 150 °C (RD6)



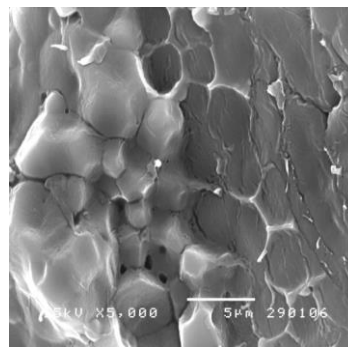
Reference before soaking (BGR)



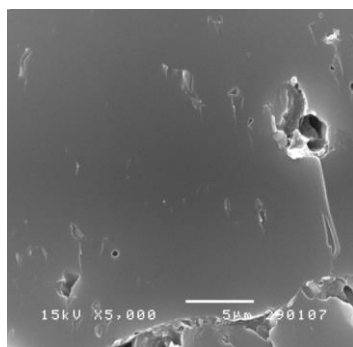
Reference after soaking (BGR)



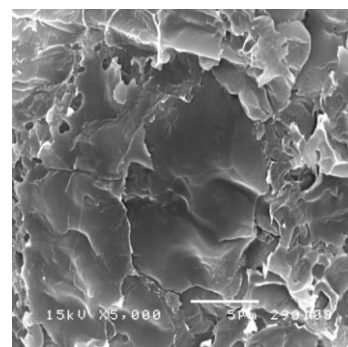
HA 110 °C (BGR)



SHS 110 °C (BGR)



HA 150 °C (BGR)



SHS 150 °C (BGR)

รูปที่ 4 โครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งด้วยตัวกลางและอุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ

HA = ลมร้อน; SHS = ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง; RD6 = กข6; BGR = ข้าวเหนียวดำ

1.4 โครงสร้างระดับจุลภาค

โครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำ แสดงดังรูปที่ 4 เมล็ดข้าวเหนียวอ้างอิงมีลักษณะรูปร่างหลายเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2-9 μm หลังจากผ่านการแช่น้ำ เม็ดสตาร์ชของข้าวเหนียวถูกหลอมละลายบางส่วนเนื่องจากเกิดเจลลิตีในเซชันโดยเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เกิดเจลลิตีในเซชัน 8.7% ส่วนข้าวเหนียวดำเกิดเจลลิตีในเซชัน 24.8% (สามารถดูได้จากตารางที่ 1) อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นทำให้เกิดเจลลิตีในเซชันเพิ่มขึ้นส่งผลต่อเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียวเกิดการหลอมละลายแผ่กระจายออกไปและสูญเสียรูปร่างเดิมในที่สุด จากรูปที่ 4 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 °C เม็ดสตาร์ชของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำถูกหลอมละลายจนหมดเนื่องจากเกิดเจลลิตีในเซชันสมบูรณ์ (100%) นอกจากนี้การเกิดเจลลิตีในเซชันมากขึ้นทำให้เมล็ดข้าวเหนียวทนต่อการขัดสีระหว่างการสีข้าวซึ่งส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวมีค่าสูงขึ้น

1.5 สี

การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เงื่อนไขต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2 สีของข้าวเหนียวแสดงในเทอมของค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE^* สำหรับตัวอย่างข้าวเหนียวหลังแช่น้ำและผ่านการอบแห้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างข้าวเหนียวอ้างอิง อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นทำให้ค่า L^* และ a^* ลดลงทั้งข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ยกเว้นค่า b^* ซึ่งตรงกันข้ามกันระหว่างข้าวเหนียวสองพันธุ์ ค่า b^* เพิ่มขึ้นในกรณีข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ในขณะที่มีค่าลดลงสำหรับข้าวเหนียวดำ โดยทั่วไป การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ค่า L^* และ a^* ลดลง แต่ค่า b^* เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ ΔE^* เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น เหตุผลสำหรับการเปลี่ยนสีในเทอม L^* , a^* และ b^* ลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นในข้าวเหนียวดำอาจเนื่องมาจากการสลายของแอนโทไซยานินมีผลมากกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งส่งผลให้ค่า b^* ลดลง

ตารางที่ 2 สีของข้าวเหนียวที่ตัวกลางและอุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ

Processing conditions	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Reference before soaking, BGR	39.3 ± 0.8 ^a	6.1 ± 0.1 ^a	5.8 ± 0.1 ^a	0 ^a
Reference after soaking, BGR	32.8 ± 0.9 ^b	4.6 ± 0.1 ^b	3.7 ± 0.2 ^b	7.0 ^b
HA 110 °C, BGR	25.8 ± 0.7 ^c	3.8 ± 0.1 ^c	2.1 ± 0.1 ^d	14.2 ^c
HA 130 °C, BGR	25.1 ± 0.1 ^c	3.6 ± 0.1 ^c	1.9 ± 0.1 ^{de}	15.0 ^d
HA 150 °C, BGR	23.7 ± 0.4 ^d	3.5 ± 0.4 ^c	1.2 ± 0.5 ^f	16.4 ^e
SHS 110 °C, BGR	26.0 ± 0.3 ^c	4.7 ± 0.1 ^b	3.1 ± 0.1 ^c	13.7 ^c
SHS 130 °C, BGR	23.6 ± 0.5 ^d	3.4 ± 0.1 ^c	1.6 ± 0.1 ^e	16.4 ^e
SHS 150 °C, BGR	23.5 ± 0.3 ^d	3.4 ± 0.2 ^c	1.6 ± 0.2 ^{ef}	16.6 ^e
Reference before soaking, RD6	81.9 ± 0.8 ^a	4.0 ± 0.6 ^b	11.2 ± 0.7 ^a	0 ^a
Reference after soaking, RD6	64.7 ± 0.1 ^b	2.2 ± 0.1 ^d	21.5 ± 0.2 ^b	20.2 ^f
HA 110 °C, RD6	64.1 ± 0.1 ^b	1.7 ± 0.0 ^e	21.6 ± 0.4 ^b	20.8 ^f
HA 130 °C, RD6	62.9 ± 0.1 ^c	1.6 ± 0.0 ^e	21.3 ± 0.2 ^b	21.7 ^g
HA 150 °C, RD6	61.9 ± 0.2 ^d	2.5 ± 0.2 ^{cd}	22.7 ± 0.2 ^c	23.2 ^h
SHS 110 °C, RD6	57.0 ± 0.1 ^e	4.6 ± 0.1 ^a	24.6 ± 0.5 ^d	28.3 ^j
SHS 130 °C, RD6	56.2 ± 0.4 ^f	4.1 ± 0.1 ^b	23.1 ± 0.4 ^c	28.3 ^j
SHS 150 °C, RD6	56.9 ± 0.1 ^e	2.9 ± 0.1 ^c	22.4 ± 0.1 ^c	27.4 ⁱ

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p \leq 0.05$).

HA = hot air; SHS = superheated steam; RD6 = rice department 6; BGR = black glutinous rice.

Rumruaytum et al. (2014) แสดงว่าอุณหภูมิอบแห้งสูงและเวลาอบแห้งนานทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ลดลงในข้าวอะมิโลส (พันธุ์สังข์หยดพัทลุง มีปริมาณอะมิโลสปรากฏ 13.48%) และสีในเทอม L^* , a^* และ b^* มีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับปริมาณโพลีฟีนอล (polyphenol) ซึ่งรายงานโดย Yodmanee et al. (2011) อย่างไรก็ตามสำหรับข้าวเหนียวดำซึ่งมีปริมาณอะมิโลสน้อย การสลายของแอนโทไซยานินเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงยังคงจำเป็นต้องได้รับการพิสูจน์ต่อไป การเปลี่ยนสีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้รับความสนใจเพราะปกติข้าวเหนียวโดยเฉพาะพันธุ์ กข 6 ในการศึกษาเมล็ดมีลักษณะปรากฏสีขาวขุ่น (Webb and Stermer, 1972) มันถูกปรับปรุงสายพันธุ์มาจากข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยการฉายรังสีแกมมา 20 กิโลแรด (Jarupong et al., 2002) กระบวนการอบแห้งอาจเป็นเหตุให้สีของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กลับคืนสู่สีดั้งเดิมคือสีข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผลการทดลองได้รับการสนับสนุนโดย Jaiboon et al. (2009) ซึ่งพบว่าเมล็ดข้าวเหนียวสีขาวขุ่นเปลี่ยนเป็นเมล็ดโปร่งแสงเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 130 °C แสดงถึงการเกิดเจลลิกไนเซชันสมบูรณ์ นอกจากนี้ค่า L^* และ b^* ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตัวกลางทั้งสองมีความใกล้เคียงกับสีของเมล็ดข้าวเหนียวหนึ่งข้าวเหนียวส่งออกเชิงพาณิชย์ ($L^* = 62.12$, $b^* = 24.62$) (Chungcharoen et al., 2015) โดยการประเมินค่าด้วยสายตา ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แสดงความโปร่งแสงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะกรณีอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.6 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

ความแข็งและความเหนียวของข้าวเหนียวหนึ่งสุก แสดงดังตารางที่ 3 ความแข็งและความเหนียวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 อ้างอิงก่อนแช่น้ำหนึ่งสุกมีค่า 212.51 N และ 67.37 N ตามลำดับ ในขณะที่ความแข็งและความเหนียวของข้าวเหนียวดำอ้างอิงหลังแช่น้ำหนึ่งสุกมีค่า 257.58 N และ 64.09 N ตามลำดับ

ตารางที่ 3 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวหนึ่งสุกที่ผ่านการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

Processing conditions	Hardness (N)	Stickiness (N)
Reference before soaking, BGR	257.58 ± 13.8 ^h	64.09 ± 2.4 ^g
Reference after soaking, BGR	224.29 ± 13.6 ^g	62.32 ± 5.4 ^g
HA 110 °C, BGR	154.98 ± 4.4 ^e	51.82 ± 8.1 ^f
HA 130 °C, BGR	92.17 ± 9.8 ^c	41.70 ± 4.9 ^e
HA 150 °C, BGR	70.53 ± 1.6 ^b	31.44 ± 2.2 ^{bc}
SHS 110 °C, BGR	136.15 ± 13.9 ^d	50.85 ± 8.2 ^f
SHS 130 °C, BGR	91.77 ± 3.2 ^c	39.40 ± 1.0 ^{de}
SHS 150 °C, BGR	57.51 ± 0.9 ^b	27.43 ± 1.3 ^{abc}

Reference before soaking, RD6	212.51 ± 15.1 ^g	67.37 ± 2.6 ^g
Reference after soaking, RD6	182.05 ± 8.1 ^f	65.18 ± 2.4 ^g
HA 110 °C, RD6	124.43 ± 5.3 ^d	54.12 ± 1.7 ^f
HA 130 °C, RD6	66.27 ± 5.9 ^b	33.49 ± 1.6 ^{cd}
HA 150 °C, RD6	54.78 ± 5.2 ^b	30.15 ± 1.8 ^{bc}
SHS 110 °C, RD6	98.92 ± 13.2 ^c	39.94 ± 6.8 ^{de}
SHS 130 °C, RD6	37.57 ± 4.7 ^a	24.35 ± 2.6 ^{ab}
SHS 150 °C, RD6	32.50 ± 7.3 ^a	21.50 ± 3.1 ^a

