Research Article

Received: July 18, 2019; Accepted: November 1, 2019

ผลของชนิดข้าวและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปผสมแก่นตะวัน

Effect of Different Rice Varieties and Drying Methods on the Quality of Instant Riceberry Porridge Fortified with Jerusalem Artichoke

กฤติยา เขื่อนเพชร*, รวิพร พลพืช,
กนกพร ลีวาณิชยกูล และศิริยา กาวีเขียว
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
Krittiya Khuenpet*, Rawiporn Polpued,
Kanokporn Leevanichayakul and Siriya Kaveekiew
Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรและวิธีการทำแห้งโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปเสริมใยอาหารจากแก่นตะวัน ศึกษาชนิดของข้าวที่เหมาะสมเพื่อผลิตเป็นโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยคัดเลือกจากปลายข้าว 3 ชนิด คือ ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RBR) ปลายข้าวหอมมะลิ (JBR) และปลายข้าวเหนียว (SBR) ผลิตเป็นโจ๊กข้าว 4 สูตร พบว่าโจ๊กข้าวกึ่งสำเร็จรูปสูตรที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 % มีค่าดัชนีการละลายน้ำและค่าความหนืดสูงที่สุด ได้รับคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและความชอบโดยรวมสูงสุดอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย การเติมปริมาณแก่นตะวันข้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปมีค่าดัชนีการละลายเพิ่มขึ้น และค่าดัชนีการดูดซับน้ำลดลง ($p<0.05$) โดยโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติมแก่นตะวัน 5 % ได้รับคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหนืด (6.25±1.45) และความชอบโดยรวม (6.38±0.16) สูงสุดอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย การทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแก่นตะวันด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณความชื้นและ a_w มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการจับสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การศึกษาการทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแก่นตะวันด้วยวิธีการโฟมแมทพบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่ใช้สารละลาย 2 % methocel ปริมาณ 25 % เป็นสารก่อโฟม โฟมมีความหนาแน่นต่ำ มีความคงตัว และค่า % overrun สูง ไม่ยุบตัวระหว่างการทำแห้ง

คำสำคัญ : การทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน; การทำแห้งแบบโฟมแมท; แก่นตะวัน; ข้าวไรซ์เบอร์รี่; โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

***ผู้รับผิดชอบบทความ** : krittiya23@tu.ac.th

doi: 10.14456/tstj.2020.145

Abstract

The purposes of this study were to develop formula and to study drying methods of instant Riceberry porridge fortified with dietary fiber from Jerusalem artichoke (JA). Four formulas of instant Riceberry porridge were produced from three rice types, including Riceberry broken rice (RBR), jasmine broken rice (JBR) and sticky broken rice (SBR) with different ratios. The results showed that 100 % instant Riceberry rice porridge had the highest water solubility index and viscosity value. From the sensorial evaluation test, 100 % instant Riceberry rice porridge got the highest score in color and the overall acceptability with slightly like level. The addition of higher JA slurry contents increased water solubility index (WSI) and decreased water absorption index (WAI) ($p < 0.05$). Riceberry porridge added with JA slurry 5 % got the highest scores of viscosity (6.25 ± 1.45) and overall acceptability (6.38 ± 0.16) with slightly like. Riceberry porridge fortified with JA slurry was dried by a drum dryer at different temperatures. It was found that an increase of drum temperature resulted in a decrease of moisture content and a_w of instant Riceberry porridge products, whereas the total phenolic content (TPC) and radical scavenging activity were raised ($p < 0.05$). Riceberry porridge added JA was also dried by applying the foam-mat drying method. The result indicated that 25 % of methocel solution 2 % was suitable content used as foaming agents due to providing the lowest in foam density, giving the highest overrun and producing foam stability.

Keywords: drum drying; foam-mat drying; Jerusalem artichoke; Riceberry; instant porridge

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเป็นอาหารเช้าที่ทำจากธัญพืชซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากในหลายประเทศในทวีปเอเชีย รวมทั้งในประเทศไทย โดยตลาดโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมีอัตราการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสะดวกต่อการรับประทาน ใช้เวลาในการคืนรูปสั้น ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย เก็บรักษาไว้ได้นาน และมีให้เลือกหลากหลาย โดยปัจจัยที่ช่วยกระตุ้นให้ตลาดโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปขยายตัว คือ การเพิ่มรสชาติใหม่ ๆ ที่ต่างจากเดิม และการมองหาตลาดที่มีศักยภาพ โดยเฉพาะตลาดผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ ดังนั้นอาหารเพื่อสุขภาพจึงสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค [1] ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่มีวางจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดใช้ข้าวหอมมะลิเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเป็นอาหารที่มีระดับค่าดัชนีน้ำตาลสูง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดสูง [2] จึงทำให้มีความเสี่ยงต่อโรคต่าง ๆ ได้แก่ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดสมอง โรคอ้วน เป็นต้น

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวพันธุ์ผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทำให้ได้ลักษณะที่ดีและมีคุณประโยชน์ เนื่องจากประกอบไปด้วยธาตุเหล็ก สารต้านอนุมูลอิสระ และมีใยอาหารสูง จึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดทั่วไป เหมาะสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน มีสรรพคุณช่วยลดระดับ

ไขมันและคอเลสเตอรอล ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [3] ปัจจุบันพบว่ามีผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มมากขึ้น โดยเห็นได้จากการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่หลากหลาย เช่น ซีเรียล (cereal) ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ขนมขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

แก่นตะวันเป็นพืชหัวอยู่ใต้ดินมีลักษณะคล้ายขิงและข่า เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อในมีสีขาว ไม่มีรสชาติ แต่มีกลิ่นรสเฉพาะ โดยหัวแก่นตะวันเป็นแหล่งของใยอาหารประเภทอินูลินที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) [4] และฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 16-20 กรัมต่อตัวอย่างสด 100 กรัม [5] มีสมบัติคล้ายใยอาหาร อินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์มีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(2-1) ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อย ทำให้สารเหล่านี้ไม่ถูกย่อยเป็นน้ำตาลสายสั้น จึงมีประโยชน์ เช่น ช่วยในการควบคุมน้ำหนัก บรรเทาอาหารท้องผูก ชะลอการดูดซึมน้ำตาล มีสมบัติความเป็นพรีไบโอติก [6]

โดยทั่วไปการผลิตโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปมีกระบวนการทำแห้งหลากหลายวิธี เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (extrusion) ที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป การทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน และแบบโฟมแมท ซึ่งวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (drum drying) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เหมาะสำหรับอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด และมีอนุภาคขนาดใหญ่เกินกว่าจะใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) โดยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนเป็นการให้ความร้อนจากลูกกลิ้งที่ทำจากโลหะเหล็กทรงกระบอกกลวง ซึ่งใช้ไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 120-170 องศาเซลเซียส โดยอาศัยหลักการพาความร้อนของลูกกลิ้งถ่ายเทความร้อนไปยังอาหาร ทำให้อาหารแห้งและน้ำสามารถระเหยออกอย่างรวดเร็วในระยะเวลาสั้น [7] และอีกวิธีหนึ่ง คือ การทำแห้งแบบโฟมแมทที่อาศัยหลักการตีอาหารเหลวให้เกิดโฟมแล้วนำไปอบแห้ง ซึ่งโครงสร้างของโฟมที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อย คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถรักษาสี กลิ่น มีความสามารถในการคืนรูปดี และใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ [8] โดยโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป (มอก.) ต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก [9] และมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่เกิน 0.6 [10]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ คัดเลือกสูตรของข้าวในการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป และเปรียบเทียบกรรมวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนและการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากมีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ และมีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลางถึงต่ำ เสริมใยอาหารจากแก่นตะวัน เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเสริมใยอาหาร

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมข้าวข้นสำหรับการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

เตรียมข้าวข้นจากปลายข้าว 3 ชนิด คือ ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry broken rice, RBR) ปลายข้าวหอมมะลิ (Jasmine broken rice, JBR) และปลายข้าวเหนียว (sticky broken rice, SBR) โดยข้าวแต่ละชนิดมีวิธีการเตรียมต่างกัน นำปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นสะเด็ดน้ำ และเติมน้ำสะอาดในอัตราส่วนปลายข้าวต่อน้ำสะอาดเป็น 1 : 7 โดยน้ำหนัก นำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยหม้อต้มแบบสองชั้น (double jacket) ที่ใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กวนผสมอย่างต่อเนื่องในระหว่างการให้ความร้อน

