วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องและแป้งข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

Physical and chemical properties of indigenous brown rice and brown rice flour in upper northeast

สุภกาญจน์ พรหมขันธ์[1]*, ชยุต ศรีฮาก์ญ[2], จิรวัตน์ สนิทชน[3] และ ศุกฤชชญา เหมะธุลิน[1]

Supakarn Promkhan[1]*, Chayut Srihanoo[1], Jirawat Sanitchon[2] and Sukrichaya Hemetulin[1]

[1] สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร *47160*
[1] *Department of Food Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon, 47160*
[2] สาขาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร *47160*
[2] *Department of Plant Science, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon, 47160*
[3] สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
[3] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University*

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี คุณค่าทางโภชนาการ และประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมืองที่ได้การรับรองพันธุ์และนิยมปลูกในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยศึกษาข้าวพันธุ์มะลิแดงโกเมน ทับทิมชุมแพ เมล็ดฝ้าย ไรซ์เบอร์รี่ กำเฟือง เหนียวดำม้ง และสายพันธุ์PSRR พบว่าข้าวกล้องหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์ มีค่าความแข็ง (hardness) อยู่ในช่วง 260.76-700.63 g โดยพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีค่า hardness สูงสุด (700.63 g) ความสามารถในการละลายของแป้งข้าวเจ้า (มะลิแดงโกเมน ทับทิมชุมแพ เมล็ดฝ้าย ไรซ์เบอร์รี่) ต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว (กำเฟือง เหนียวดำม้ง และPSRR) กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 2.51-4.96 ซึ่งคุณสมบัติด้านความหนืดเป็นคุณภาพทางกายภาพที่สำคัญเมื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่าแป้งข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์ มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temparature) อยู่ในช่วง 59.70-68.70 cP โดยอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าว ซึ่งข้าวพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีปริมาณแอมิโลสสูงสุด 22.24% และมีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงสุด (68.70°C) ส่วนแป้งข้าวกล้องเหนียวดำม้งมีค่าการแตกตัว (breakdown) ต่ำสุด (30.26 cP) และมีค่าการคืนตัวกลับ(setback from trough) ต่ำสุด (8.78 cP) ทำให้เกิดการคืนตัวของแป้งสุก (retro gradation) ได้ยากที่สุด แสดงให้เห็นถึงความคงตัวของแป้งที่เหมาะกับกระบวนการแปรรูปอาหารที่ต้องใช้แรงกวนและความร้อนสูง และเมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโปรตีนและวิตามินบี1 สูงสุด 8.28% และ 1.1989 mg/100g ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องเหนียวดำม้งมีปริมาณวิตามินอีและธาตุเหล็ก (Fe) สูงสุด 0.13 mg/100 g และ 18.82 mg/kg ตามลำดับ และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด เท่ากับ 1,311.51 mg Ascorbic acid/100 ml 1,073.61 mg Gallic acid/100ml 742.74 mg Cyanidin-3-glucoside/100ml ตามลำดับ

คำสำคัญ: ข้าวพื้นเมือง; ข้าวกล้อง; คุณค่าโภชนาการ; สารต้านอนุมูลอิสระ

ABSTRACT: The objective of this research was to study the physical, chemical, nutritional value, and antioxidant activities of native rice varieties that have been certified and are popularly grown in the northeast of Thailand. The rice varieties used in this study were Mali Dang Gomain (MG), Tabtim Chumphae (TCP), Maled Fai (MF), Rice Berry

* Corresponding author: s_promkhan@hotmail.com

Received: date; November 8, 2021 Accepted: date; May 19, 2023 Published: date; July 7, 2023