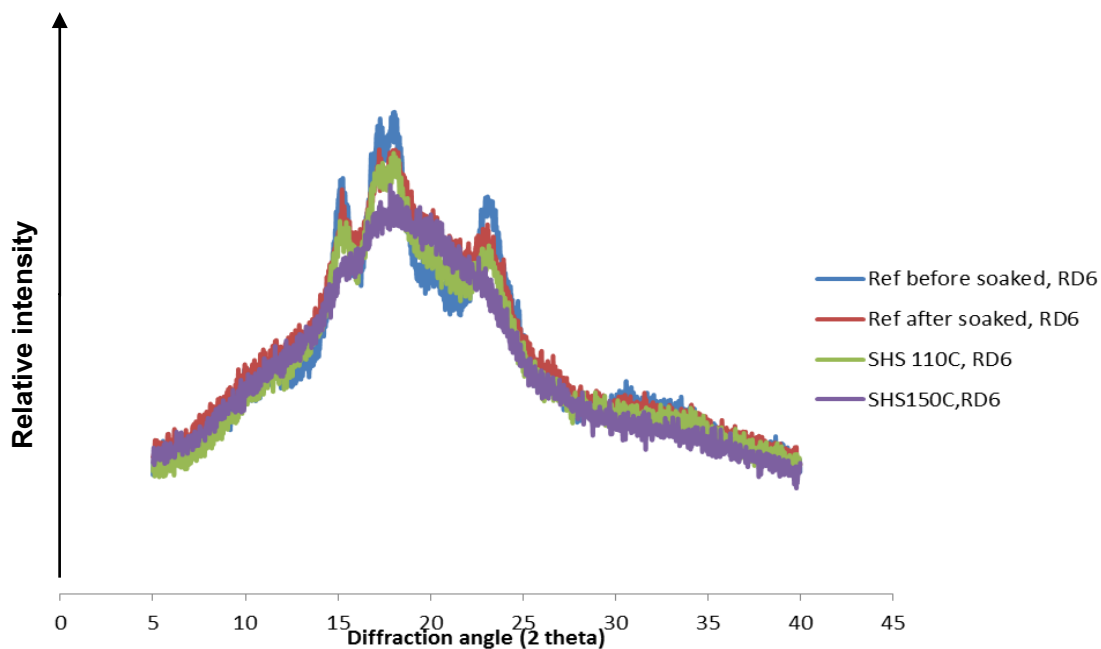
Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p \leq 0.05$).

HA = hot air; SHS = superheated steam; RD6 = rice department 6; BGR = black glutinous rice.

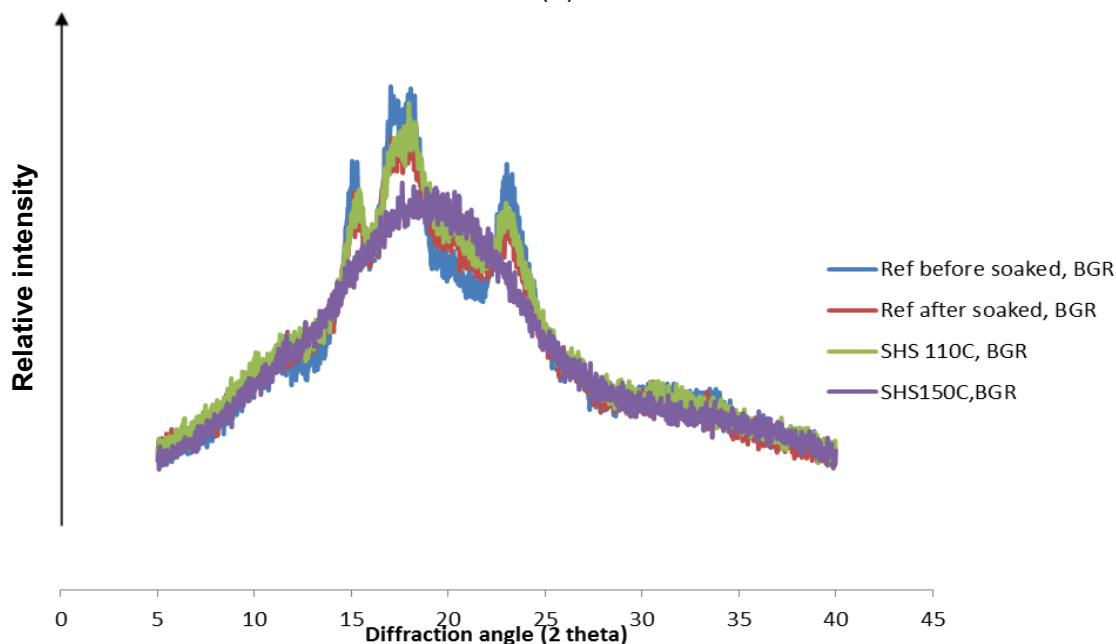
สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวดำอ้างอิงหนึ่งสุกมีความแข็งมากกว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 อ้างอิงก่อนแช่น้ำสุก แต่ความเหนียวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากผ่านการแช่น้ำ ข้าวเหนียวหนึ่งสุกทั้งสองพันธุ์มีความแข็งลดลงและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความเหนียวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเหนียวของข้าวเหนียวอ้างอิง เมื่อตัวอย่างข้าวเหนียวถูกอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นโดยลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ความแข็งและความเหนียวลดลงและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำให้ความแข็งของข้าวเหนียวหนึ่งสุกทั้งสองพันธุ์ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยกเว้นความเหนียวที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 การลดลงของความแข็งบ่งบอกถึงเนื้อสัมผัสนุ่มของข้าวเหนียวหนึ่งสุก ผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับ Chungcharoen et al. (2015) ซึ่งรายงานว่าอุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน ไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำให้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 นุ่มมีความแข็งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน

1.7 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

รูปที่ 5(ก)-(ข) แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแป้งข้าวหนึ่งข้าวเหนียว 2 พันธุ์คือพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำอ้างอิง ข้าวเหนียวหลังแช่น้ำ และข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 110 °C และ 150 °C



(ก) กข 6



(ข) ข้าวเหนียวดำ

รูปที่ 5 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแป้งข้าวเหนียวอ้างอิง แป้งข้าวเหนียวหลังแช่ และแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C และ 150 °C (ก) พันธุ์ กข 6 (ข) พันธุ์ข้าวเหนียวดำ (SHS = ใอน้ำร้อนยวดยิ่ง)

จากรูปที่ 5 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแป้งข้าวเหนียวอ้างอิงทั้ง 2 พันธุ์ มีรูปร่างผลึกเป็นแบบ A-type ด้วยการเลี้ยวเบนมุมคู่ $2\theta = 17^\circ$ กับ 18° และมุมเดี่ยวที่ $2\theta = 15^\circ$ และ 23° ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับผลึกของข้าวทั่วไป (Ong and Blanshard, 1995) เมื่อข้าวเหนียวผ่านการแช่ในน้ำร้อนและอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C ความร้อนจากใอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถทำลาย

โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งบางส่วนและเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์ถูกทำลายจนหมด การลดลงของระดับความเป็นผลึกสอดคล้องกับการลดลงของเอนทัลปีและโครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวที่เกิดเจลลาที่ในชัสนมบูรณ์เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C

1.8 การทดสอบด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวชนิดสี 2 พันธุ์ คือพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำ อ่างอิง ข้าวเหนียวหลังแช่ และข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และข้าวเหนียวดำชนิดสีที่ผ่านการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

Processing conditions	Color	Odor	Softness	Stickiness	Taste	Overall acceptance
Reference before soaking, BGR	5.64±1.06 ^{bc}	5.77±1.06 ^c	5.51±1.08 ^b	5.44±1.04 ^c	5.65±1.02 ^{bc}	5.72±1.09 ^b
Reference after soaking, BGR	6.00±1.05 ^{de}	5.83±1.07 ^c	5.86±1.08 ^c	5.62±1.05 ^{cd}	5.69±1.05 ^{bc}	5.94±0.96 ^{bc}
HA 110 °C, BGR	6.43±1.23 ^{fg}	6.20±1.54 ^d	5.93±1.51 ^{cd}	5.84±1.41 ^{de}	5.94±1.61 ^c	5.96±1.66 ^{bc}
HA 130 °C, BGR	7.28±1.36 ^k	7.00±1.74 ^{gh}	7.57±1.46 ^{fg}	7.36±1.80 ^{ij}	7.33±1.52 ^e	7.52±1.44 ^e
HA 150 °C, BGR	6.57±1.29 ^{fgh}	7.22±1.07 ^{hi}	7.34±1.25 ^f	7.25±1.27 ^{hi}	7.38±1.43 ^e	7.68±1.47 ^e
SHS 110 °C, BGR	5.89±1.25 ^{cd}	6.60±1.15 ^{ef}	6.25±1.49 ^d	6.36±1.53 ^f	6.62±1.54 ^d	6.86±1.40 ^d
SHS 130 °C, BGR	6.31±1.28 ^{ef}	7.03±1.06 ^{gh}	6.83±1.32 ^e	6.88±1.47 ^g	7.20±1.33 ^e	7.74±1.24 ^e
SHS 150 °C, BGR	7.64±1.50 ^l	7.39±1.83 ⁱ	8.00±1.41 ^h	7.78±1.82 ^k	7.82±1.53 ^{fg}	8.10±1.45 ^f
Reference before soaking, RD6	4.73±0.78 ^a	4.47±0.96 ^a	4.48±0.90 ^a	4.48±0.88 ^a	5.04±0.91 ^a	5.29±0.76 ^a
Reference after soaking, RD6	5.36±0.74 ^b	4.98±0.72 ^b	4.74±0.92 ^a	5.08±0.89 ^b	5.39±0.82 ^b	6.19±0.64 ^c
HA 110 °C, RD6	6.04±0.96 ^{de}	6.42±0.91 ^{def}	6.21±1.32 ^{cd}	6.31±1.13 ^f	6.45±0.95 ^d	6.71±0.87 ^d
HA 130 °C, RD6	6.94±1.02 ^{ij}	7.40±1.20 ⁱ	7.50±0.94 ^{fg}	7.53±0.97 ^{ijk}	7.55±0.98 ^{ef}	7.84±0.73 ^{ef}
HA 150 °C, RD6	6.67±0.75 ^{ghi}	6.76±0.75 ^{fg}	6.77±0.76 ^e	6.95±0.78 ^{gh}	7.31±0.79 ^e	7.61±0.49 ^e
SHS 110 °C, RD6	6.75±0.76 ^{ghi}	6.28±1.08 ^{de}	5.98±1.04 ^{cd}	5.88±0.84 ^{de}	6.55±0.90 ^d	6.76±0.43 ^d
SHS 130 °C, RD6	6.84±0.69 ^{hij}	6.55±0.86 ^{def}	6.79±0.74 ^e	6.10±0.94 ^{ef}	7.28±0.91 ^e	7.71±0.46 ^e
SHS 150 °C, RD6	7.08±1.23 ^{jk}	7.45±1.21 ⁱ	7.70±1.08 ^{gh}	7.64±1.17 ^{jk}	7.94±1.14 ^g	8.06±1.10 ^f

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p \leq 0.05$).

HA = hot air; SHS = superheated steam; RD6 = rice department 6; BGR = black glutinous rice.