ส่วนปลายข้าวหอมมะลิไม่ต้องผ่านการแช่น้ำ ปลายข้าวเหนียวแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำ อัตราส่วนของปลายข้าวแต่ละชนิดต่อน้ำสะอาดเป็น 1:5 โดยน้ำหนัก นำไปต้มและกวนผสมอย่างต่อเนื่องในระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พักปลายข้าวต้มทั้ง 3 ชนิด ให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 30-32 องศาเซลเซียส นำมาปั่นให้ละเอียดโดยใช้เครื่องผสมอาหาร (Panasonic, MK-5087M, Thailand) ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 1-2 นาที ได้เป็นข้าวขันเพื่อนำมาใช้ในการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปต่อไป [11]

2.2 การเตรียมแก่นตะวันข้น

นำแก่นตะวันผงที่เตรียมจากหัวแก่นตะวันสด โดยการล้างทำความสะอาด หั่นหัวแก่นตะวันเป็นชิ้นหนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 และบดเป็นผง [12] นำผงแก่นตะวันผสมกับน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1:13 และ 1:7 โดยน้ำหนัก สำหรับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (OFM, DOFM 19/26, Thailand) และการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (PML, CD-1, Thailand) ตามลำดับ จากนั้นกวนผสมเป็นเวลา 5-15 นาที ได้เป็นแก่นตะวันข้น

2.3 การคัดเลือกสูตรของข้าวในการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

ผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป 4 สูตร จากปลายข้าว 3 ชนิด คือ ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RBR) ปลายข้าวหอมมะลิ (JBR) และปลายข้าวเหนียว (SBR) โดยอัตราส่วนของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ 4 สูตร คือ RBR (100), RBR:JBR (70:30), RBR:SBR (70:30) และ RBR:JBR:SBR (70:22.5:7.5) จากนั้นนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (OFM, DOFM 19/26, Thailand) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 20 ไมโครเมตร ความเร็วรอบ 0.5 รอบต่อนาที ได้เป็นโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

นำโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ผงที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L*, a* และ b*) hue (h°) และ chroma (C*) โดยใช้เครื่อง Colorimeter (Hunter Lab, CX2687, USA) ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และดัชนีการละลายน้ำ (WSI) [13] และความหนืดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (Perten instrument, tecmaster, Sweden) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น [9] และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab, CX2, USA) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อลักษณะด้านสี ความเรียบเนียน ความข้นหนืด กลิ่นรสข้าว และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale test โดยผู้ทดสอบชิมทั่วไป 60 คน ได้สูตรต้นแบบในการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

2.4 การศึกษาผลการเติมแก่นตะวันต่อคุณภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

คัดเลือกสูตรข้าวในการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปจากการทดลองที่ 2.3 ศึกษาการเติมแก่นตะวันข้น 4 ระดับ คือ 0, 2.5, 5 และ 7.5 % โดยน้ำหนักของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เริ่มต้น นำแก่นตะวันผงผสมกับน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 1 : 13 ได้เป็นแก่นตะวันข้น จากนั้นนำข้าวข้นไรซ์เบอร์รี่ปั่นผสมแก่นตะวันข้นในอัตราส่วนต่าง ๆ และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 20 ไมโครเมตร ความเร็วรอบ 0.5 รอบต่อนาที ได้เป็น

โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน

นำโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบต่อลักษณะด้านสี เช่นเดียวกับข้อ 2.3 คัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาวิธีในการทำแห้ง

2.5 การศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน

นำโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันสูตรที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2.4 มาศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน แปรอุณหภูมิลูกกลิ้ง 3 ระดับ คือ 130, 140 และ 150 องศาเซลเซียส ได้เป็นผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน นำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ความชื้น [9] ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab, CX2, USA) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด [14] และถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อีมิสชัน (field emission scanning electron microscope) (JEOL, JSM-7800F, Japan)

2.6 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารก่อโฟมในการทำแห้งแบบโฟมแมท

นำโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันสูตรที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2.4 มาเติม 2 % maltodextrin โดยน้ำหนัก เพื่อปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีผลต่อความสามารถในการเกิดโฟม คนให้เข้ากัน ศึกษาการทำแห้งโดยวิธีโฟมแมท โดยเปรียบเทียบชนิดของสารก่อโฟม 3 ชนิด คือ 2 % methocel, 1 % carboxy methyl cellulose (CMC) และสารผสมระหว่าง 2 % methocel กับ 1 % CMC ในอัตราส่วน 1 : 0.5 โดยน้ำหนัก เตรียมสารละลายของสารก่อโฟม โดยละลายสารก่อโฟมในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นค่อยๆ เติมสารละลายของสารก่อโฟมใส่ลงในโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวัน ตีปั่นส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร โดยใช้หัวตีแบบตะกร้อที่ความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นตีโฟมด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 15 นาที หาปริมาณของสารก่อโฟมที่เติมลงไปในส่วนผสมของโจ๊กในสัดส่วนที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดโฟม วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของโฟม ได้แก่ ความหนาแน่นของโฟม [15] ความคงตัวของโฟม [8] และร้อยละการขึ้นฟูของโฟม [15]

คัดเลือกชนิดของสารก่อโฟมที่ทำให้โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแก่นตะวันเกิดโฟมที่คงตัว โดยเพิ่มปริมาณสารก่อโฟมขึ้น 3 ระดับ จากปริมาณสารก่อโฟมที่ต่ำที่สุดที่สามารถก่อโฟมจากการทดลองก่อนหน้านี้ อัตราส่วนการเพิ่มขึ้น คือ 5 % เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารก่อโฟมต่อสมบัติของโฟมโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแก่นตะวัน ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของโฟม ได้แก่ ความหนาแน่น ความคงตัว และร้อยละการขึ้นฟู จากนั้นนำโฟมที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในเครื่องอบแห้งแบบถาด (PML, CD-1, Thailand) ได้เป็นผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น [9] ปริมาณน้ำอิสระ และถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวอนุภาค (ดังการทดลองที่ 2.5)

การพัฒนาสูตรและกรรมวิธีในการอบแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันแสดงดังรูปที่ 1