(RBR), Kam Feuang (KF), Niew Dam Hmong (M), and PSRR line. The quality study results on cooked brown rice showed that the hardness of seven varieties varied between 260.76 and 700.63 g, with Maled Fai having the highest hardness (700.63 g). The solubility of non-glutinous rice flours (Mali Dang Gomain, Tabtim Chumphae, Maled Fai, Rice Berry) was lower than that of glutinous rice flours (Kam Feuang, Niew Dam Hmong, PSRR). The swelling power of seven varieties varied between 2.54 and 4.96. Viscosity is an important physical quality when analyzing pasting characteristics. It was found that the pasting temperature was in the range of 59.70–68.70 cP, and the pasting temperature was related to the amount of amylose. Maled Fai flour had the highest amylose content of 22.24% and also had the highest pasting temperature (68.70°C). Niew Dam Hmong had difficulty undergoing retrogradation readily due to the fact that brown rice flour had the lowest breakdown (30.26 cP) and the lowest setback from trough (8.78 cP), which meant brown rice flour had high stability that made it suitable for food processing, which required high stirring and heat. The analysis of nutritional value showed the Rice Berry had the highest protein and vitamin B1 content at 8.28% and 0.1998 mg/100g, respectively. Niew Dam Hmong contained the highest amounts of vitamin E and iron (Fe), 0.13 mg/100g and 18.82 mg/kg, respectively. Niew Dam Hmong also had antioxidant capacity, total phenolic compounds, and anthocyanin content of 1,311.51 mg ascorbic acid/100 ml,1,073.61 mg gallic acid/100ml, and 742.74 mg cyanidin-3-glucoside/100 ml, respectively.
Keywords: indigenous rice; brown rice; nutritional value; antioxidant activity

บทนำ

ข้าวเป็นทรัพยากรที่มีส่วนสำคัญในการกำหนดพฤติกรรมและแบบแผนวัฒนธรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะในฐานะที่เป็นพืชอาหารให้คนได้บริโภคมาช้านาน ส่งผลต่อเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมข้าว โดยทุกภูมิภาคของไทยมีข้าวพื้นเมืองหลากหลายพันธุ์ที่มีคุณลักษณะในด้านกายภาพและเคมีแตกต่างกันไป นอกจากนี้รำข้าวยังเป็นแหล่งร่วมของสารพฤษเคมีและสารต้านออกซิเดชันมากมาย เช่น สารออริซานอล (oryzanols) วิตามินอี (tocopherols) ไฟโตสเตอรอล (phytosterols) โตโคไทอินอล (tocotrienols) สควอลีน (squalene) โพลีโคซานอล (polycosanols) กรดไฟติค (phytic acid) กรดเฟอราลิค (ferulic acid) อินโนซิทอล (inositol) เฮกซะฟอสเฟส (hexaphosphate) (Klongpityapong and Jaricksakulchai, 2019) สีของข้าวและรำข้าวยังส่งผลต่อคุณภาพ โดยเฉพาะรำข้าว ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อบางๆ ห่อหุ้มเมล็ดข้าว แบ่งเป็น 3 เฉดสี ได้แก่ สีน้ำตาล, สีแดงและสีม่วง-ดำ รำข้าวที่มีสีแดงมีรงควัตถุสีแดงอิฐ (cyaniding-3-glucoside) รำข้าวที่มีสีม่วง-ดำประกอบด้วยรงควัตถุสีแดง-น้ำเงิน (delphinidin-3-glucoside) ปนกันในอัตราส่วนต่างๆ (อภิชาติ, 2563) รงควัตถุในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่ คือ แอนโธไซยานิน (anthocyanin) เนื่องจากมีสีแดงเข้ม ม่วงจนถึงม่วงเข้ม (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2562) โดย Anthocyanin จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบ Flavonoid และ Phenolic compounds มีคุณสมบัติเป็นสารพฤกษเคมี (Phytochemicals) (พัชรี, 2559) สารรงควัตถุเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันไม่ให้แสง UV ผ่านเข้ามาทำลายสารอาหารที่เป็นประโยชน์ ทำให้เมล็ดข้าวสีมีสารอาหารสะสมอยู่มากกว่าและยาวนานกว่าในข้าวที่ไม่มีสี ข้าวสีจึงจัดเป็นข้าวที่มีองค์ประกอบอื่นๆ ที่สำคัญและเป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ มีสมบัติเป็นโภชนเภสัช (nutraceutical) ในการต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) รงควัตถุที่สกัดได้จากข้าวที่มีสีม่วงดำมีคุณสมบัติในการกำจัดอนุมูลอิสระในกลุ่ม superoxide radical และกลุ่ม hydroxyl radical และมีกิจกรรมของการต่อต้านอนุมูลอิสระสูงใกล้เคียงกับผลบลูเบอรี่ (วาริช, 2549) อภิชาติ (2563) พบว่า ข้าวไรซ์เบอรี่ มีการสะสมเบต้าแคโรทีนและลูทีนอยู่ในปริมาณ 185 และ 224 mg/100g ซึ่งไม่พบในข้าวขาวทั่วไป และพบวิตามิน B1, B2, B3 และ B9 (Folate) ในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะในกลุ่ม Folate รำข้าวสีม่วงเข้มสะสม folate ในปริมาณ 48 mg/100g และข้าวสีมีปริมาณ protein สูงกว่าข้าวขาว ข้าวสีส่วนใหญ่เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีการปลูกในทุกภูมิภาคของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2560) พบว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวพื้นเมือง 2.18 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.07 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 70.88 ล้านไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกข้าวพื้นเมือง 1.02 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 50% ของพื้นที่ปลูกข้าวพื้นเมืองทั่วประเทศ และจากสถานการณ์การปลูกข้าวพื้นเมืองที่ลดลง อาจทำให้มีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของข้าวพันธุ์พื้นเมืองในอนาคต (อิศฎาพร และ สุกัลยา, 2564) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระของข้าวกล้องและแป้งข้าวพันธุ์พื้นเมือง เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ และการประยุกต์ใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น พัฒนา