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวขัดสีทั้งสองพันธุ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ พบว่า สีของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 อ้างอิงได้รับความนิยมน้อยที่สุดในขณะที่ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 150 °C ได้รับความนิยมมากที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 อ้างอิงได้รับความนิยมด้านกลิ่นน้อยที่สุด ส่วนข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 150 °C ได้รับความนิยมด้านกลิ่นมากที่สุด สำหรับด้านความนุ่มและความเหนียวของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 150 °C ได้รับความนิยมมากที่สุด ในส่วนของรสชาติอาสาสมัครชอบข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 150 °C มากที่สุด และการได้รับการยอมรับในภาพรวมพบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

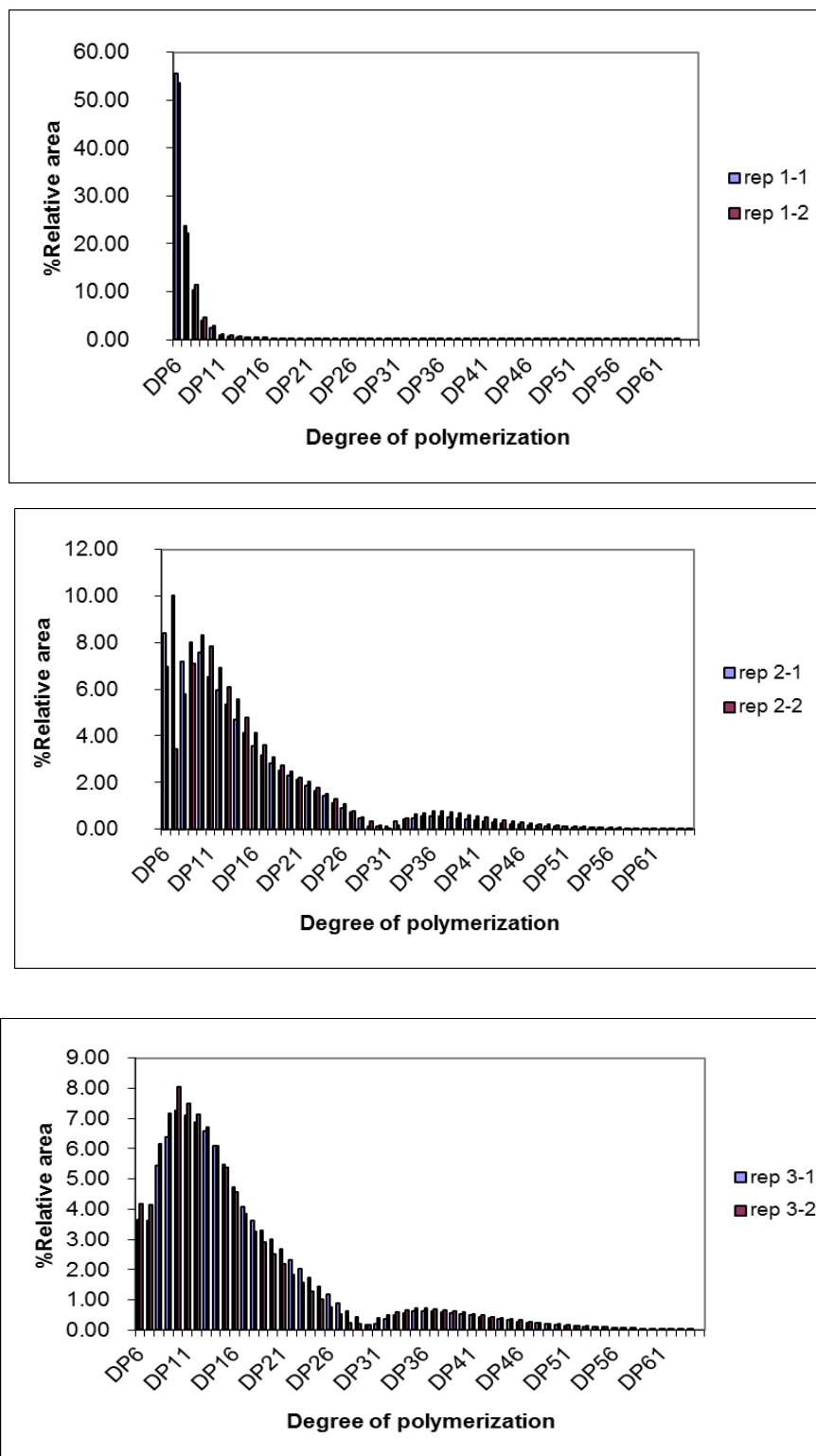
1.9 การกระจายของโซ่

การกระจายของโซ่ (chain length distribution) สำหรับขนาดสายโซ่กลูแคน (glucan) ที่เป็นองค์ประกอบของสตาร์ชที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยพันธะกิ่งและคัดขนาดโดยใช้ ion exchange chromatography (ตารางที่ 5 และรูปที่ 6) เมื่อพิจารณาร้อยละการกระจายตัวของสายโซ่กิ่งที่มีความยาวต่าง ๆ กัน (chain length distribution) ของโมเลกุลอะมิโลเพคตินที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ไอโซอะมิเลส พบว่า อะมิโลเพคตินมีความยาวของสายโซ่กิ่งมากที่สุดในช่วง DP 13-24 รองลงมา คือ DP 6-12

ตารางที่ 5 ร้อยละการกระจายตัวของสายโซ่กิ่งที่มีความยาวต่าง ๆ กัน (chain length distribution) ของโมเลกุลอะมิโลเพคตินของตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ไอโซอะมิเลส

ตัวอย่าง	ร้อยละการกระจายของสายโซ่กิ่ง (%Distribution)			
	DP 6-12	DP 13-24	DP 25-36	DP $\geq$ 37
Reference BGR	25.79	47.07	12.87	14.27
Reference RD6	25.99	47.17	12.76	14.08

BGR = Black glutinous rice; RD6 = Rice department 6



รูปที่ 6 ความยาวของสายโซ่กิ่งของสตาร์ชที่ผ่านการย่อยพันธะกิ่งด้วยเอนไซม์ไอโซอะมิเลส
ของข้าวเหนียวดำกล้องอ่างอิงและข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 อ่างอิง
(Rep3-1 = Black glutinous rice; rep 3-2 = Rice department 6)

2. การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อคุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง

ข้าวเหนียวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูงแต่เก็บไว้ได้ไม่นาน ดังนั้นงานวิจัยในส่วนนี้จึงใช้เทคนิคฟลูอิดไอเซชันร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเหนียวกล้องและคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ดังเดิม การทดสอบคุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องมีดังต่อไปนี้

2.1 คุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง

คุณภาพของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องได้แก่ ร้อยละต้นข้าว สี สมบัติทางความร้อน โครงสร้างระดับจุลภาค การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ สมบัติด้านเนื้อสัมผัส และการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

2.1.1 ร้อยละต้นข้าว

ตารางที่ 6 แสดงร้อยละต้นข้าวของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 และพันธุ์ข้าวเหนียวดำที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงพันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำมีร้อยละต้นข้าว 46.8 และ 40.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ร้อยละต้นข้าวของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Drying conditions	Head brown parboiled rice yield (%)
Reference, RD6	46.8 ± 1.4
SHS 110 °C, RD6	57.3 ± 0.8
SHS 130 °C, RD6	58.8 ± 0.4
SHS 150 °C, RD6	63.4 ± 0.8
Reference, BGR	40.0 ± 2.0
SHS 110 °C, BGR	59.5 ± 1.2
SHS 130 °C, BGR	61.9 ± 1.7
SHS 150 °C, BGR	67.0 ± 0.7

RD6 = Rice department 6; BGR= Black glutinous rice; SHS = superheated steam

เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ร้อยละต้นข้าวของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องทั้งสองพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ร้อยละต้นข้าวของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องทั้งสองพันธุ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าสูงที่สุด

3.2 สีของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลั้อง

สีของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลั้องพันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำอ้างอิงและที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในเทอมของ L^* , a^* และ b^* แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สีของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลั้องที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Drying conditions	L^*	a^*	b^*
Reference, RD6	60.2 ± 0.2	4.6 ± 0.3	22.5 ± 0.4
SHS 110 °C, RD6	55.1 ± 0.1	5.1 ± 0.1	25.2 ± 0.1
SHS 130 °C, RD6	55.0 ± 0.3	5.2 ± 0.1	24.9 ± 0.4
SHS 150 °C, RD6	55.2 ± 0.9	5.3 ± 0.2	25.4 ± 0.5
Reference, BGR	21.7 ± 0.0	2.7 ± 0.1	0.9 ± 0.2
SHS 110 °C, BGR	21.6 ± 0.1	3.1 ± 0.3	1.2 ± 0.1
SHS 130 °C, BGR	21.7 ± 0.2	3.1 ± 0.2	1.2 ± 0.0
SHS 150 °C, BGR	22.7 ± 0.6	3.3 ± 0.6	1.6 ± 0.6

RD6 = Rice department 6; BGR = Black glutinous rice; SHS = superheated steam

จากตารางที่ 7 พบว่า ค่า L^* , a^* และ b^* ของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลั้องพันธุ์ กข6 อ้างอิง มีค่า 60.2, 4.6 และ 22.5 ตามลำดับ ส่วนค่า L^* , a^* และ b^* ของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกลั้องอ้างอิงมีค่า 21.7, 2.7 และ 0.9 ตามลำดับ เมื่อตัวอย่างข้าวเหนียวกลั้องทั้งสองพันธุ์ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงคือ 110, 130 และ 150 °C ทำให้ค่าสีมีความเปลี่ยนแปลงโดยค่าความขาวลดลง

3.3 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิเจลาทีในเซชัน T_o , T_p , T_c , เอนทาลปี และระดับการเกิดเจลาทีในเซชันของข้าวเหนียวกลั้องอ้างอิง ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลั้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 8 อุณหภูมิทรานซิชันได้แก่อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature; T_o) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature; T_p) และอุณหภูมิสุดท้าย (conclude temperature; T_c) และเอนทาลปี (enthalpy; ΔH) ของข้าวเหนียวดำกลั้องอ้างอิงมีค่า 69.8, 75.3, 82.2 °C และ 10.0 J/g ตามลำดับ เมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C ทำให้ T_o เพิ่มขึ้น ในขณะที่ T_p เท่าเดิม แต่ T_c และ ΔH ลดลง ในส่วนค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH ของข้าวเหนียวกลั้องอ้างอิงพันธุ์ กข6 คือ 67.4, 74.3, 81.1 °C และ 9.5 J/g ตามลำดับ เมื่อข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลั้องพันธุ์ กข6 ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C ทำให้ค่า T_o , T_p , T_c มีค่าเท่าเดิม แต่เอนทาลปีลดลง ในทำนองกลับกันระดับการเกิดเจลาทีในเซชันของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกลั้องทั้งสองพันธุ์ที่อุณหภูมิตอบแห้ง 110 °C มีค่า 87% (ข้าวเหนียวดำ) และ 76.8% (พันธุ์ กข6) จากผลการทดลองนี้บ่งบอกถึงเม็ดสตาร์ชยังคงปรากฏอยู่บางส่วนในเมล็ดข้าวเหนียวกลั้องซึ่งแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 8 สมบัติทางความร้อนของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้างที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ

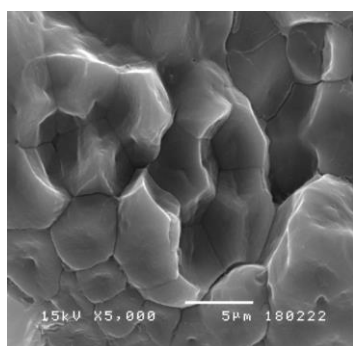
Drying conditions	Transition temperature (°C)			ΔH (J/g)	DG (%)
	T_o	T_p	T_c		
Reference, BGR	69.8	75.3	82.2	10.0	0
SHS 110 °C, BGR	72.0	75.9	80.5	1.3	87
SHS 130 °C, BGR	-	-	-	-	100
SHS 150 °C, BGR	-	-	-	-	100
Reference, RD6	67.4	74.3	81.1	9.5	0
SHS 110 °C, RD6	67.0	74.2	81.4	2.2	76.8
SHS 130 °C, RD6	-	-	-	-	100
SHS 150 °C, RD6	-	-	-	-	100

RD6 = Rice department 6; BGR = Black glutinous rice; SHS = superheated steam

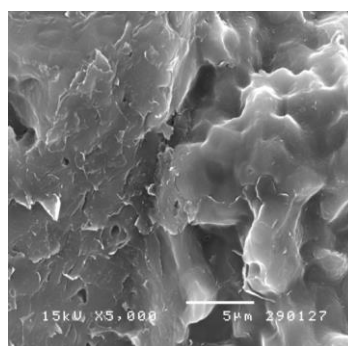
เมื่อข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้างทั้งสองพันธุ์ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C และ 150 °C ไม่พบอุณหภูมิทรานซิชันและเอนทัลปี แสดงว่าเม็ดสตาร์ชเกิดเจลลิตีในเซชันสมบูรณ์และระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันเท่ากับ 100% สามารถดูได้จากตารางที่ 8 และรูปที่ 7 การเกิดเจลลิตีในเซชันสมบูรณ์ภายในเมล็ดข้าวส่งผลให้เกิดการแตกหักน้อยจึงได้ร้อยละต้นข้าวสูง

3.4 โครงสร้างระดับจุลภาค

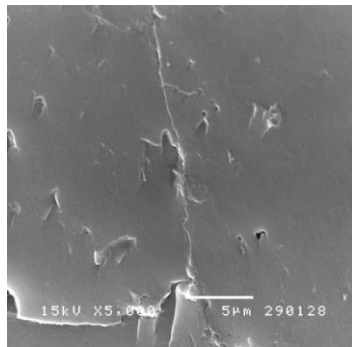
รูปที่ 7(ก)-(ข) แสดงโครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวเหนียวกล้างอ้างอิงและเมล็ดข้าวเหนียวกล้างพันธุ์ กข6 (RD6) และข้าวเหนียวดำ (BGR) ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C



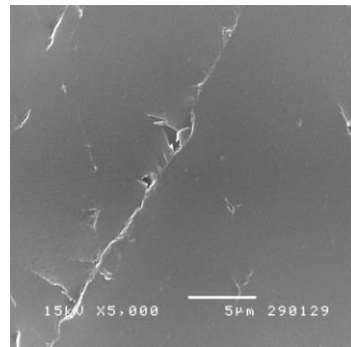
(ก) Reference (RD6)



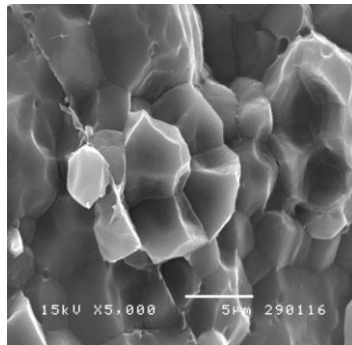
(ข) SHS 110 °C (RD6)



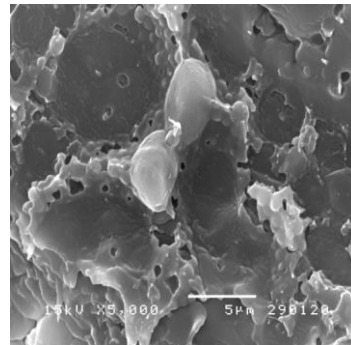
(ก) SHS 130 °C (RD6)



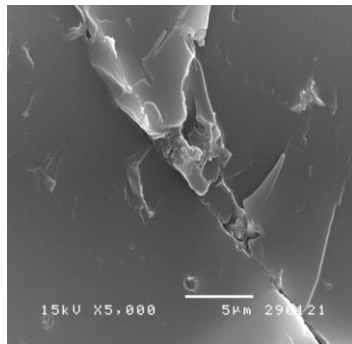
(ง) SHS 150 °C (RD6)



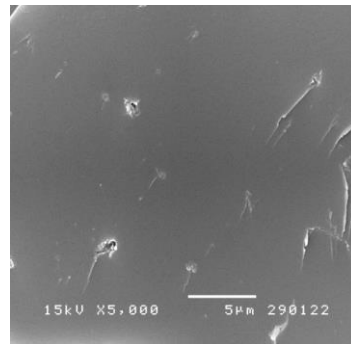
(จ) Reference (BGR)



(ฉ) SHS 110 °C (BGR)



(ช) SHS 130 °C (BGR)



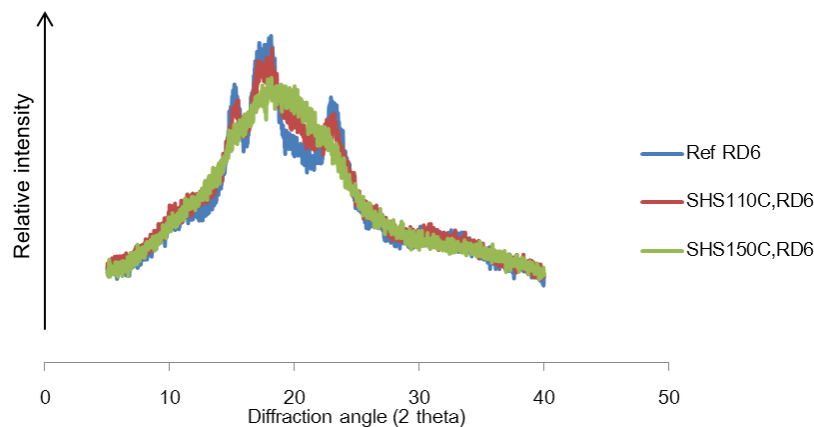
(ซ) SHS 150 °C (BGR)

รูปที่ 7 โครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวเหนียวกลิ้งอ่างอิงและข้าวเหนียว
กลิ้งพันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำ ที่เงื่อนไขการอบแห้งแบบต่าง ๆ
SHS = ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง; RD6 = กข6; BGR = ข้าวเหนียวดำ

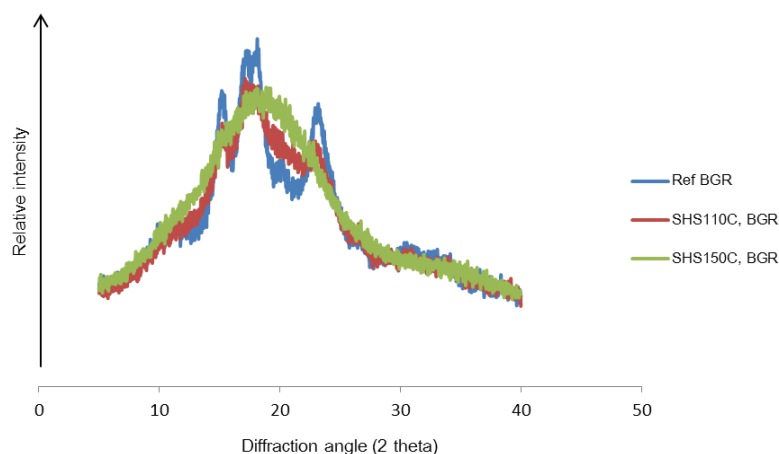
รูปที่ 7(ก) และ (จ) แสดงรูปร่างเม็ดสตาร์ชของข้าวเหนียวกลิ้งอ่างอิงพันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำซึ่งมีลักษณะรูปร่างหลายเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2-9 μm เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 110 °C (รูปที่ 7(ข),(ฉ)) พบว่าเม็ดสตาร์ชได้ถูกความร้อนทำลายบางส่วน (เกิดเจลาทีไนเซชันบางส่วน) และเมื่อตัวอย่างข้าวเหนียวกลิ้งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C และ 150 °C ดังรูปที่ 7(ค)-(ง) และรูปที่ 7(ช)-(ซ) เม็ดสตาร์ชได้ถูกความร้อนทำลายทั้งหมด (เกิดเจลาทีไนเซชันอย่างสมบูรณ์)

3.5 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแป้งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 110 °C และ 150 °C แสดงดังรูปที่ 8 โครงสร้างผลึกของสตาร์ชข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีด้วยการเลี้ยวเบนมุม $2\theta = 17^\circ$ กับ 18° และมุมเดี่ยวที่ $2\theta = 15^\circ$ และ 23° ซึ่งเป็นแบบ A-type เหมือนกับข้าวพันธุ์อื่น ๆ เมื่อตัวอย่างข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องทั้งสองพันธุ์ผ่านการอบแห้งที่ 110 °C พบว่า การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ยังคงมีการเลี้ยวเบนมุมเหมือนกับข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงเนื่องจากยังมีผลึกของเม็ดแป้งเหลืออยู่ แต่เมื่อตัวอย่างข้างหนึ่งข้าวเหนียวกล้องผ่านการอบแห้งที่ 150 °C ไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ นั่นแสดงว่าความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งได้ทำลายโครงสร้างผลึกจนหมดซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของเอนทัลปีในตารางที่ 8 และโครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวที่เกิดเจลาไทน์ซสมบูรณ์เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิมากกว่า 130 °C ดังรูปที่ 7



(ก) กข6



(ข) ข้าวเหนียวดำ

รูปที่ 8 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแป้งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 และ 150 °C

SHS = ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง; RD6 = กข6; BGR = ข้าวเหนียวดำ

3.6 การทดสอบด้านประสาทสัมผัส (Sensory distribution)

การทดสอบด้านประสาทสัมผัสได้แก่ สี กลิ่น ความนุ่ม ความเหนียว รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 110 °C, 130 °C และ 150 °C เทียบกับข้าวเหนียวกล่องอ้างอิงของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำ แสดงดังตารางที่ 9-10

ตารางที่ 9 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องพันธุ์ กข6 อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เงื่อนไข	สี	กลิ่น	ความนุ่ม	ความเหนียว	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
Reference, RD6	5.83±0.71 ^b	5.97±0.72 ^b	5.12±0.97 ^a	4.50±0.67 ^a	5.18±0.87 ^a	5.89±0.58 ^a
SHS 110 °C, RD6	5.42±0.59 ^a	5.50±0.74 ^a	6.05±1.10 ^b	5.44±0.90 ^b	6.51±1.23 ^b	6.90±0.77 ^b
SHS 130 °C, RD6	6.81±0.94 ^c	5.86±0.78 ^b	6.01±0.67 ^b	5.87±1.11 ^c	7.10±1.25 ^c	7.39±0.49 ^c
SHS 150 °C, RD6	7.40±0.72 ^d	6.53±0.88 ^c	5.90±0.80 ^b	6.53±0.94 ^d	7.44±1.07 ^d	7.81±0.60 ^d

SHS = Superheated steam; RD6 = Rice department 6

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p<0.05$).