2.7 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันสูตรที่คัดเลือก และ

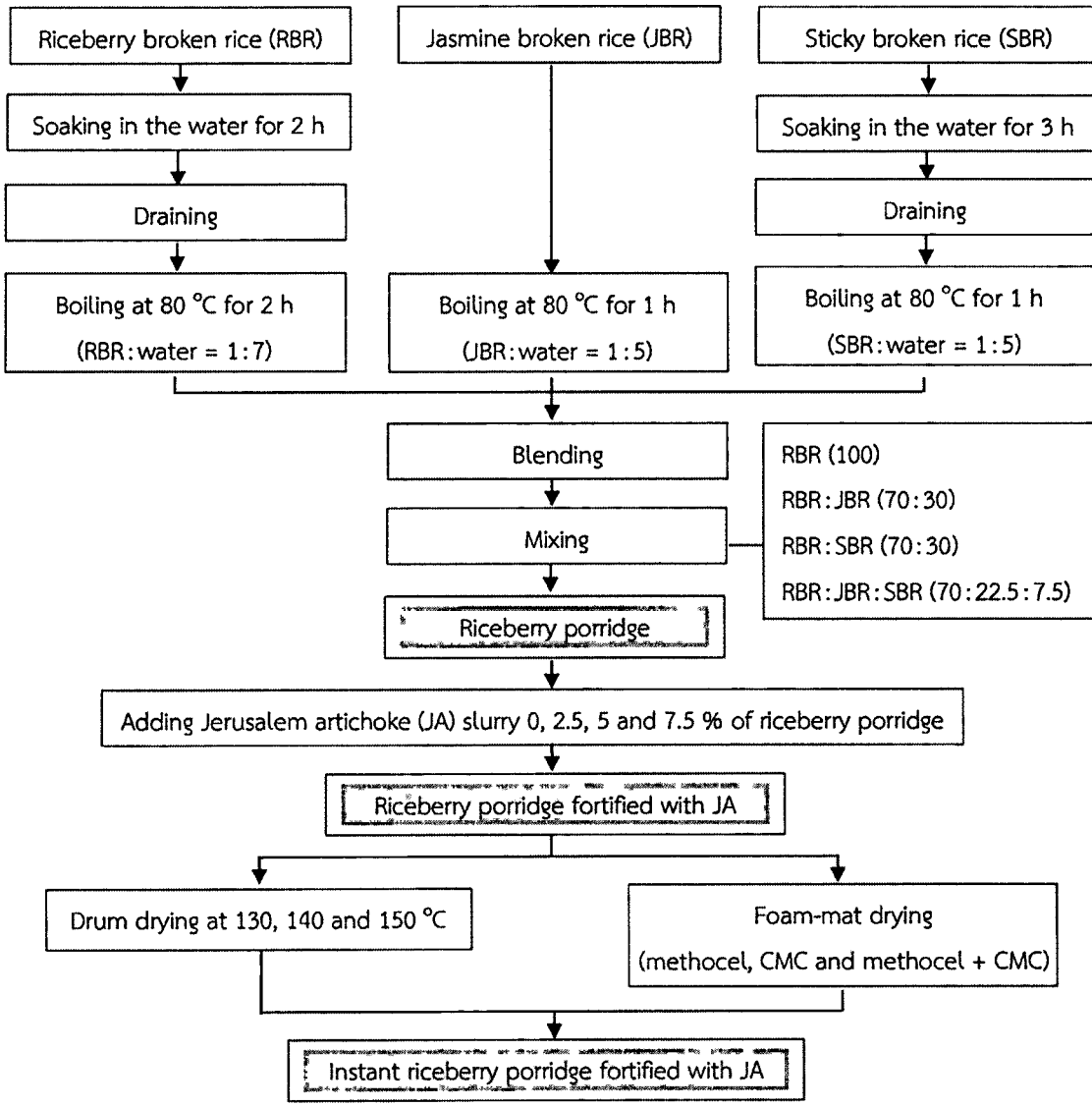

Figure 1 Production processes of the instant Riceberry porridge fortified with JA

โจ๊กข้าวกล้อง (ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายทางการค้า) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี AOAC (2000) [16]

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) สำหรับสมบัติทางกายภาพและเคมี ทดลอง 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อค (randomized complete block design) สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows version 23

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของการคัดเลือกสูตรข้าวในการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของข้าว 3 ชนิดในการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป คือ ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 (RBR 100) ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ 70 : ปลายข้าวหอมมะลิ 30 (RBR:JBR = 70:30) ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ 70 : ปลายข้าวเหนียว 30 (RBR:SBR = 70:30) และปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ 70 : ปลายข้าวหอมมะลิ 22.5 : ปลายข้าวเหนียว 7.5 (RBR :JBR:SBR = 70:22.5:7.5) พบว่าปริมาณความชื้นของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เริ่มต้น (85.09-86.08 %wb) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และเมื่อผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ได้เป็นผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีปริมาณความชื้นลดลง (2.15±0.34 - 3.14±0.80 %wb) (ตารางที่ 1) เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป (มอก.) ที่ต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก [9] เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและความชื้นเพิ่มขึ้น [17] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vanmontree และคณะ [18] ที่ศึกษาการอบแห้งโจ๊กข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่าที่อุณหภูมิลูกกลิ้ง 140 องศาเซลเซียส ที่ทุกระยะห่างของลูกกลิ้ง และทุก ๆ ความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งสามารถลดความชื้นของผงโจ๊กข้าวกล้องงอก ค่าความชื้นเฉลี่ยของโจ๊กข้าวกล้องงอกต่อน้ำ 1:3, 1:4 และ 1:5 คือ 6.37-12.20 %wb

เมื่อพิจารณาค่าสี (L*, a* และ b*) ของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป (ตารางที่ 1) พบว่าผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปสูตร RBR 100 มีค่าความสว่าง (L*) น้อยที่สุด (สีม่วงเข้มมากกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ และการเติมปลายข้าวหอมมะลิ (RBR:JBR) กับปลายข้าวเหนียว (RBR:SBR) ส่งผลให้ค่าสีแดง (a*) ลดลง ขณะที่ค่าสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วง โดยเมื่อผสมด้วยข้าวหอมมะลิและข้าวเหนียว ซึ่งมีเมล็ดข้าวสีขาวจึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) [19] นอกจากนี้อาจเกิดจากตัวอย่างได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงจากการทำแห้งด้วยความเร็วรอบที่เท่ากัน โดยอุณหภูมิทำแห้งที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีมากขึ้น [20] เมื่อพิจารณาค่า hue angle (h°) ซึ่งแสดงถึงค่ามุมของสี มีค่า 0-360 องศา พบว่าผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปมีค่า h° ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (0.72-0.74 องศา) ซึ่งอยู่ในช่วง 0-45 องศา แสดงถึงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง [21] ส่วนค่า Chroma (C*) เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มของสี ถ้า C* มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึง ตัวอย่างมีความเข้มสีต่ำลงจนเป็นสีเทา ถ้า C* มีค่าเพิ่มขึ้น หมายถึง ตัวอย่างมีความ

Table 1 Moisture contents, color (L*, a*, b*), hue and chroma of instant Riceberry porridge samples

Formulas	Moisture contents (%wb)	Colors			Hue^{ns}	Chroma
		L*	a*	b*		
RBR 100	3.14±0.80^{a}	45.76±0.42^{c}	8.68±0.24^{a}	7.54±0.16^{ab}	0.72±0.00	11.50±0.28^{a}
RBR:JBR (70:30)	2.37±0.24^{b}	53.53±0.30^{a}	8.08±0.42^{b}	7.36±0.07^{b}	0.74±0.03	10.93±0.27^{c}
RBR:SBR (70:30)	2.64±0.25^{ab}	51.30±1.17^{b}	8.47±0.27^{ab}	7.58±0.21^{a}	0.73±0.03	11.37±0.07^{ab}
RBR:JBR:SBR (70:22.5:7.5)	2.15±0.34^{b}	52.55±1.92^{ab}	8.24±0.33^{b}	7.50±0.18^{ab}	0.74±0.03	11.15±0.13^{bc}

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$); ^{ns} Not significant ($p \geq 0.05$); RBR = Riceberry broken rice; JBR = Jasmine broken rice; SBR= sticky broken rice

Table 2 Water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) and pasting properties of instant Riceberry porridge samples

Formulas	WAI	WSI	Pasting Temperature^{ns} (°C)	Peak viscosity (cP)	Final viscosity (cP)
RBR 100	8.48±1.09^{c}	5.02±2.25^{a}	50.17±0.03	3,155.67±385.18^{a}	534.67±39.16^{a}
RBR:JBR (70:30)	8.24±1.09^{c}	5.72±3.82^{a}	50.17±0.03	2,430.17±692.83^{b}	362.00±39.77^{b}
RBR:SBR (70:30)	11.74±0.19^{a}	1.63±1.25^{b}	50.18±0.03	2,515.83±354.26^{b}	241.17±18.17^{c}
RBR:JBR:SBR (70:22.5:7.5)	9.75±1.05^{b}	3.96±2.54^{ab}	50.18±0.03	2,520.17±437.72^{b}	329.00±15.71^{b}

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$); ^{ns} Not significant ($p \geq 0.05$); RBR = Riceberry broken rice; JBR = Jasmine broken rice; SBR = sticky broken rice

เข้มสีเพิ่มมากขึ้น โดยผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตร RBR 100 มีค่า C* มากที่สุด (11.50) แสดงว่ามีความเข้มของสีสูง รองลงมาเป็นสูตร RBR:JBR:SBR (70:22.5:7.5), RBR:SBR (70:30) และสูตร RBR:JBR (70:30) (11.15, 11.37 และ 10.93 ตามลำดับ)