เป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์กึ่งอาหารและไม่ใช่อาหาร สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวพันธุ์พื้นเมือง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยจุดประกายและสร้างกระแสนิยมบริโภคข้าวพันธุ์พื้นเมืองให้เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้คนในสังคมไทยเกิดความตระหนักในคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่มากมายและพัฒนาองค์ความรู้จากสิ่งใกล้ตัวให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมืองจำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเจ้าพันธุ์มะลิแดงโกเมน ข้าวเจ้าพันธุ์ทับทิมชุมแพ ข้าวเจ้าพันธุ์เมล็ดฝ้าย ข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวดำม้ง จากเขตส่งเสริมโครงการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์จากข้าวพื้นเมือง มหาวิทยาลัยขอนแก่น และข้าวเจ้าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวแดงสายพันธุ์ก่ำเฟือง ข้าวเหนียวแดงสายพันธุ์ PSRR จากพื้นที่ปลูกขยายพันธุ์โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ในฤดูกาลปลูก ปี พ.ศ. 2563 ซึ่งมีการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาในสภาพใกล้เคียงกัน โดยศึกษาคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (AOAC., 2000) ศึกษาคุณภาพการหุงต้มเมล็ดข้าวกล้อง ได้แก่ การยืดตัวของเมล็ดข้าว โดยการสุ่มเมล็ดข้าวกล้องเต็มเมล็ด 20 เมล็ด วัดความยาว 10 เมล็ดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อเมล็ด นำข้าว 20 เมล็ดใส่ตะแกรงแช่น้ำเย็น 30 นาที นำข้าวในตะแกรงลงต้มในน้ำเดือด 10 นาที ยกตะแกรงจากน้ำเดือดจุ่มในน้ำเย็น เทข้าวลงในจานพลาสติกที่มีฝาปิด เลือกเมล็ดที่ตรง 10 เมล็ด วัดความยาว แล้วคำนวณอัตราการยืดตัวของข้าวสุก (อรอนงค์, 2547) และการขยายปริมาณและการอุ้มน้ำของข้าวสุก โดยการหุงข้าวในภาชนะที่วัดปริมาตรหรือความสูงของข้าวสารที่คงที่เท่ากัน ด้วยปริมาณน้ำและเวลาในการหุงที่คงที่ในอ่างน้ำเดือด เมื่อข้าวสุกวัดปริมาตรหรือส่วนสูงที่ข้าวขยายตัวขึ้น เปรียบเทียบอัตราการขยายปริมาตร (อรอนงค์, 2547) การอุ้มน้ำของข้าวสุก โดยการชั่งน้ำหนักคงที่ของข้าวสาร คำนวณผลต่างของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของข้าวสุกกับข้าวสาร และวิเคราะห์หาโปรไฟล์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA) ด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA 500 ยี่ห้อ LLOYD โดยการเรียงเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ที่หุงสุกแล้วจำนวน 10 เมล็ด ใช้หัววัด Cylinder 35 mm ความเร็ว 1.0 m/s ระยะทางการกดร้อยละ 30 (Chen et al., 2018) จากนั้นศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของแป้งข้าว โดยการนำข้าวกล้องพื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์ บดละเอียดด้วยเครื่องบด จนกระทั่งได้แป้งข้าวกล้องที่มีอนุภาคขนาดเล็ก แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh เก็บตัวอย่างในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ที่อุณหภูมิ 14°C วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L*, C* และ °h ด้วยเครื่องวัดสี Color Flex โดยค่า L* คือค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว) ค่า C* (ความเข้มของสี) และค่า h (มุมของสี) มีหน่วยเป็นองศา โดย 0°=สีแดง, 90°= สีเหลือง, 180°= สีเขียว, 270°= สีน้ำเงิน ร้อยละการละลายและกำลังการพองตัว โดยใช้การให้ความร้อนและเหวี่ยงแยก (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543) การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนในการเกิดเจลทิไนเซชั่น ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimiter (DSC) และพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด ด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Ripid Visco Analyzer; RVA) จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (AOAC., 2000) ปริมาณแอมิโลส (มกษ. 4004-2555) วิเคราะห์วิตามิน ได้แก่ วิตามินบี 1 (Thiamin), วิตามินบี 3 (Niacin) และวิตามินอี (AOAC., 2000) วิเคราะห์แร่ธาตุ ได้แก่ ธาตุเหล็ก ซีลีเนียม และสังกะสี (AOAC., 2000) ทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ด้วยวิธีการต้านการเปลี่ยนแปลงของสาร DPPH° (2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl hydrate) ดัดแปลงจากวิธีของ Karakaya et al. (2001) วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Reagent (อรุษา และอรัญญา, 2550) และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี pH differential ดัดแปลงจากวิธีของ Shafazila et al. (2010) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้าวกล้องพื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์ มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 9.01-10.41 **(Table 1)** ซึ่งความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาของข้าวหรือบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษา โดยข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียได้เร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ระดับความชื้นทั่วไปของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม คือ 13% ซึ่งจะเก็บรักษาได้ดีภายในเวลา 6 เดือน (ชาลิสา