จากตารางที่ 9 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องพันธุ์ กข6 ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ เทียบกับข้าวเหนียวกล่องอ้างอิง พบว่า ผลการทดสอบคุณภาพด้านสี ด้านกลิ่น จากการมองดูด้วยตาเปล่าของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 คน ของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับคุณภาพด้านสีและด้านกลิ่นมากที่สุด (7.40±0.72 และ 6.53±0.88) ส่วนข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องที่อุณหภูมิ 110 °C ได้รับการยอมรับน้อยที่สุด (5.42±0.59 และ 5.50±0.74) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ โดยภาพรวมการยอมรับคุณภาพด้านสีและด้านกลิ่นของข้าวเหนียวกล่องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องที่ผ่านการอบแห้ง อยู่ในเกณฑ์ เฉยๆ

ผลการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในด้านความนุ่มและด้านความเหนียวของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 คน พบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องพันธุ์ กข6 อบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C ได้รับการยอมรับคุณภาพด้านความนุ่มมากที่สุด (6.05±1.10) ในขณะที่ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับคุณภาพด้านความเหนียวมากที่สุด (6.53±0.94) ส่วนข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องอ้างอิง ได้รับการยอมรับคุณภาพด้านความนุ่มและด้านความเหนียวน้อยที่สุด (5.12±0.97 และ 4.50±0.67) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ โดยภาพรวมการยอมรับคุณภาพด้านความนุ่มและด้านความเหนียวของข้าวเหนียวกล่องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล่องที่ผ่านการอบแห้ง อยู่ในเกณฑ์ ชอบเล็กน้อย

ผลการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ จากการชิมรสของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 คน พบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 อบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับคุณภาพด้านรสชาติมากที่สุด (7.44 ± 1.07) ส่วนข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง ได้รับการยอมรับน้อยที่สุด (5.18 ± 0.87) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยภาพรวมการยอมรับคุณภาพด้านรสชาติของข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง ที่ผ่านการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ ชอบปานกลาง

ผลการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับโดยรวม ของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 คน พบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 อบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับคุณภาพด้านการยอมรับโดยรวมมากที่สุด (7.81 ± 0.60) ส่วนข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องอ้างอิง ได้รับการยอมรับน้อยที่สุด (5.89 ± 0.58) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยภาพรวมการยอมรับคุณภาพด้านการยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวกล้องอ้างอิงและข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง ที่ผ่านการอบแห้ง อยู่ในเกณฑ์ ชอบปานกลาง

ตารางที่ 10 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้อง อบแห้งด้วยไอน้ำ ร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เงื่อนไข	สี	กลิ่น	ความนุ่ม	ความเหนียว	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
Brown reference, BGR	6.18 ± 1.83^a	5.98 ± 1.54^a	6.50 ± 1.32^a	5.83 ± 1.77^a	6.12 ± 1.65^a	6.36 ± 1.69^a
SHS 110 °C, BGR	6.63 ± 1.39^b	6.82 ± 1.30^b	6.86 ± 1.06^b	6.63 ± 1.53^b	7.13 ± 1.17^b	7.30 ± 1.20^b
SHS 130 °C, BGR	7.10 ± 1.36^{bc}	7.08 ± 1.05^b	6.91 ± 1.14^b	6.71 ± 1.77^b	7.03 ± 1.48^{bc}	7.89 ± 1.16^c
SHS 150 °C, BGR	7.03 ± 1.23^c	7.17 ± 1.10^b	7.29 ± 1.10^c	6.98 ± 1.64^b	7.53 ± 1.45^c	7.85 ± 1.24^c

SHS = Superheated steam; BGR = Black glutinous rice

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p < 0.05$).

ผลการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในด้านสี ด้านกลิ่น และด้านความนุ่ม จากการมองดูด้วยตาเปล่า ตมกลิ่น และจากการชิมของผู้ทดสอบ จำนวน 100 คน พบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับการยอมรับคุณภาพด้านสีมากที่สุด (7.10 ± 1.36) ส่วนข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับด้านกลิ่นและด้านความนุ่มมากที่สุด (7.17 ± 1.10 และ 7.29 ± 1.10) ส่วนข้าวเหนียวดำกล้องอ้างอิง ได้รับการยอมรับด้านสี ด้านกลิ่น และด้านความนุ่มน้อยที่สุด (6.18 ± 1.83 , 5.98 ± 1.54 และ 6.50 ± 1.32 ตามลำดับ) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ สำหรับภาพรวมการยอมรับคุณภาพด้านสี ด้านกลิ่น และด้านความนุ่มของข้าวเหนียวดำกล้อง ที่ผ่านการอบแห้ง อยู่ในเกณฑ์ ชอบปานกลาง

ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านของความเหนียว จากการชิมของผู้ทดสอบจำนวน 100 คน พบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับด้านความเหนียวมากที่สุด (6.98 ± 1.64) ส่วนข้าวเหนียวดำกล้องอ้างอิงได้รับการยอมรับน้อยที่สุด (5.83 ± 1.77) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยภาพรวมการยอมรับคุณภาพด้านความเหนียวของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้องที่ผ่านการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ ชอบเล็กน้อย

ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านรสชาติและด้านการยอมรับโดยรวมของผู้ทดสอบจำนวน 100 คน พบว่า ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับการยอมรับด้านรสชาติมากที่สุด (7.53 ± 1.45) ข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C ได้รับการยอมรับด้านการยอมรับโดยรวมมากที่สุด (7.89 ± 1.16) ส่วนข้าวเหนียวดำกล้องอ้างอิงได้รับการยอมรับด้านรสชาติและด้านการยอมรับโดยรวมน้อยที่สุด (6.12 ± 1.65 และ 6.36 ± 1.69) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดยภาพรวมการยอมรับคุณภาพด้านรสชาติและการยอมรับโดยรวม ของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวดำกล้องที่ผ่านการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ ชอบปานกลาง

จากการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของสี กลิ่น ความนุ่ม ความเหนียว รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้อง พันธุ์ กข6 และข้าวเหนียวดำที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางพบว่าที่อุณหภูมิ 150 °C ได้รับความนิยมาจากกลุ่มตัวอย่างมากที่สุด

5. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ทำการทดลองข้าวหนึ่งข้าวเหนียวกล้องงอกเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบใหม่

6. เอกสารอ้างอิง

- Aghbashlo, M.; Gharebagh, R.S.; Zarghami, R.; Mujumdar, A.S.; Mostoufi, N. Measurement techniques to monitor and control fluidization quality in fluidized bed dryers: A review. *Drying Technology* **2014**, 32, 1005-1051.
- Aquerreta, J.; Iguaz, A.; Arroqui, C.; Virseda, P. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. *Journal of Food Engineering* **2007**, 80, 611-618.
- Bertoft, Eric., On the nature of categories of chains in amylopectin and their connection to the super helix model. *Carbohydrate polymer*. 2004; 57, 211-224.
- Bhattacharya, K. R. Parboiling of rice. In B.O. Juliano (Ed.), *Rice: Chemistry and technology*, St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985; 289-348.

- Chayjan, R.A. Modeling some drying characteristics of high moisture potato slices in fixed, semi fluidized and fluidized bed conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology* **2012**, *14*, 1229-1241.
- Chung, H.-J.; Lim, H.S.; Lim, S.-T. Effect of Partial Gelatinization and Retrogradation on the Enzymatic Digestion of Waxy Rice Starch. *Journal of Cereal Science* **2006**, *43*, 353-359.
- Chungcharoen, T.; Prachayawarakorn, S.; Tungtrakul, P.; Soponronnarit, S. Quality attributes of germinated high-amylose and waxy rice in superheated steam and hot air drying. *Drying Technology* **2015**, *33*, 876-885.
- Elbert, G.; Tolaba, M. P.; Suarez, C. Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. *Journal of Food Engineering* **2001**, *47*, 37-41.
- Hazard B, Zhang X, Colasuonno P, Uauy C, Beckles DM and Dubcovsky J., Induced mutations in the *starch branching enzyme II (SBEII)* genes increase amylose and resistant starch content in durum wheat. *Crop Sci*, 2012; *52*, 1754–1766.
- Jaiboon, P.; Prachayawarakorn, S.; Devahastin, S.; Soponronnarit, S. Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. *Journal of Food Engineering* 2009; *95*, 517-524.
- Jarupong, R.; Paitoonjaroenlab, J.; Labrai, T.; Ngeeun, S. Department of Agricultural Extension. Good Rice Varieties, *Academic paper no.37*, Department of Agricultural Extension, Bangkok, Thailand, 168p. [in Thai], 2002.
- Jittanit, W.; Szrednicki, G.; Driscoll, R. Corn, rice, and wheat seed drying by two-stage concept. *Drying Technology* **2010**, *28*(6), 807-815.
- Juliano, B. O. Criteria and Tests for Rice Grain Qualities, In *Rice Chemistry and Technology*, Juliano, B. O. (Ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, 1985; 443-524.
- Keeratipibul, S.; Luangsakul, N.; Lertsatchayarn, T. The Effect of Thai Glutinous Rice Cultivars, Grain Length and Cultivating Locations on the Quality of Rice Cracker (arare). *LWT - Food Science and Technology* **2008**, *41*, 1934-1943.
- Law, C.L. Fluidized bed dryers In *Handbook of Industrial Drying*, Mujumdar (Ed.), 3th ed., Taylor & Francis, New York, 2007; 173-201.
- Mujumdar, A.S. Superheated steam drying In *Handbook of Industrial Drying*, Mujumdar (Ed.), 4th ed., Taylor & Francis, New York, 2015; 421-432.
- Naivikul, O. *Rice: Science and Technology*, 2nd ed.; Kasetsart University: Bangkok, Thailand, 366p. [in Thai], 2007.

- Notification of Ministry of Commerce. Rice standards. *The Royal Gazette* 114, Section 31 D. (17 April B.E. 2540), 1997.
- Ong, M.H. and Blanshard, J.M.V., 1995, "Texture Determinants of Cooked, Parboiled Rice. I: Rice Starch Amylose and the Fine Structure of Amylopectin", **Journal of Cereal Science**, Vol. 21, pp. 251-260.
- Poomsa-ad, N.; Terdyothin, A.; Prachayawarakorn, S.; Soponronnarit, S. Investigations on head-rice yield and operating time in the fluidised-bed drying process: Experiment and simulation. *Journal of Stored Products Research* **2005**, 41, 387-400.
- Prachayawarakorn, S.; Taechapairoj, C.; Nathakaranakule, A.; Devahastin, S.; Soponronnarit, S. Drying of rice In *Handbook of Industrial Drying*, Mujumdar (Ed.), 4th ed., Taylor & Francis, New York, 2015; 595-609.
- Prachayawarakorn, S.; Poomsa-ad, N.; Soponronnarit, S. Quality maintenance and economy with high-temperature paddy-drying processes. *Journal of Stored Products Research* **2005**, 41, 333-351.
- Rordprapat, W.; Nathakaranakule, A.; Tia, W.; Soponronnarit, S. Effect of soaking time and drying media on qualities of paddy dried by fluidization technique. *Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Drying Conference*. Asian Institute of Technology (AIT), Bangkok, Thailand, 2003; 693-704.
- Rumruaytum, P.; Borompichaichartkul, C.; Kongpensook, V. Effect of drying involving fluidisation in superheated steam on physicochemical and antioxidant properties of Thai native rice cultivars. *Journal of Food Engineering* **2014**, 123, 143-147.
- Soponronnarit, S.; Nathakaranakule, A.; Jirajindalert, A.; Taechapairoj, C. Parboiling brown rice using superheated steam fluidization technique. *Journal of Food Engineering* **2006**, 75, 423-432.
- Soponronnarit, S.; Prachayawarakorn, S. Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. *Drying Technology* **1994**, 12(7), 1667-1686.
- Soponronnarit, S.; Prachayawarakorn, S.; Sripawatakul, O. Development of cross-flow fluidized bed paddy dryer. *Drying Technology* **1996**, 14, 2397-2410.
- Swasdisevi, T.; Devahastin, S.; Thanasookprasert, S.; Soponronnarit, S. Comparative evaluation of hot-air and superheated-steam impinging stream drying as novel alternatives for paddy drying. *Drying Technology* **2013**, 31, 717-725.