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของสตาร์ช และค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของผลิตภัณฑ์โจ๊ก แสดงถึงปริมาณขององค์ประกอบในอาหารที่ถูกละลายด้วยน้ำ และยังบ่งบอกถึงความแข็งแรงของโครงสร้างเชิงซ้อนของผลิตภัณฑ์โจ๊ก [22] พบว่าการเติมปลายข้าวเหนียวทดแทนปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RBR:SBR) ส่งผลให้ค่า WAI สูงมากกว่าสูตรอื่น ๆ และมีค่า WSI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร RBR 100 (ตารางที่ 2) สตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง ปริมาณอะมิโลสต่ำ จึงมีความแข็งแรงของโครงสร้างเม็ดสตาร์ชน้อย ทำให้ดูดซับน้ำและพองตัวได้ดี [23] แต่มีการละลายต่ำและคืนตัวได้ช้า เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่พบในแป้งมีการจัดเรียงตัวแบ่งได้ 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเหมือนผลึก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอะมิโลส มีการพองตัวจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า crystalline region อีกกลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกว่านี้ว่า amorphous region เป็นส่วนที่อยู่รอบ ๆ ผลึก ซึ่งประกอบด้วยอะมิโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในเม็ดแป้งที่มีอะมิโลเพกตินสูงจะมีส่วนที่เป็น crystalline region น้อย จึงสามารถดูดน้ำได้รวดเร็วและพองตัวได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่มีอะมิโลสสูง [24] สอดคล้องกับผลการทดลองที่โจ๊กที่มีข้าวเหนียวเป็นส่วนผสมจะมีค่า WAI สูง และ WSI ต่ำ การเติมข้าวหอมมะลิ (RBR:JBR) ส่งผลให้ค่า WAI และค่า WSI เพิ่มขึ้น แต่ไม่ต่างกับสูตร RBR 100 โดยค่า WAI เปลี่ยนแปลงตามปริมาณอะมิโลส สตาร์ชข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะให้ค่า WAI ลดลง ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าข้าวเหนียว เม็ดสตาร์ชของข้าวจึงมีกำลังการพองตัวต่ำกว่าและมีการละลายดีกว่าข้าวเหนียว [13]

ตารางที่ 2 สมบัติการเกิดเพส (pasting property) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปสัมพันธ์กับความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นวิธีการที่ใช้ประเมินและติดตามสมบัติทางความหนืดขณะที่สารละลายสตาร์ชได้รับความร้อน รวมทั้งความคงตัวของสารละลายสตาร์ชเมื่อให้ความเย็นในช่วงของการลดอุณหภูมิ [23] การศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยน

แปลงความหนืดหรือเกิดเจลาทิไนซ์ (pasting temperature) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปทั้ง 4 สูตร คือ 50.17-50.18 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยทั่วไปแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เกิดเจลาทิไนซ์ที่อุณหภูมิ 62.0-75.84 องศาเซลเซียส [25] ส่วนข้าวหอมมะลิและข้าวเหนียวเกิดเจลาทิไนซ์ที่อุณหภูมิ 78.6 และ 68.4 องศาเซลเซียส [26] ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปทั้ง 4 สูตร มีค่าต่ำกว่า เนื่องจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่อุณหภูมิสูงทำให้แป้งเกิดการเจลาทิไนซ์หรือ pregelatinization ส่งผลให้โครงสร้างทางกายภาพของแป้งเปลี่ยนไปเมื่อได้รับความร้อนอีกครั้งในระหว่างการวัดความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ทำให้สมบัติของแป้ง (gelatinization behavior) เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลให้ความหนืดลดลง [25] เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปสูตร RBR 100 มีค่าความหนืดสูงสุดมากที่สุด (3,155.67±385.18 cP) รองลงมาเป็นสูตร RBR : JBR (70 : 30), RBR : SBR (70 : 30) และ RBR : JBR : SBR (70 : 22.5 : 7.5) ซึ่งมีค่าความหนืดสูงสุด 2,430.17± 692.83 ถึง 2,520.17±437.72 cP โดยการเติมปลายข้าวหอมมะลิและปลายข้าวเหนียวส่งผลให้มีค่าความหนืดสูงสุดลดลง เนื่องจากผลของปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชที่ทำให้โครงสร้างของสตาร์ชมีความแข็งแรงต่างกัน โดยสตาร์ชข้าวเหนียวและข้าวหอมมะลิมีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง มีกำลังการพองตัวสูง [24] เมื่อได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนซ์แล้วให้ความร้อนต่อไป รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่องจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมา ทำให้ความหนืดลดลง และอาจเกิดจากองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันของข้าวหอมมะลิและข้าวเหนียว ซึ่งอาจขัดขวางเม็ดแป้งจากการเกิด hydration ส่งผลให้ค่าความหนืดต่ำลง [22] เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปสูตร RBR 100 มีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด (534.67 cP) การเติมปลายข้าวเหนียวและปลายข้าวหอมมะลิส่งผลให้ความหนืดสุดท้ายมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อลดอุณหภูมิการให้ความร้อนลงจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง ซึ่งการเติมปลายข้าวเหนียวและปลายข้าวหอมมะลิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ทำให้มีปริมาณอะมิโลเพคตินในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งอะมิโลเพคตินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายลดลง นอกจากนี้ความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากอิทธิพลของการแปรรูป ซึ่งสตาร์ชข้าวที่เป็นส่วนประกอบหลักในโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปผ่านกระบวนการทำให้สุก โดยทั่วไปมักใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน ทำให้สมบัติด้านความหนืดเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสตาร์ชจะเกิดการเจลาทิไนซ์มาแล้วบางส่วน [2]

ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 สูตร (รูปที่ 2) พบว่าคะแนนความชอบด้านสี ความเรียบเนียน ความข้นหนืด กลิ่นรสของข้าว และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปสูตร RBR 100 มีคะแนนความชอบโดยรวม 6.20±1.52 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกสูตร RBR 100 ในการนำไปใช้ผลิตเป็นโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวัน เนื่องจากโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปสูตร RBR 100 มีต้นทุนวัตถุดิบใกล้เคียงกันกับข้าวชนิดอื่น ๆ โดยสูตร RBR 100 มีต้นทุน 14.53 บาท ต่อการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1 กิโลกรัม และสูตรที่เติมข้าวหอมมะลิ ข้าวเหนียว และสูตรข้าวผสมมีต้นทุน 15.26, 12.67 และ 14.61 บาท ตามลำดับ โดยสูตร RBR 100 ใช้ข้าวไรซ์

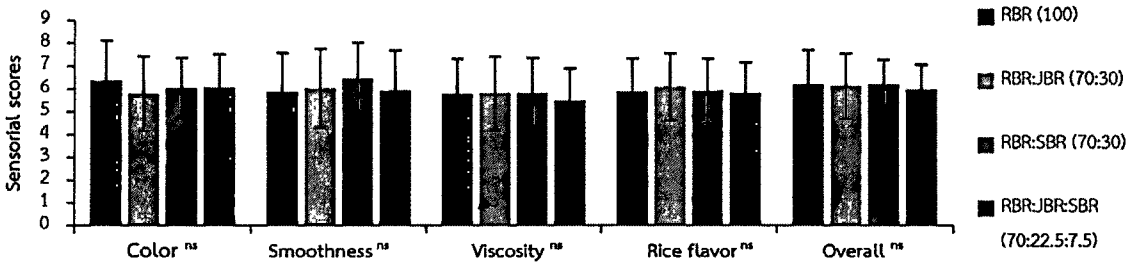

Figure 2 Mean sensorial scores of instant Riceberry porridge samples made from different types and ratios of rices. [^{ns} Not significant ($p \geq 0.05$)]

Table 3 Moisture content and color (L*, a* and b*) of instant Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke

Formulas	Moisture contents (%wb)	Colors		
		L*	a*	b*
RBR + JA 0 %	3.57±0.22^{a}	47.56±2.09^{c}	9.28±0.07^{a}	8.27±0.05^{d}
RBR + JA 2.5 %	2.41±0.18^{b}	49.94±3.24^{bc}	8.29±0.03^{b}	9.06±0.23^{c}
RBR + JA 5 %	1.79±0.24^{d}	51.68±3.18^{ab}	7.85±0.05^{c}	10.09±0.17^{b}
RBR + JA 7.5 %	2.06±0.23^{c}	53.59±1.98^{a}	7.36±0.29^{d}	11.01±0.05^{a}

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$); RBR = Riceberry broken rice; JA = Jerusalem artichoke powder

เบอร์รี่ในการผลิตเพียงชนิดเดียว ใช้ระยะเวลาในการเตรียมข้าวน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ และยังมีคุณลักษณะทางกายภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่ดี ดังนั้นจึงเลือกโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตร RBR 100 ไปศึกษาการเติมแก่นตะวันในการทดลองต่อไป

3.2 ผลของการเติมแก่นตะวันต่อคุณภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