และคณะ, 2558) และเมื่อนำข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์ไปหุงต้ม พบว่าเมล็ดข้าวทั้ง 7 พันธุ์มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 1.11-1.15 อัตราการขยายปริมาตรของข้าวทั้ง 7 พันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวที่มีอัตราการขยายปริมาณสูงสุดได้แก่ เมล็ดฝ้าย (2.01) และไรซ์เบอร์รี่ (2.00) โดยข้าวเหนียวดำม้งมีอัตราการอุ้มน้ำต่ำที่สุด คือ 1.29 ในขณะที่พันธุ์อื่นมีอัตราการอุ้มน้ำใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.41-1.42 **(Table 1)** ซึ่งระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้านโดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าวซึ่งจะช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายมากขึ้น และหากข้าวสุกไม่เหนียวติดกัน การขยายตัวของข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งไม่อัดแน่น (อรอนงค์, 2547)

Table 1 Moisture content and cooking quality of 7 indigenous varieties brown rice

Rice varieties	Moisture content (%)	Grain elongation^{ns}	Volume expantion	Water uptake of cooked rice
Mali Dang Gomain	9.88 ± 0.03^{d}	1.13 ± 0.02	1.91 ± 0.09^{b}	1.42 ± 0.02^{a}
Tabtim Chumphae	9.01 ± 0.01^{g}	1.15 ± 0.02	1.94 ± 0.04^{ab}	1.42 ± 0.01^{a}
Maled Fai	9.95 ± 0.03^{c}	1.11 ± 0.05	2.01 ± 0.08^{a}	1.42 ± 0.00^{a}
Rice Berry	10.41 ± 0.03^{a}	1.13 ± 0.01	2.00 ± 0.06^{a}	1.42 ± 0.01^{a}
Kam Feuang	9.68 ± 0.06^{e}	1.12 ± 0.03	1.94 ± 0.06^{ab}	1.41 ± 0.01^{a}
Niew Dam Hmong	9.45 ± 0.03^{f}	1.14 ± 0.02	1.89 ± 0.08^{b}	1.29 ± 0.15^{b}
PSRR	10.19 ± 0.03^{b}	1.12 ± 0.02	1.88 ± 0.07^{b}	1.42 ± 0.02^{a}

$^{a-f}$ Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns} The average of each data set vertically not significantly different ($p > 0.05$) Means value after ± are standard deviation

Means value after ± are standard deviation

Table 2 Physical quality and texture of cooked 7 indigenous varieties brown rice

Rice varieties	Hardness (g)	Adhesiveness (gsec)	Cohesiveness^{ns} (-)	Gumminess (g)	Chewiness (g)	Springiness^{ns} (-)
Mali Dang Gomain	528.48 ± 9.01^{c}	-4.81 ± 5.15^{a}	0.75 ± 0.04	392.62 ± 6.52^{cd}	337.05 ± 6.09^{cd}	0.86 ± 0.07
Tabtim Chumphae	618.27 ± 9.37^{b}	-8.03 ± 4.46^{ab}	0.72 ± 0.04	443.83 ± 8.74^{bc}	385.98 ± 9.30^{bc}	0.87 ± 0.05
Maled Fai	700.63 ± 9.13^{a}	-3.09 ± 2.22^{a}	0.77 ± 0.02	535.71 ± 8.70^{a}	475.21 ± 9.49^{a}	0.88 ± 0.06
Rice Berry	620.52 ± 6.01^{b}	-2.00 ± 1.75^{a}	0.74 ± 0.05	458.04 ± 9.32^{b}	397.64 ± 9.80^{b}	0.86 ± 0.06
Kam Feuang	277.77 ± 7.91^{d}	-28.32 ± 2.60^{d}	0.74 ± 0.05	204.19 ± 6.30^{e}	178.12 ± 3.54^{e}	0.87 ± 0.05
Niew Dam Hmong	523.57 ± 6.17^{c}	-13.73 ± 7.37^{bc}	0.70 ± 0.05	366.84 ± 9.29^{d}	309.46 ± 9.19^{d}	0.83 ± 0.09
PSRR	260.76 ± 8.89^{d}	-19.19 ± 5.83^{c}	0.74 ± 0.04	191.48 ± 7.36^{e}	162.45 ± 5.37^{e}	0.84 ± 0.08

$^{a-e}$ Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns} The average of each data set vertically not significantly different ($p > 0.05$) Means value after ± are standard deviation