- Taechapairoj, C.; Dhuchakallaya, I.; Soponronnarit, S.; Wetchacama, S.; Prachayawarakorn, S. Superheated steam fluidized bed paddy drying. *Journal of Food Engineering* **2003**, *58*, 67-73.
- Taechapairoj, C.; Prachayawarakorn, S.; Soponronnarit, S. Characteristics of rice dried in superheated steam fluidized bed. *Drying Technology* **2004**, *22*(4), 719-743.
- Tasirin, S.M.; Puspasari, I.; Lun, A.W.; Chai, P.V.; Lee, W.T. Drying of kaffir lime leaves in a fluidized bed dryer with inert particles: Kinetics and quality determination. *Industrial Crops and Products* **2014**, *61*, 193-201.
- Taweerattanapanish, A.; Soponronnarit, S.; Wetchacama, S.; Kongseri, N.; Wongpiyachon, S. Effect of drying on head rice yield using fluidization technique. *Drying Technology* **1999**, *17*(1-2), 345-353.
- Tester, R.F.; Morrison, W.R. Swelling and gelatinization of cereal starches. II. Waxy rice starches. *Cereal Chemistry* **1990**, *67*, 558-563.
- Thakur, A.K.; Gupta, A.K. Two stage drying of high moisture paddy with intervening rest period. *Energy Conversion and Management* **2006**, *47*, 3069-3083.
- Tirawanichakul, S.; Prachayawarakorn, S.; Varayanond, W.; Tungtrakul, P.; Soponronnarit, S. Effect of fluidized bed drying temperature on various quality attributes of paddy. *Drying Technology* **2004**, *22*, 1731-1754.
- Vandeputte, G.E.; Vermeylen, R.; Geeroms, J.; Delcour, J.A. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behavior of granular starch. *Journal of Cereal Science* **2003**, *38*, 43-52.
- Wang, Y.J.; Wang, L. Structures of four waxy rice starches in relation to thermal, pasting, and textural properties. *Cereal Chemistry* **2002**, *70*(2), 252-256.
- Webb, B. B.; Stermer, R.A. Criteria of Rice Quality In, *RICE Chemistry and Technology*, Houston, D.F. (Ed.), American Association of Cereal Chemists, St.Paul, Minnesota, 1972; 102-139.
- Yodmanee, S.; Karrila, T.T.; Pakdeechanuan, P. Physical, chemical and antioxidant properties of pigmented rice grown in Southern Thailand. *International Food Research Journal* **2011**, *18*(3), 901-906.

7. Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ จำนวน 1 เรื่อง

Petcharat Jaiboon Nattapol Poomsa-ad Patcharee Tungtrakul and Somchart Soponronnarit, 2016, Improving Head Rice Yield of Glutinous Rice by Novel Parboiling Process, Drying Technology 34:16, pp. 1991-1999.

2. การเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการ จำนวน 2 เรื่อง

2.1 Jaiboon, P. Soponronnarit, S., 2015, Effect of Superheated Steam Fluidization Technique on Quality of Black Glutinous Rice, The 16th TSAE National Conference and The 8th TSAE International Conference (TSAE 2015), March 17-19, Bangkok, Thailand. (oral presentation)

2.2 Petcharat Jaiboon and Somchart Soponronnarit, 2019, Effect of drying temperature on quality of RD6 variety brown parboiled glutinous rice, The 2nd Suan Sunandha National and International Academic Conference on Science and Technology; SsSci 2019, 8 November. (poster presentation) (ได้รับการคัดเลือกให้ตีพิมพ์วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีอยู่ในระหว่างการจัดทำเล่มฉบับสมบูรณ์)

3. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

3.1 เชิงวิชาการ

นางสาวกรรณิการ์ สุวรรณไตรย์ รหัสนักศึกษา 59102103220 นักศึกษาชั้นปีที่ 3 หลักสูตร วท.บ. ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครได้นำผลงานวิจัยเรื่อง Improving Head Rice Yield of Glutinous Rice by Novel Parboiling Process ที่ตีพิมพ์ในวารสาร Drying Technology ไปให้นำเสนอในรายวิชาสัมมนา สาขาวิชาฟิสิกส์ ประจำปีการศึกษา 2/2561 วันที่ 27 พฤษภาคม 2562 ณ ห้องประชุมศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3.2 เชิงสาธารณะ

เผยแพร่ผลงานวิจัยในงานมหกรรมภูมิปัญญาพื้นบ้าน มูนมังอีสาน ครั้งที่ 10 “คำข้าว จากดินสู่เล่า จากข้าวสู่บุญ” ณ บริเวณริมห้วยทราย มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อ.เมือง จ.สกลนคร วันที่ 22-24 มกราคม 2562

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ จำนวน 1 เรื่อง ได้แก่

Petcharat Jaiboon Nattapol Poomsa-ad Patcharee Tungtrakul and Somchart Soponronnarit, 2016, Improving Head Rice Yield of Glutinous Rice by Novel Parboiling Process, Drying Technology 34:16, pp. 1991-1999.



Drying Technology
An International Journal

ISSN: 0737-3937 (Print) 1532-2300 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/ldrt20>



Improving head rice yield of glutinous rice by novel parboiling process

Petcharat Jaiboon, Nattapol Poomsa-ad, Patcharee Tungtrakul & Somchart Soponronnarit

To cite this article: Petcharat Jaiboon, Nattapol Poomsa-ad, Patcharee Tungtrakul & Somchart Soponronnarit (2016) Improving head rice yield of glutinous rice by novel parboiling process, Drying Technology, 34:16, 1991-1999, DOI: [10.1080/07373937.2016.1154865](https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1154865)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2016.1154865>



Accepted author version posted online: 16 Mar 2016.

Published online: 16 Mar 2016.



Submit your article to this journal ↗



Article views: 71



View related articles ↗



View Crossmark data ↗

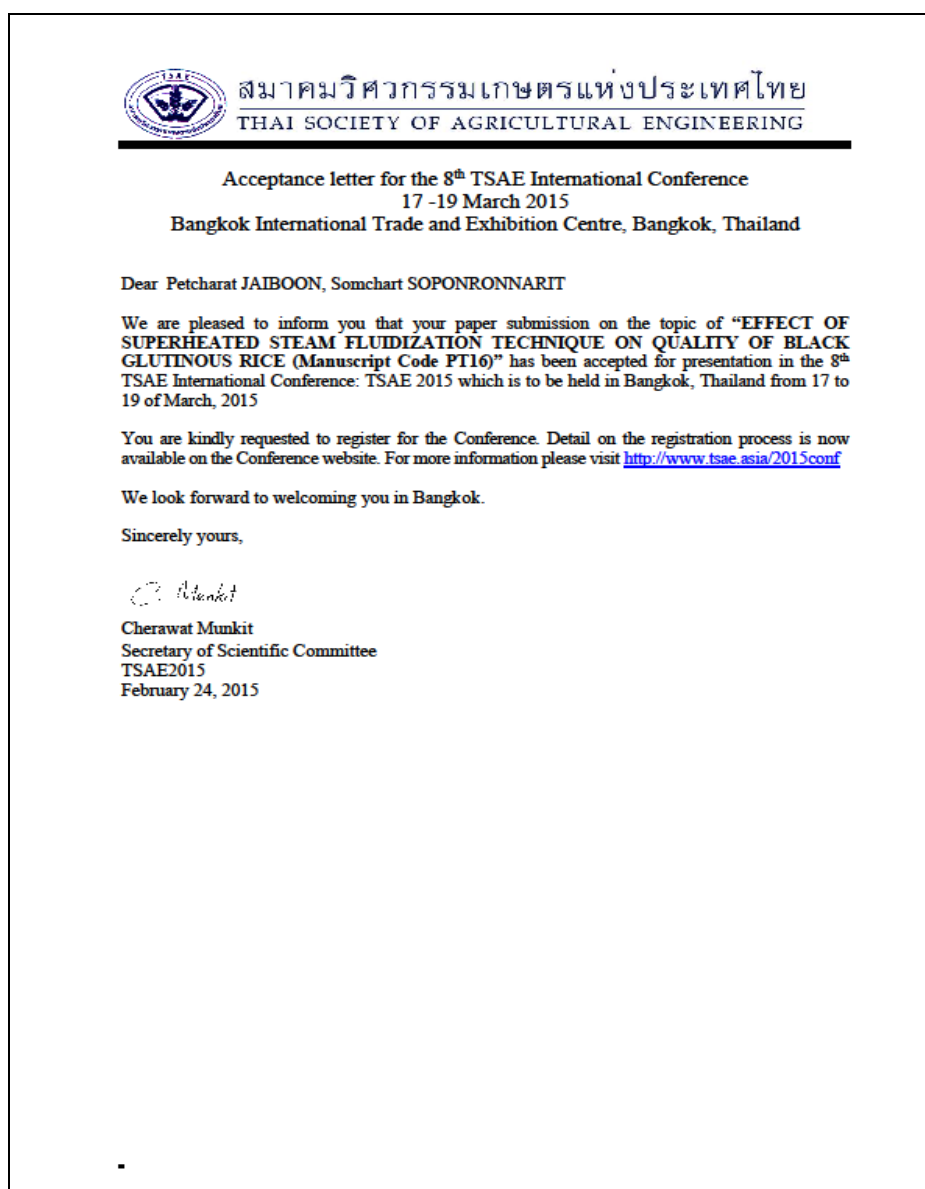
Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ldrt20>

Download by: [PETCHARAT JAIBOON]
Date: 14 December 2016, At: 04:14

2. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ จำนวน 2 เรื่อง ได้แก่

2.1 งานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ The 16th TSAE National Conference and The 8th TSAE International Conference (TSAE 2015) ณ BITEC กรุงเทพมหานคร วันที่ 17-19 มีนาคม 2558

Jaiboon, P. Soponronnarit, S., 2015, Effect of Superheated Steam Fluidization Technique on Quality of Black Glutinous Rice, The 16th TSAE National Conference and The 8th TSAE International Conference (TSAE 2015), March 17-19, Bangkok, Thailand. (oral presentation)



8th TSAE International Conference (TSAE2015)
March 17-19, 2015, Bangkok, Thailand

EFFECT OF SUPERHEATED STEAM FLUIDIZATION TECHNIQUE ON QUALITY OF BLACK GLUTINOUS RICE

* Petcharat JAIBOON¹ and Somchart SOPONRONNARIT²
¹ Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University
168 Moo 11, Nongpa Rd., Muang, Sakon Nakhon 47000, Thailand
² School of Energy, Environment and Material, King Mongkut's University of Technology Thonburi
126 Pracha-U-dit Road, Bangkok 10140, Thailand

Corresponding author: Petcharat JAIBOON, E-mail: pjaiboon@rnu.ac.th

Keywords: Black glutinous rice; Fluidization; Quality; Superheated steam

ABSTRACT

Black glutinous rice is one of pigmented rice and becoming popular with health conscious food consumers because it contains high amount of anthocyanin. Good milling quality, e.g., high percentage of head rice yield with high temperature of water and drying with superheated steam could be improved head rice yield. Therefore, in this study, effects of drying temperature of superheated steam fluidization technique on black glutinous rice were investigated. Rough black glutinous rice was soaked in hot water at 70 °C for 1 h. The soaked black glutinous rice had initial moisture contents of around 50-52% (d.b.) and was dried by superheated steam in a batch fluidized bed dryer (0.25 kg of soaked black glutinous rice per batch) at temperatures of 110, 130 and 150 °C until the moisture content reduced to 25% (d.b.). The rice was further dried in shade until its moisture content reduced to 16% (d.b.). The quality of black glutinous rice (i.e., head rice yield, color, microstructure, and thermal property) were evaluated. Drying temperature over 110 °C yielded fully gelatinization of black glutinous rice as observed by a scanning electron microscope (SEM), and a higher degree of gelatinization led to greater head rice yield. The highest head rice yield of 87% was obtained when drying temperature was 150 °C. The degree of gelatinization of black glutinous rice at 110, 130 and 150 °C were 87, 100 and 100%, respectively. In addition, increasing drying temperature slightly increased the color quality of black glutinous rice in terms of L*, a* and b* as compared to the reference sample and the total color difference were 0.7, possibly due to malillard browning reaction. This finding helps for choosing the suitable drying condition to test quality such as texture property and glycemic index in the future work.