การศึกษาการเติมแก่นตะวันข้น 4 ระดับ คือ 0, 2.5, 5 และ 7.5 % โดยน้ำหนัก พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความชื้นเริ่มต้น 87.44-88.84 %wb เมื่อผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปมีความชื้นลดลง 1.79±0.24 ถึง 3.57±0.22 %wb (ตารางที่ 3) ซึ่งการเติมแก่นตะวันข้นในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเติมแก่นตะวันเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็ง ทำให้มีสัดส่วนของแข็งในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ปริมาณความชื้นของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงลดลง

เมื่อพิจารณาค่าสี (L*, a* และ b*) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่เสริมแก่นตะวัน (ตารางที่ 3) พบว่าการเติมแก่นตะวันข้นปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันมีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น และค่าสีแดง (a*) ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากแก่นตะวันผง

Table 4 Water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) and pasting properties of instant Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke

Formulas	WAI	WSI	Pasting temperatures (°C)	Peak viscosity (cP)	Final viscosity (cP)
RBR + JA 0 %	9.59±0.17^{a}	3.99±1.11^{d}	50.17±0.03^{c}	2,810.00±257.42^{a}	560.67±44.86^{a}
RBR + JA 2.5 %	8.42±0.06^{b}	8.01±1.42^{c}	50.18±0.03^{c}	1,665.83±275.27^{b}	445.67±61.42^{b}
RBR + JA 5 %	8.06±0.26^{c}	10.79±1.43^{b}	75.73±5.30^{b}	912.00±151.74^{c}	346.00±40.57^{c}
RBR + JA 7.5 %	7.48±0.16^{d}	13.54±0.53^{a}	83.03±1.78^{a}	588.50±95.96^{d}	284.17±36.32^{d}

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$); RBR = Riceberry broken rice; JA = Jerusalem artichoke powder

มีสีเหลืองน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการสัมผัสความร้อนในระหว่างการอบแห้งแก่นตะวัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของแก่นตะวัน ส่งผลให้แก่นตะวันมีสีน้ำตาล [27] ดังนั้นเมื่อละลายน้ำจึงได้เป็นสารละลายข้นสีเหลืองน้ำตาล

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่เสริมแก่นตะวัน แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมแก่นตะวันทั้ง 4 ระดับ มีค่า WAI และ WSI แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่เติมแก่นตะวันมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) สูงที่สุด (9.59±0.17) และเมื่อเติมแก่นตะวันเพิ่มขึ้นเป็น 2.5, 5 และ 7.5 % ส่งผลให้ค่าดัชนีการดูดซับน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติมแก่นตะวัน 7.5 % มีค่าดัชนีการละลายน้ำสูงที่สุด (13.54±0.53 %) รองลงมาเป็นโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติมแก่นตะวัน 5, 2.5 % และโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่ไม่เติมแก่นตะวัน 10.79±1.43, 8.01±1.42 และ 3.99±1.11 % ตามลำดับ เนื่องจาก WAI แสดงถึงความสัมพันธ์ทางอ้อมของการกระจายตัวของแป้งในน้ำ [28] และ WSI แสดงปริมาณโพลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ โดยจะถูกปล่อยจากองค์ประกอบของแป้งหลังกระบวนการผลิต [29] และขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ละลายน้ำได้ [30] ซึ่งแก่นตะวันมีการเก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตที่มีสมบัติเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ [6] จึงส่งผลให้ค่า WSI เพิ่มขึ้น นอกจากนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของแก่นตะวันมีผลต่อการดูดซับน้ำ ทั้งโปรตีนและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำไปขัดขวางการกระจายของแป้งในน้ำ จึงส่งผลให้ค่า WAI ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติมแก่นตะวันมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malai และคณะ [31] ที่ศึกษาการพัฒนาบะหมี่สดโดยการเติมผงแก่นตะวัน พบว่าผงแก่นตะวันมีสมบัติในการดูดซับน้ำได้ไม่ดี เมื่อผสมรวมกับส่วนผสมของบะหมี่จะดูดซับน้ำน้อยลง ดังนั้นค่า WAI จึงมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาสมบัติการเกิดเพส (pasting properties) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน (ตารางที่ 4) พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดหรือเกิดเจลาทิไนซ์ (pasting temperature) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่ไม่เติมแก่นตะวันมีค่าต่ำที่สุด (50.17±0.03 องศาเซลเซียส) เมื่อเพิ่มปริมาณแก่นตะวันมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนท์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากแก่นตะวันประกอบไปด้วย

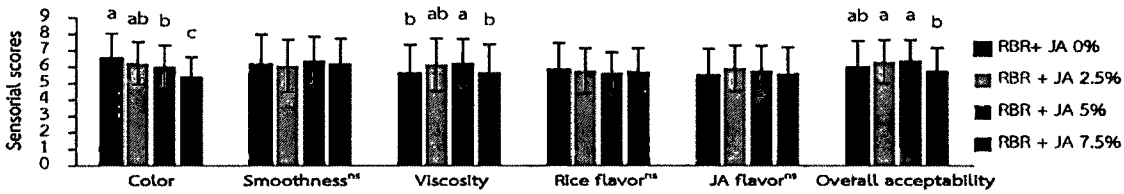

Figure 3 Mean sensorial scores of instant Riceberry porridge samples fortified with Jerusalem artichoke. [$^{a-c}$ Means with different letters above each column for the same sensory attribute differ significantly ($p < 0.05$); ^{ns} Not significant ($p \geq 0.05$)]

อินูลิน ซึ่งเป็นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ โดยใยอาหารจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อย [32] จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงในการทำลายแรงของพันธะภายในโมเลกุลของสตาร์ชเพื่อทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแตกออก ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์สูงขึ้น

ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่ไม่เติมแก่นตะวันมีความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มากที่สุด (2,810.00±257.42 และ 560.67 ±44.86 cP ตามลำดับ) (ตารางที่ 4) เมื่อเติมแก่นตะวันเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนืดที่จุดสูงสุด และความหนืดสุดท้ายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การเปลี่ยนแปลงความหนืดของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน [13] นอกจากนี้ยังขึ้นกับปริมาณของแก่นตะวัน เนื่องจากแก่นตะวันมีองค์ประกอบหลัก คือ ใยอาหารซึ่งไปขัดขวางการพองตัวและการกระจายตัวของแป้งในน้ำ ทำให้การเติมแก่นตะวันในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดมีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) รวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น น้ำตาล ไขมัน ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำของแก่นตะวันอาจขัดขวางการดูดซึมน้ำและการพองตัวของแป้ง โดยทำให้อัตราการเกิดเจลาทิไนซ์เป็นไปได้ช้า [33] ส่งผลให้มีความหนืดลดลง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน (รูปที่ 3) พบว่าคะแนนความชอบในด้านสี ความข้นหนืดและความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปสูตร RBR + JA 5 % ได้รับคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดและความชอบโดยรวมสูงสุด มีคะแนนความชอบ 6.25 ±1.45 และ 6.38±0.16 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย การเติมแก่นตะวันในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบในแต่ละด้านมีแนวโน้มลดลง ส่วนในเรื่องของสีและความชอบโดยรวมลดลงไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bulan [34] ที่ศึกษาผลของการใช้แก่นตะวันผงต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นพาสต้า พบว่าเส้นพาสต้าผสมแก่นตะวัน 5 % มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกด้านสูงสุด และเมื่อนำมาประกอบอาหารแล้วไม่มีความแตกต่างกับเส้นสูตรพื้นฐาน โดยมีคะแนนความชอบรวม 7.50 ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง และเมื่อปริมาณแก่นตะวันในเส้นพาสต้าเพิ่มขึ้นเป็น 10, 15 และ 20 % ทำให้มีแนวโน้มการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และเนื้อสัมผัสของเส้นพาสต้าลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแก่นตะวันจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำมากขึ้นและเส้นมีความเหนียวนุ่มลดลง ดังนั้นจึงคัดเลือกโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน 5 % ไปศึกษากรรมวิธีในการ

ทำแห้ง เนื่องจากมีปริมาณความชื้นต่ำ มีค่าดัชนีการละลายน้ำสูง และค่าดัชนีการดูดซับน้ำต่ำ นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความข้นหนืดและความชอบโดยรวมสูงที่สุด