Means value after ± are standard deviation

จาก **Table 2** ค่าคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุก โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) พบว่า ค่า hardness ของข้าวหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ค่า hardness หรือความแข็ง หมายถึงแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างเกิดการเสียรูป ถ้าผลิตภัณฑ์มีค่า hardness สูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงของเจลสูง (ศิมาภรณ์, 2546) ข้าวหุงสุกที่มีค่าความแข็งมากแสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเมล็ดข้าว (Chen et al., 2018) โดยค่า hardness ของข้าวกล้องหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 260.76-700.63 g โดยข้าวกล้องข้าวเหนียว (ก่ำเฟือง, เหนียวดำม้ง และPSRR) มีค่า hardness เท่ากับ 277.77, 523.57 และ 260.76 g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องข้าวเจ้า (มะลิแดงโกเมน, ทับทิมชุมแพ, เมล็ดฝ้าย และไรซ์เบอร์รี่) เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นแอมิโลเพกตินจะสามารถพองตัวและยืดหยุ่นได้ดีกว่าโครงสร้างแอมิโลสที่เป็นเส้นตรง โดยข้าวกล้องหุงสุกพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีค่าความแข็งสูงสุด 700.63 g เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลส สูงข้าวที่หุงได้จึงมีลักษณะแข็งและร่วน ส่วนข้าวเหนียวก่ำเฟือง และ PSRR มีค่าความแข็งต่ำที่สุด เท่ากับ 277.77 g และ 260.76 g ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวที่หุงต้มได้จะมีลักษณะนุ่มและเหนียว (กรมการข้าว, 2562)

เมื่อพิจารณาค่า adhesiveness หรือการเกาะติดผิว ลักษณะของตัวอย่างที่มีความเหนอะ พบว่า ค่า adhesiveness ของข้าวกล้องหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง (-28.32)-(-2.00) g·sec ส่วนค่า cohesiveness ซึ่งเป็นลักษณะการเกาะตัวรวมกันภายในอาหาร การบดเคี้ยวตัวอย่างต้องใช้พลังงานสูงในการทำลายให้ตัวอย่างแตกหักแยกออกจากกัน (ธงชัย , 2550) พบว่า ค่า cohesiveness ของข้าวกล้องหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 0.70-0.77 และเมื่อพิจารณาค่า gumminess คือคุณลักษณะกาวยางหรือแป้งเปียกที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งขณะบดเคี้ยวว่ามากน้อยเพียงใด พบว่า ค่า gumminess ของข้าวกล้องหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 191.48-535.71 g โดยข้าวกล้องพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีค่า gumminess สูงที่สุด นอกจากนี้พบว่าค่า chewiness ซึ่งเป็นคุณสมบัติในการต้านทานการบดเคี้ยวเพื่อให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กลง พบว่า ค่า chewiness ของข้าวกล้องหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 162.45-475.21 g โดยข้าวกล้องพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีค่า chewiness สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่า hardness และจากการประเมินค่า springiness ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยืดหยุ่นสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้มากน้อยเพียงใด (ธงชัย, 2550) พบว่า ค่า springiness ของข้าวหุงสุกทั้ง 7 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.83-0.88 ซึ่งคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำ ระยะเวลา และอุณหภูมิ เป็นต้น (Sangpimpa and Utama-ang, 2018)

Table 3 Physical quality of 7 indigenous varieties brown rice flour

Rice flour varieties	L*	C*	h°	Solubility (%)	Swelling power (g/g)
Mali Dang Gomain	76.38 ± 0.02^{c}	15.90 ± 0.06^{a}	59.33 ± 0.02^{c}	6.03 ± 0.11^{c}	4.61 ± 0.58^{a}
Tabtim Chumphae	78.98 ± 0.13^{a}	13.76 ± 0.11^{b}	63.02 ± 0.04^{b}	5.85 ± 0.53^{c}	4.87 ± 0.75^{a}
Maled Fai	59.64 ± 0.07^{f}	4.82 ± 0.04^{f}	12.23 ± 0.15^{g}	4.17 ± 0.21^{d}	4.96 ± 0.68^{a}
Rice Berry	64.15 ± 0.17^{e}	5.90 ± 0.07^{d}	39.08 ± 0.13^{f}	6.31 ± 0.28^{c}	4.96 ± 0.53^{a}
Kam Feuang	73.43 ± 0.17^{d}	5.79 ± 0.01^{d}	55.59 ± 0.01^{e}	10.30 ± 0.50^{b}	3.58 ± 0.14^{b}
Niew Dam Hmong	53.09 ± 0.06^{g}	5.07 ± 0.02^{e}	347.49 ± 0.14^{a}	14.38 ± 0.27^{a}	2.51 ± 0.52^{c}
PSRR	77.61 ± 0.07^{b}	13.45 ± 0.09^{c}	58.13 ± 0.03^{d}	10.35 ± 0.33^{b}	3.44 ± 0.27^{b}