INTRODUCTION

Pigmented rice or colored rice (*Oryza sativa* L.) is distinguished by the rice grain having red, brown or dark purple color in its covering layer [1]. It has been consumed for a long time in Asia, i.e., China, Japan, Korea, and many countries in Southeast Asia, including Thailand [2]. Black glutinous rice is one of pigmented rice and becoming popular with health conscious food consumers because it contains high amount of anthocyanin which display a variety of effects on blood vessels, platelets and lipoproteins able to

reduce the risk of coronary heart diseases [3]. High percentage of head rice yield in post milling quality prefer for producer requirement. The parboiling process is a hydro-thermal treatment of paddy that improves the milling, nutritional, and organoleptic attributes of rice. The process also prolongs rice storage by reducing spoilage caused by insects and mold. Further, it reduces broken grains leading to higher head rice yield [4-6]. The parboiling process consists of 3 steps: soaking, steaming and drying. Drying with superheated steam in a fluidized bed dryer can include the steaming and drying step in parboiling process. It can save drying time and prevent the yellowing of rice grains, which usually occurs at high temperature. Previous study, soaked rice with high temperature of water and drying with superheated steam could be improved head rice yield [7]. Despite many researchers having reported the advantages of the parboiling rice process and fluidized bed drying, but information on parboiling black glutinous rice is very limited. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of superheated steam fluidization technique on quality of black glutinous rice. The quality of black glutinous rice, i.e., head brown rice yield, thermal analysis, microstructure and color were also examined.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Black Glutinous Rice (BGR) was provided by the Rice Research Institute, Sakon Nakhon province, Thailand. The initial moisture content was 12-13% (d.b.). The paddy was soaked in hot water at a temperature of 70 ± 1 °C in an insulated tank. The ratio between paddy and hot water was 1:1.3 and soaking time was 3 h. Then it was drained and cooled at room temperature (25 ± 1 °C) for 30 min. The moisture content of soaked paddy was about 50-52% (d.b.).

Drying conditions

Sample of each which weighed 0.25 kg were dried by a superheated steam fluidized bed dryer with temperatures of 110, 130 and 150 °C at a superficial air velocity of 2.3 m/s until its moisture content reached to around 25% (d.b.) after that, the sample was shade-dried until the final moisture content of the sample was around

16% (d.b.). It was kept in a sealed plastic bag at 4-6 °C for 2 weeks before quality analysis.

Head brown rice yield

The head brown rice yield was calculated from the mass of brown glutinous rice after dehulled and separated by an indur cylinder divided by the mass of the paddy sample.

Degree of gelatinization

Thermal analysis of black glutinous rice flour was performed using a differential scanning calorimeter (DSC; E calor, model DSC-7, Norwalk, CT). 3 g of black glutinous rice flour was accurately weighed and placed into an aluminum DSC pan; 10 µL of distilled water was added, and the pan was hermetically sealed. The sample was left to stand for 1 h at room temperature (25 °C) before DSC scanning. Toluene was used to calibrate the DSC and an empty pan was used as a reference. All samples were heated from 50 to 100 °C at a scanning rate of 10 °C/min. The major parameters of each DSC profile were described as onset temperature, peak temperature and conclusion temperature. From the DSC profile, the transition enthalpy was determined and the degree of gelatinization of glutinous rice flour was then calculated by the following equation:

$$DG(\%) = \left(1 - \frac{\Delta H_f}{\Delta H_g}\right) \times 100 \quad (1)$$

Where DG is the degree of gelatinization, ΔH_f is the transition enthalpy of fused glutinous rice (J/g (dry matter)) and ΔH_g is the transition enthalpy of raw glutinous rice (J/g (dry matter)). All experiments were performed in duplicate and the average values were reported.

Microstructure

The microstructure of each sample was observed by a scanning electron microscope (SEM; DSM-5000, model no. JSM-5000LV, Tokyo, Japan). The black glutinous rice kernel was cut along its cross-sectional axis, attached to an SEM stub, and coated with gold by a sputter-coater. The coated sample was then photographed at an accelerated voltage of 15 kV. The inspected location of the kernel was between the kernel surface and the endosperm centre.

Color

The color of each sample was measured by a Hunter Lab Color Flex (Hunter, VA), using a D65 and a 2° standard observer. The color values were expressed as L* (lightness/darkness), a* (redness/greenness) and b* (yellowness/blueness). The L* value measures lightness and varies from 100 for a perfect white and 0 for black, a* and b* have positive measures redness and yellowness, respectively but negative measures mean greenness and blueness, respectively. The measurement was performed in triplicate. The total color difference (ΔE^*) from a reference color (L^*_R, a^*_R, b^*_R) to a target color (L^*_T, a^*_T, b^*_T) in the CIELAB space is given by:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

Where $\Delta L^* = L^*_T - L^*_R$

$\Delta a^* = a^*_T - a^*_R$

$\Delta b^* = b^*_T - b^*_R$

RESULTS AND DISCUSSION

Head brown rice yield

Table 1 applied head brown rice yield of glutinous rice at various drying temperatures. Head brown rice yield of reference black glutinous rice was 40%, after drying by superheated steam, head brown rice yield increased and it showed highest yield of 87% at temperature of 150 °C. Increasing of head brown rice yield due to gelatinization occurred as can be seen in Table 2 and Figure 1.

Table 1. Head brown rice yield of black glutinous rice at different drying conditions.

Drying conditions	Head brown rice yield (%)
Reference, BGR	40.0±0.0
SHS 110 °C, BGR	59.5±1.2
SHS 130 °C, BGR	61.9±1.7
SHS 150 °C, BGR	67.0±0.7

Thermal property and microstructure

The gelatinization temperature T_g , T_p , T_c , endothermic enthalpy and degree of gelatinization of brown glutinous rice flour are summarized in Table 2. The transition temperatures such as T_g , T_p , T_c and enthalpy (ΔH) of reference brown black glutinous rice showed 69.8, 75.3, 82.3 °C and 10.0 J/g (dry matter), respectively. Superheated steam drying at 110 °C gave higher T_g while T_p somewhat decreased.

In addition, the degree of gelatinization of brown black glutinous rice flour was 87%. The result implied that starch granule remained partial in the kernel as illustrated in Fig. 1.

Drying at 130 and 150 °C displayed fully starch gelatinization whereas the transition temperature and enthalpy disappeared as well as the degree of gelatinization was 100% as can depicted in Table 2 and Fig. 1. The fully gelatinization resulted in a smaller fraction of broken rice kernel.

Colors

Color changes of brown black glutinous rice (BGR) cultivars under drying various conditions are listed in Table 3. Color represented in terms of L*, a* and b*-value of drying samples are similar different from the reference sample. Higher drying temperature provided a L*, a* and b* value slightly increased as well as the total color difference were 0.7, possibly due to malillard browning reaction.

Table 2. Thermal property of brown black glutinous rice flour at different drying conditions.

Drying conditions	Transition temperature (°C)			ΔH (J/g)	DG (%)
	T_g	T_p	T_c		
Reference before soaking, BGR	69.8	75.3	82.3	10.0	0
SHS 110 °C, BGR	72.0	75.9	80.5	1.3	87
SHS 130 °C, BGR	-	-	-	-	100
SHS 150 °C, BGR	-	-	-	-	100

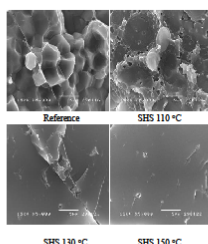


Fig. 1. Microstructure of brown black glutinous rice at different drying conditions.

Table 3. Colors of brown black glutinous rice at various drying conditions.

Drying conditions	L*	a*	b*
Reference, BGR	31.1±0.0	2.7±0.1	0.5±0.2
SHS 110 °C, BGR	21.6±0.1	3.1±0.3	1.2±0.1
SHS 130 °C, BGR	21.7±0.2	3.1±0.2	1.2±0.0
SHS 150 °C, BGR	22.7±0.6	3.3±0.6	1.6±0.6

CONCLUSION

High temperature of superheated steam fluidized bed could be improved head rice yield of black glutinous rice due to starch gelatinization occurred. Upper drying of 150 °C showed fully starch gelatinization and at 150 °C revealed the highest head brown rice yield of black

glutinous rice. Higher drying temperature provided a L*, a* and b* value slightly increased as well as the total color difference were 0.7. This finding helps for choosing the suitable drying condition to test quality such as texture property and glycemic index in the future work.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their sincere appreciation to the Commission on Higher Education, the Thailand Research Fund (TRF), Sakon Nakhon Rajabhat University (SNRU) and the National Science and Technology Development Agency (NSTDA) for supporting financially. Thanks are also due to the Faculty of Engineering, Mahasarakham University for allowing the use of their fluidized bed dryer and color measurement system, the Faculty of Agriculture Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University for using their grinder and the Rice Research Institute, Sakon Nakhon province for testing the quality of milling.