3.3 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน

นำโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวัน 5 % มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นเมื่อทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน โดยแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวัน 5 % (RBR + JA 5 %) 3 อุณหภูมิ คือ 130, 140 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 50 (ตัวอย่างอยู่บริเวณด้านล่างของลูกกลิ้ง หรือลูกกลิ้งหมุนได้ครึ่งรอบ) และ 70 วินาที (ตัวอย่างอยู่บริเวณที่ใบมีดขูดตัวอย่างออกหรือตัวอย่างหมุนครบ 1 รอบพอดี) ตารางที่ 5 แสดงค่าความชื้น พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการทำแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น 88.84 %wb เมื่อนำไปทำแห้งที่ 130, 140 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 และ 70 วินาที ส่งผลให้ปริมาณความชื้น และ a_w มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่า a_w ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน 5 % มีค่าไม่เกิน 0.6 ซึ่งจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเมื่ออาหารมีค่า a_w เท่ากับหรือต่ำกว่า 0.6 เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหารและเป็นตัวบ่งบอกความปลอดภัยของอาหาร ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารให้เหลือน้อยที่สุด หรือลดค่า a_w ให้ต่ำที่สุด จึงทำให้อาหารเก็บรักษาได้นาน [35]

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) และกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging activity assay) ซึ่ง DPPH assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน 5 % (ตารางที่ 6) พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 86.02±7.13 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง และมีร้อยละกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ 13.25±1.13 โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงประมาณ 2 เท่า เมื่อโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการทำแห้ง อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิสูงที่ใช้ในการทำแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและร้อยละกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปนั้นอาจมีผลต่อการทำลายพันธะ

Table 5 Moisture content and water activity (a_w) of instant Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke dried by drum drying with different temperatures

Temperature (°C)	Moisture contents (%wb)			Water activity (a_w)		
	0 sec^{ns}	50 sec	70 sec	0 sec^{ns}	50 sec	70 sec^{ns}
130	88.44±0.42	7.30±0.73^{a}	4.29±0.70^{a}	0.98±0.00	0.42±0.05^{a}	0.15±0.01
140	88.44±0.42	4.77±0.48^{b}	2.21±0.19^{b}	0.98±0.00	0.32±0.05^{b}	0.16±0.01
150	88.44±0.42	4.05±0.14^{b}	1.95±0.17^{b}	0.98±0.00	0.22±0.01^{c}	0.15±0.01

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$); ^{ns} Not significant ($p \geq 0.05$)

Table 6 Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke before and after dried at different temperatures

Temperatures (°C)	Total phenolic content (mg of gallic acid equivalent/g dry weight)	DPPH radical scavenging activity (%)
Riceberry porridge fortified with JA powder	86.02±7.13[a]	13.25±1.13[d]
130	44.54±1.02[c]	23.74±1.01[c]
140	49.30±1.09[c]	26.58±1.22[b]
150	56.23±1.21[b]	34.32±1.78[a]

[a-d] Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$).

เอสเทอร์ของฟีนอลิก เกิดเป็นฟีนอลิกอิสระ จึงส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงขึ้น [36] นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rauppl และคณะ [37] ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปหัวบีทรูทต่อสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิเคราะห์ในบีทรูทสดและบีทรูทที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดสารประกอบฟีนอลิกที่แอคทีฟตัวใหม่ อีกทั้งในระหว่างการแปรรูปด้วยความร้อนทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายทำให้เกิดการแตกและปลดปล่อยกรดฟีนอลิกที่อยู่ในตัวอย่างออกมา

3.4 ผลของชนิดและปริมาณของสารก่อโฟมในการทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันด้วยการทำแห้งแบบโฟมแมท

การศึกษาชนิดของสารก่อโฟม 3 ชนิด คือ สารละลาย 2 % methocel (MET) สารละลาย 1 % CMC และสารละลายผสมของ 2 % methocel ร่วมกับ 1 % CMC (MET + CMC) อัตราส่วน 1 : 0.5 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้สารละลาย MET และสารละลายผสม MET + CMC ทำให้เกิดโฟมที่มีความคงตัวและตั้งยอดได้หลังจากการตีปั่น ซึ่งปริมาณสารละลายของสารที่ก่อให้เกิดโฟมน้อยที่สุดที่ใช้ได้ คือ 15 และ 20 % ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ส่วนสารละลาย CMC ไม่สามารถทำให้เกิดโฟมที่มีความคงตัว โดยโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่ใช้สารละลาย 2 % MET เป็นสารก่อโฟม ได้โฟมโจ๊กมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด คือ 0.57±0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วน % overrun ของโฟม จะเห็นได้ว่าโจ๊กที่ใช้ MET เป็นสารก่อโฟมมีค่า % overrun สูง โดยค่า % overrun จะแปรผกผันกับความหนาแน่นของโฟม กล่าวคือ ถ้าโฟมโจ๊กมีค่า % overrun สูงแสดงว่าโฟมมีอากาศอยู่ด้านในมาก ส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง ซึ่งโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำนั้นจะมีฟองอากาศที่สม่ำเสมอ [38] โดยสารละลาย MET เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์มขึ้นในอาหารได้ (film forming) ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมมีความคงตัว [8] ส่วนโจ๊กที่ใช้สารละลาย CMC เป็นสารก่อโฟม มีค่า % overrun ต่ำที่สุด เนื่องจาก CMC ทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งจะขัดขวางการเก็บอากาศในระหว่างการตีโฟม ทำให้ค่า % overrun ลดลง [38]

Table 7 Minimum of various foaming agent solution added and foam properties of whipped Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke

Foaming agent solutions	Minimum of foaming agent solutions (% w/w)	Foam properties		
		Foam density (g/mL)	Foam stability (mL/min)	Overrun (%)
2 % MET	15	0.57±0.01^{c}	0.00±0.00^{b}	74.60±2.19^{b}
1 % CMC	More than 100	1.12±0.04^{a}	3.77±0.92^{a}	8.45±3.17^{c}
2 % MET + 1 % CMC	20	0.65±0.01^{b}	0.00±0.00^{b}	82.23±2.43^{a}

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$); MET = methocel; CMC = carboxymethyl cellulose

เมื่อพิจารณาค่าความคงตัวของโฟมโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวัน ซึ่งเปรียบเทียบการแยกตัวของของเหลวออกจากโฟม พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่ใช้สารละลาย MET และสารละลายผสมระหว่าง MET + CMC เป็นสารก่อโฟม มีการแยกตัวของของเหลวต่ำที่สุด หรือโฟมมีความคงตัวสูง ส่วนโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่ใช้สารละลาย CMC มีค่าความคงตัวต่ำที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Panyakrua และคณะ [39] ที่รายงานว่าโฟมโจ๊กข้าวกล้องที่ใช้ methocel และ methocel ร่วมกับ CMC เป็นสารก่อโฟมมีค่า % overrun ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (146.57-147.01 %) ขณะที่สารก่อโฟมชนิด CMC มีค่า % overrun ต่ำที่สุด (8.46 %) และไม่เกิดลักษณะของโฟม ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารละลาย MET เป็นสารก่อโฟมในการทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวัน

ตารางที่ 8 แสดงสมบัติทางกายภาพของโฟมโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่เพิ่มปริมาณสารละลายของสารก่อโฟม พบว่าปริมาณ MET ที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของโฟมโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลง และ % overrun สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่าความหนาแน่น ความคงตัว และ % overrun ของโฟมมีความสัมพันธ์กัน โดยโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีปริมาณการแยกตัวของของเหลวต่ำ ซึ่งแสดงว่าโฟมมีความคงตัวสูงและมีค่า % overrun สูง โฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ หมายถึง ฟิล์มของโฟมมีความสามารถอุ้มอากาศไว้ในฟิล์มของโฟมได้มาก [15] ค่าความหนาแน่นของโฟมโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่เติม MET คือ 0.45-0.53 g/mL สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hart และคณะ [40] ที่รายงานว่าโฟมที่มีค่าความหนาแน่น 0.2-0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความแข็งแรง ไม่ยุบตัวระหว่างการทำแห้ง และสามารถนำมาอบแห้ง ส่วนค่าความคงตัวของโฟมข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่เติม MET ทั้ง 3 ระดับ ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่า 0.00 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงถึง ไม่มีของเหลวแยกตัวออกมาจากโฟม เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง เนื่องจากโฟมมีความคงตัวดี เมื่อนำไปทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปมีความชื้น 5.92±0.07 ถึง 6.46±0.10 %wb และปริมาณน้ำอิสระ 0.26±0.02 ถึง 0.28±0.01 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป (มอก.) โดยมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก [9] และมี a_w ไม่เกิน 0.6 [10]

ภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคลักษณะพื้นผิวตัวอย่างผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป

เสริมแก่นตะวันที่ทำแห้งด้วยวิธีการโฟมแมทและการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน แสดงดังรูปที่ 4 การทำแห้งโฟมโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันที่แปรปริมาณของสารละลายของสารก่อโฟม MET เป็น 15-25 % (รูปที่ 4a-4c) โดยใช้ลมร้อน 70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ทำให้อนุภาคของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันมีลักษณะรูปร่างคล้ายผลึกที่มีความเป็นเหลี่ยมคล้ายกัน โดยลักษณะพื้นผิวอนุภาคของผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการโฟมแมทมีพื้นผิวที่เรียบและแน่น ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมโจ๊ก การให้ความร้อนที่ 80 °C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ข้าวเกิดเจลาทิไนเซชันอย่างสมบูรณ์ เม็ดสตาร์ชของข้าวเกิดการหลอมเหลว เมื่อนำไปตีโฟมเกิดฟองอากาศขนาดเล็ก หลังจากการทำแห้งด้วยลมร้อนซึ่งการใช้อุณหภูมิต่ำระยะเวลาในอบแห้งนานจะทำให้พื้นผิวอนุภาคมีลักษณะย่น [41] ส่งผลให้พื้นผิวโครงสร้างของอนุภาคผงโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันย่นและอัดกันแน่น

Table 8 Foam properties of whipped Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke, moisture content and water activity of instant Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke

The amount of 2 % MET (%)	Foam properties			Instant riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke	
	Foam density (g/mL)	Foam stability (mL/min)^{ns}	Overrun^{ns} (%)	Moisture content (%wb)	Water activity^{ns} (a_w)
15	0.53±0.02^{a}	0.00±0.00	84.98±4.96^{c}	5.92±0.07^{c}	0.26±0.03
20	0.49±0.01^{b}	0.00±0.00	99.22±3.59^{b}	6.46±0.10^{a}	0.26±0.02
25	0.45±0.01^{c}	0.00±0.00	123.51±1.28^{a}	6.08±0.08^{c}	0.28±0.01

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicate that values are significantly different ($p < 0.05$); ^{ns} Not significant ($p \geq 0.05$); MET = methocel

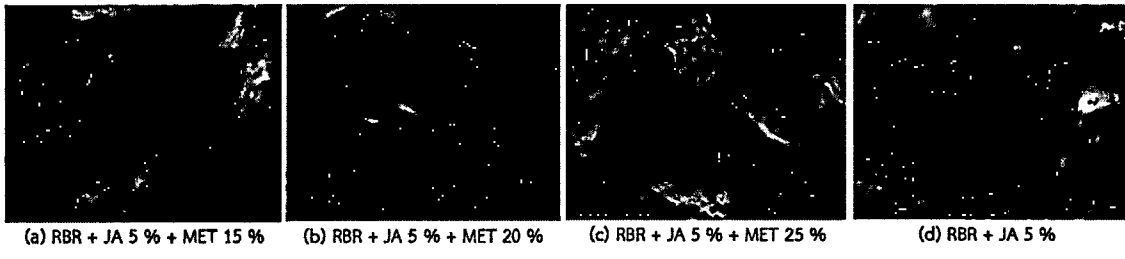

Figure 4 Scanning Electron Microscope (SEM) micrographs of instant Riceberry porridge fortified with Jerusalem artichoke (JA) used 15 % (a), 20 % (b) and 25 % (c) of methocel solution 2 % as a foaming agent and dried by hot air oven and SEM of instant Riceberry porridge fortified with JA 5 % dried by drum dryer (d). The magnification was set as 150x; RBR = Riceberry broken rice; JA = Jerusalem artichoke; MET = methocel

Table 9 Proximate composition of instant Riceberry porridge with and without Jerusalem artichoke addition and commercial porridge

Formulas	Moisture contents (%wb)	Protein (%wb)	Carbohydrate (%wb)	Fat (%wb)	Ash (%wb)	Fiber (%wb)
RBR + JA 0 %	3.75±0.44^{a}	11.48±0.28^{b}	82.72±0.22^{a}	1.49±0.09^{b}	0.03±0.01^{b}	0.16±0.01^{b}
RBR + JA 5 %	1.91±0.31^{c}	13.62±0.21^{a}	80.91±0.36^{c}	1.48±0.12^{b}	0.40±0.01^{a}	2.06±0.24^{a}
Commercial	2.12±0.17^{bc}	11.77±0.31^{b}	81.57±0.37^{b}	2.55±0.15^{a}	0.03±0.01^{b}	1.97±0.02^{a}

$^{a-c}$ Different letters in the same column indicates that values are significantly different ($p < 0.05$); RBR = Riceberry broken rice; JA = Jerusalem artichoke

สำหรับพื้นผิวอนุภาคของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (รูปที่ 4d) มีโครงสร้างทางจุลภาคพื้นผิวด้านที่เรียบและพื้นผิวด้านที่เป็นรูพรุน ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งโจ๊กจะถูกป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่และถูกเคลือบบนลูกกลิ้งหมุน เมื่อครบรอบหมุนของลูกกลิ้ง โจ๊กแห้งถูกขูดออกโดยใบมีด พื้นผิวอนุภาคของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันด้านที่เรียบ คือ ด้านที่สัมผัสโดยตรงกับลูกกลิ้ง ส่วนพื้นผิวอนุภาคผงด้านที่มีรูพรุน คือ ตัวอย่างโจ๊กด้านบนที่เคลือบบนลูกกลิ้ง เนื่องจากอุณหภูมิลูกกลิ้งที่ใช้ในการทำแห้งสูง คือ 140 °C ทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากโจ๊กอย่างรวดเร็วเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุน

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวัน 5 % และโจ๊กข้าวกล้องแดงกึ่งสำเร็จรูปผสมสาหร่ายที่จำหน่ายทางการค้า แสดงดังตารางที่ 9 พบว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่ไม่เติมแก่นตะวัน มีปริมาณโปรตีน 11.48 % เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวกล้องชนิดหนึ่ง ซึ่งข้าวกล้องเมล็ดเต็มและปลายข้าวมีองค์ประกอบของโปรตีนเฉลี่ย 9.5 และ 9-10 % ตามลำดับ [42,43] เนื่องจากแก่นตะวันที่ใช้ในการทดลองนี้เตรียมโดยใช้แก่นตะวันทั้งหัวไม่ปอกเปลือก [44] เมื่อเติมแก่นตะวันส่งผลให้โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 11.48±0.28 % (RBR + JA 0 %) เป็น 13.62±0.21 % (RBR + JA 5 %) และปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นจาก 0.16±0.01 % เป็น 2.06±0.24 % ผลิตภัณฑ์โจ๊กไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันมีปริมาณความชื้นและโปรตีนอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปต้องมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 และปริมาณโปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 8 [9]

4. สรุป

การพัฒนาสูตรและวิธีการทำแห้งของผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูป ได้สูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสม คือ สูตรที่ใช้ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 % (RBR 100) เนื่องจากมีค่าความสว่าง (L*) และค่าดัชนีการดูดซับน้ำต่ำที่สุด มีค่าดัชนีการละลายน้ำและค่าความหนืดสูงที่สุด นอกจากนี้ยังได้รับคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและความชอบโดยรวมสูงสุดอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย การเติมแก่นตะวัน 5 % ทำให้มีคะแนนความชอบใน

ด้านความข้นหนืดและความชอบโดยรวมสูงสุด ซึ่งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแก่นตะวันทำแห้งได้ 2 วิธี ทั้งการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนและการทำแห้งแบบโฟมแมท โดยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นรูพรุนมากกว่าการทำแห้งแบบโฟมแมท นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมแก่นตะวันมีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าโจ๊กโรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปสูตรไม่เติมแก่นตะวัน แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปผสมแก่นตะวันต่อไปอาจมีการปรับปรุงรสชาติและสมบัติด้านดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของผลิตภัณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อการวิจัยชั้นสูง สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชั้นสูง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการอำนวยความสะดวกในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อีมิสชัน (FESEM)

6. References

[1] Kasikorn Research Center, Instant food: Consumer Behaviour and Economic Growth, Available Source: https://www.kasikornresearch.com/TH/K-conAnalysis/Pages/ ViewSummary. aspx?docid= 5337, January 1, 2016. (in Thai)

[2] Srikaeo, K. and Sopade, P.A., 2010, Functional properties and starch digestibility of instant Jasmine rice porridges, Carbohydr. Polym. 82 952-957.