REFERENCES

- Yodmanee, S., Kariya, T.T. and Pakdechacharn, P. Physical, chemical and antioxidant properties of pigmented rice grown in Southern Thailand. *International Food Research Journal* 18(2): 893-896 (2011)
- Imanawong, K. and Tonsawat, W. Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice. *LWT-Food Science and Technology* 43: 476-481 (2010)
- Mazza, G. Anthocyanins and heart health. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1099: 369-374 (2007)
- Bhattacharya, K. R. Parboiling of rice. pp. 289-348, in B.O. Juliano (Ed.), *Rice: Chemistry and technology*. St. Paul, MN, (1985)
- Elbert, G., Tolosa, M. P. and Suarez, C. Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. *Journal of Food Engineering* 47: 37-41 (2001)
- Soponronnarit, S., Nuthakarnakul, A., Rajindrajith, A. and Tachapattiro, C. Parboiling brown rice using superheated steam fluidization technique. *Journal of Food Engineering* 75: 423-432 (2006)
- Tachapattiro, C., Dhuchakulaya, I., Soponronnarit, S., Wacharasamee, S. and Petchayuwatana, S. Superheated steam fluidized bed paddy drying. *Journal of Food Engineering* 58: 67-73 (2003)

ภาพประกอบการร่วมงาน TSAE 2015



			15.05 - 15.20	FE07	PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF BIOSURFACTANT PRODUCED BY <i>Ochrobactrum anthropi</i> 2/3 USING DURIAN SEED POWDER AS A NOVEL SUBSTRATE		
15.05 - 15.30						Coffee/Tea Break	
15.30 - 16.45						National and International Oral Presentation (MR 214 - 217)	
	MR 214				MR 215		MR 216
Time	Code	Title	Time	Code	Title	Time	Code
15.30 - 15.45	ET01	Sweet Sorghum to Ethanol: A Guidance Manual for Growers	15.30 - 15.45	PT11	DESIGN FACTORS EFFECTING LOSSES FOR AN AXIAL FLOW CORN SHELLING UNIT	15.30 - 15.50	IS09_TFE
15.45 - 16.00	ET02	Solar disinfection of gray water	15.45 - 16.00	PT13	Effect of Soaking Time on GABA Content and Brown Rice Quality in Soaking Process of Paddy for Germinated Brown Rice	15.50 - 16.10	IS11_TPT
16.00 - 16.15	ET03	GIS-based Assessment of Napier Grass Potential for Electricity Generation in Thailand: A Case Study of Unsuitable Area for Planting Economic Crops	16.00 - 16.15	PT14	Paddy drying in a vibration-assisted vacuum infrared dryer	16.10 - 16.25	TET13
16.15 - 16.30	ET04	An Effects of Baffle Configurations on Biomass Distribution in Rotating Drum Dryer	16.15 - 16.30	PT16	EFFECT OF SUPERHEATED STEAM FLUIDIZATION TECHNIQUE ON QUALITY OF BLACK GLUTINOUS RICE	16.25 - 16.40	TET14
16.30 - 16.45	ET06	Fuel Briquette made of Biomass Mixed with Residual Bleaching Earth from Palm Oil Plant	16.30 - 16.45	PT18	DESIGN, FABRICATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF A POTATO (<i>Solanum tuberosum</i> L.) GRADER FOR VILLAGE-LEVEL OPERATIONS	16.40 - 16.55	TET10
17 - 18:30						TSAE 2014 Member's Annual Meeting (MR217)	
18:30 - 21:00						Welcome party (Fahrenheit restaurant)	





2.2 ร่วมการประชุมสนวนสุนันทวิชการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 2 “วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน” (The 2nd Suan Sunandha National and International Academic Conference on Science and Technology; SsSci 2019) ณ โรงแรมเดอะรอยัลริเวอร์ กรุงเทพมหานคร วันที่ 8 พฤศจิกายน 2562 (poster presentation)

Petcharat Jaiboon and Somchart Soponronnarit, 2019, Effect of drying temperature on quality of RD6 variety brown parboiled glutinous rice, The 2nd Suan Sunandha National and International Academic Conference on Science and Technology; SsSci 2019, 8 November. (ได้รับการคัดเลือกให้ตีพิมพ์วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีอยู่ในระหว่างการจัดทำเล่มฉบับสมบูรณ์)



ACCEPTANCE LETTER

Date Nov 1, 2019

Dear Petcharat Jaiboon,
Email: petcharat@snru.ac.th

On behalf of "The 2nd Suan Sunandha National and International Academic Conference on Science and Technology (SsSci 2019)" we welcome you to join us and share your research on the theme "Science, Technology and Innovation for Sustainable Development". We are glad to inform you that your submitted abstract entitled "Effect of drying temperature on quality of RD6 variety brown parboiled glutinous rice" (Paper ID:sssci2019_PH_37) has been accepted for presentation at SsSci 2019.

You are invited to submit a full paper before 8th November 2019 for inclusion in the conference proceedings. Please visit the conference website for registration and updates.

<http://conference.ssrui.ac.th/sssci2019>

Your interest in SsSci 2019 is very much appreciated. We look forward to meeting you at the conference.

With Warmest Regards,



SsSci2019 Organization Committee

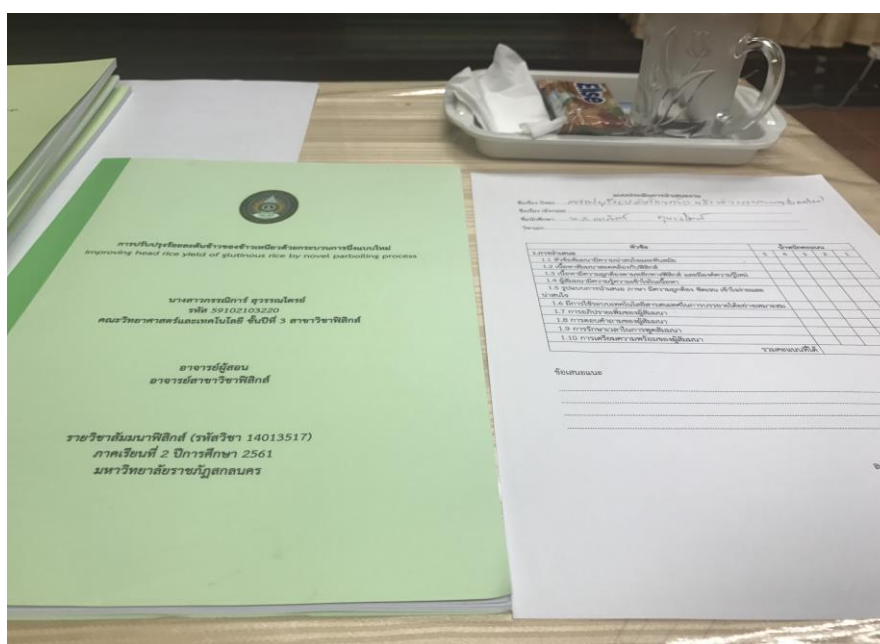


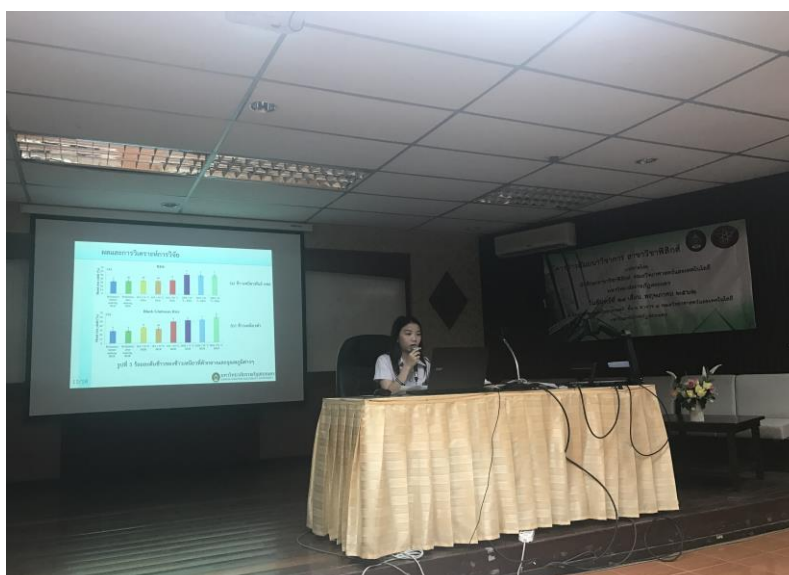
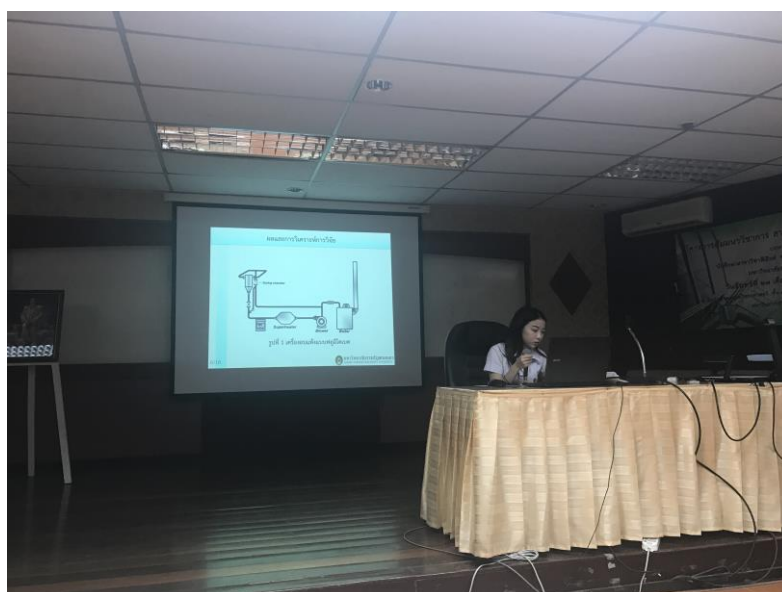
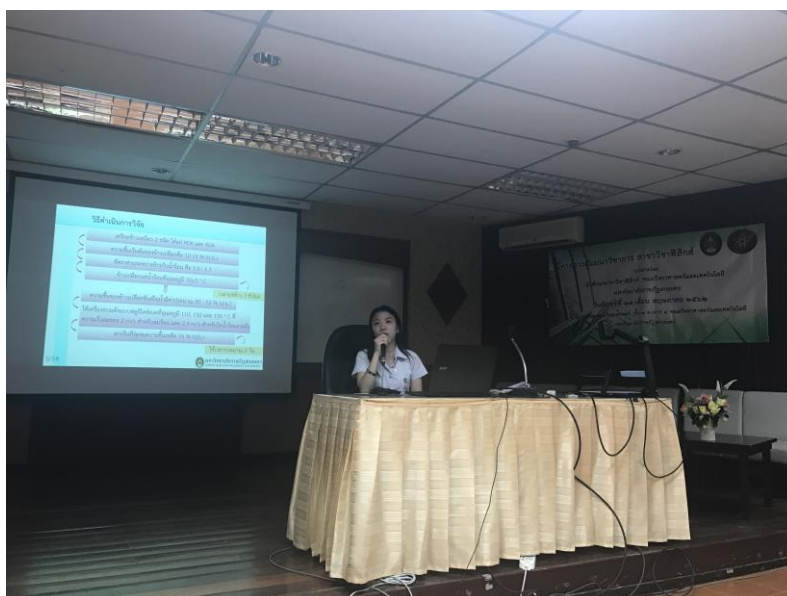


3. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

3.1 เชิงวิชาการ

นางสาวกรรณิการ์ สุวรรณไตรย์ รหัสนักศึกษา 59102103220 นักศึกษาชั้นปีที่ 3 หลักสูตร วท.บ. ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครได้นำผลงานวิจัยเรื่อง Improving Head Rice Yield of Glutinous Rice by Novel Parboiling Process ที่ตีพิมพ์ในวารสาร Drying Technology ไปใช้นำเสนอในรายวิชาสัมมนา สาขาวิชาฟิสิกส์ ประจำปีการศึกษา 2/2561 วันที่ 27 พฤษภาคม 2562 ณ ห้องประชุมใหญ่ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร







3.2 เชิงสาธารณะ

เผยแพร่ผลงานวิจัยในงานมหกรรมภูมิปัญญาพื้นบ้าน มุนมังอีสาน ครั้งที่ 10 “คำข้าว จากดินสู่เล่า จากข้าวสู่บุญ” ณ บริเวณริมห้วยทราย วันที่ 22-24 มกราคม 2562