[3] Siphaya, C. , Riceberry rice, Available Source: https://siweb.dss.go.th/dss_doc/DSS_Doc/ show_discription_doc. asp?ID= 1973, December 29, 2016. (in Thai)

[4] Roberfroid, M.B., 1993, Dietary fiber, inulin and oligo- fructose: a review comparing their physio-logical effects, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 33(2): 103-48.

[5] van Loo, J., Coussement, P., DeLeenheer, L., Hoebregs, H. and Smits, G., 1995, On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 35(6): 525-52.

[6] Tanjor, S., Judprasong, K., Chaito, C. and Jogloy, S., 2012, Inulin and fructo oligosacharides in different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), KKU Res. J. 2: 1-13.

[7] Rungsardthong, V., 2004, Food Processing Technology, 4th Ed. , King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 500 p. (in Thai)

[8] Boonyawattana, K. , 2005, Powdered beverage from Indian mulberry (*morinda citrifolia* linn.) mixed with fruit by Foam-mat drying, Faculty of Agro- Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai, 69 p. (in Thai)

[9] Thailand Industrial Standards Institute, 2005, Thai Industrial Standards (TISI. 315/2005) Rice Porridge, Bangkok. (in Thai)

[10] Ministry of Industry, 2015, Thai Community Product Standard: Instant Brown Rice No. 1 068, Thai Industrial Standards, Bangkok. (in Thai)

[11] Yaieiam, S., Teangpook, C., Wirivutthikorn, W. and Siripanporn, J., 2004, Development of instant brown fragrance rice porridge, Food J. (Thailand) 34(3): 240-246. (in Thai)

[12] Khuenpet, K., Fukuoka, M., Jittanit, W. and Sirisansaneeyakul, S., 2017, Spray drying of inulin component extracted from Jerusalem artichoke tuber powder using conventional and ohmic- ultrasonic heating for extraction process, J. Food Eng. 194: 67-78.

[13] Sriroth, K. and Piyachomkwan, K., 2003, Starch Technology, 3rd Ed. , Kasetsart University, Bangkok, 303 p. (in Thai)

[14] Khamtai, T. and Ratphitagsanti, W., 2016, Improvement on antioxidant properties of brown rice (Riceberry cultivar) with Ultra superheated steam technology, Proceedings of 54th Kasetsart University Annual Conference: Science, Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro- Industry, Natural Resources and Environment, 1194 p. (in Thai)

[15] Supavititpatana, T., 2001, Effect of foaming agents on the properties of instant-germinated-brown-rice porridges using foam-mat method, The Golden Teak: Research J. 17(1): 1-12. (in Thai)

[16] AOAC, 2000, Official Methods of Analysis, 17th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

[17] Jittanit, W., Lalitmassakul, C. and Charn-Utsar, P., 2012, Quality of instant congee and energy consumption in the drying process by using drum dryer, J. KMUTNB. 22(2): 256-264.

[18] Vanmontree, B., Treeamnuk, T., Jitkuson, P. and Singkong, W., 2013, Effect of drying method on instant brown rice porridge by drum dryer, pp. 520-523, The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference. (in Thai)

[19] Sirichokworrakit, S. , Phetkhuta, J. and Khommoon, A. , 2015, Effect of partial substitution of wheat flour with Riceberry flour on quality of noodles, Procedia Soc. Behav. Sci. 197: 1006-1012.

[20] Kerdpiboon, S. , Puttongsiri, T. and Devahastin, S. , 2011, Effect of drying temperature on physical property and flow characteristics of instant porridge mixed with pumpkin, Agric. Sci. J. 42(2) (Suppl.): 445-448. (in Thai)

[21] McGuire, R.G., 1992, Report of objective color measurements, Hort. Sci. 27: 1254-1255.

[22] Mayacherw, P. , 2015, Development of Healthy Instant Legume- rice Porridges, Thaksin University, Songkhla, 31 p. (in Thai)

[23] Na Nakorn, K., 2009, Effect of Amylose Content and Processing Conditions on Functional Properties of Pregelatinized Rice Starches, Prince of Songkla University, Songkla, 118 p. (in Thai)

[24] Naivikul, O., 1989, Cereal Chemistry,

Kasetsart University, Bangkok, 148 p. (in Thai)

[25] Wiriyawattana, P., Suwonsichon, S. and Suwonsichon, T., 2018, Effects of drum drying on physical and antioxidant properties of Riceberry flour, Agric. Nat. Resour. 52: 445-450.

[26] Namhong, T., 2006, Value Added Rice Starch and It Utilization, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)

[27] Rubel, I.A., Iraporda, C., Novosad, R., Cabrera, F.A, Genovese, D.B. and Manrique, G.D., 2018, Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods, Food Res. Int. 103: 226-233.

[28] Ding, Q.B., Ainsworth, P., Tucker, G. and Marson, H., 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, J. Food Eng. 66: 283-289.

[29] Mayachiew, P., Charunuch, C. and Devahastin, S., 2015, Physicochemical and thermal properties of extruded instant functional rice porridge powder as affected by the addition of soybean or mung bean, J. Food Sci. 80(12): E2782-E2791.

[30] Guha, M., Ali, S.Z. and Bhattacharya, S., 1997, Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics, J. Food Eng. 32: 251-267.

[31] Malai, D., Chaichawalit, C., Janphen, S. and Mailaead, S., 2013, Development of fresh noodles by substitution of Jerusalem artichoke powder, Agric. Sci. J. 44(2)(Suppl.): 269-272. (in Thai)

[32] Lekjing, S., Noonim, P., Boottajean, S. and Chantawong, P., 2019, Effect of substitu tion of wheat flour with Sangyod brown rice flour on physicochemical and sensory qualities in snack product, Khon Kaen Agric. J. 47(Suppl. 1): 680-684. (in Thai)

[33] Wattanapahui, S., 2011, Development of Instant Pasta, Srinakharinwirot University, Bangkok.

[34] Bulan, D., 2016, Effects of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) powder addition on sensory characteristics of fresh pasta, pp. 164- 169, 4 th Suan Sunandha Academic National Conference on Research for Sustainable Development. (in Thai)

[35] Parnsakhorn, S., 2007, The study of optimum condition for drying instant Sao Hai rice cooking powder by drum dryer, The 6 th STOU National Research Conference, Sukhothai Thammathirat Open University, Bangkok. (in Thai)

[36] Kim, J.S., Kang, O.J. and Gweon, O.C., 2013, Comparison of phenolic acids and flavonoids in black garlic at different

thermal processing steps, J. Funct. Foods 5: 80-86.

[37] Rauppl, D.S., RodriguesII, E., RockenbachII, I.I., CarbonarI, A., CamposI, P.F., BorsatoIII, A.V. and Fett, R., 2011, Effect of processing on antioxidant potential and total phenolics content in beet (*Beta vulgaris* L.), Ciênc, Tecnol. Aliment. Campinas 31: 688-693.

[38] Inkaew, C., Keokamnerd, T., Rardniyom, C. and Arkanit, K., 2015, Effects of Date-to-water Ratio and Foaming Agents on the Foam Quality Prior to Foam-mat Drying, Research Report, Maejo University, Chiang Mai. (in Thai)

[39] Panyakrua, R., Supavititpatana, T. and Supavititpatana, P., 2012, Effect of types and concentrations of foaming agents on qualities and sensory properties of instant germinated brown rice porridge, pp. 19-23, Proceedings The 4th Science Research National Conference, Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)

[40] Hart, M.R., Graham, R.P., Ginnette, L.F. and Morgan, A.I., 1963, Foams for foam-mat drying, Food Tech. 17: 1302-1304.

[41] Yawiang, W., 2013, Optimum Condition of Whet Protein Powder Production by Foam- mat Drying and the Nutritional Composition of the Powder, Chiang Mai University, Chiang Mai, 103 p. (in Thai)

[42] Jeeraphun, T., 2006, Food and Animal Feeding, Available Source: http://elearning.nsru.ac.t/web_elearning/animal/index.2php, May 1, 2017. (in Thai)

[43] Udonthani Rice Research Center, Rice and Benefits of Rice Kernel, Available Source: http://ubn.brrd.in.th/web/index.php/-06-11-06-2011, May 1, 2017. (in Thai)

[44] Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S. and Srichamnong, W., 2015, Effect of pretreatments on quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and inulin extraction, Trans. ASABE. 58: 1873-1884.