$^{a-g}$ Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

Means value after ± are standard deviation

จาก **Table 3** คุณภาพทางกายภาพของแป้งข้าวกล้อง พบว่าแป้งข้าวกล้อง ทั้ง 7 พันธุ์ มีค่า L* (ความสว่าง) อยู่ในช่วง 53.09-78.98, ค่า C* (ความเข้มสี) อยู่ในช่วง 4.82-15.90 และค่า h° (มุมของสี) อยู่ในช่วงสีแดงถึงสีเหลือง คือ 12.23-63.02 ในขณะที่ข้าวเหนียวดำม้ง มีค่า h° อยู่ในช่วงสีน้ำเงินถึงสีแดง คือ 347.49 มีสีม่วง และเมื่อวิเคราะห์ร้อยละการละลายและกำลังการพองตัวแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์ **(Table 3)** โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C และเหวี่ยงแยกด้วยความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที พบว่าความสามารถในการละลายและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยความสามารถในการละลายของแป้งข้าวเจ้า (มะลิแดงโกเมน, ทับทิมชุมแพ, เมล็ดฝ้าย และไรซ์เบอร์รี่) อยู่ในช่วง 4.17-6.31 ซึ่งต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว (กำ่เฟือง, เหนียวดำม้ง และPSRR) ที่อยู่ในช่วง (10.30-14.38) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว ซึ่งแอมิโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงจึงทำให้ความสามารถในการละลายของแป้งต่ำลง (Singh et al., 2006) ในขณะที่กำลังการพองตัวของแป้งข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์ มีค่าไม่สูงมากนักอยู่ในช่วง 2.51-4.96 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไขมันที่อยู่ในแป้งข้าวกล้องจับตัวแอมิโลส ซึ่งโครงสร้างของ amylose-lipid complex ที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลให้การพองตัวของแป้งลดลง (Uthumporn et al., 2016)

Table 4 Gelatinization onset temperature (T_o), gelatinization peak temperature (T_p), gelatinization completion temperature (T_c) and enthalpy of gelatinization (ΔH) of 7 indigenous varieties brown rice flour

Rice varieties	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)
Mali Dang Gomain	65.55 ± 0.30^{c}	71.57 ± 0.08^{cd}	81.70 ± 1.11^{c}	7.56 ± 0.06^{bc}
Tabtim Chumphae	76.97 ± 0.93^{a}	81.73 ± 0.68^{a}	93.13 ± 0.81^{a}	7.54 ± 0.38^{bc}
Maled Fai	72.57 ± 1.17^{b}	77.79 ± 0.91^{b}	87.02 ± 3.14^{b}	7.14 ± 0.01^{c}
Rice Berry	66.00 ± 0.12^{c}	72.74 ± 0.36^{c}	86.95 ± 0.10^{b}	7.58 ± 0.06^{bc}
Kam Feuang	64.32 ± 1.45^{cd}	71.35 ± 0.71^{d}	82.71 ± 1.71^{c}	7.85 ± 0.21^{ab}
Niew Dam Hmong	62.43 ± 1.63^{d}	68.63 ± 0.55^{f}	79.96 ± 0.15^{c}	8.16 ± 0.01^{a}
PSRR	62.90 ± 0.46^{d}	69.99 ± 0.30^{e}	82.28 ± 1.32^{c}	8.00 ± 0.30^{ab}

[a-f] Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

Means value after ± are standard deviation

จาก **Table 4** เมื่อพิจารณาคุณสมบัติในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimiter, DSC การเจลาติไนเซชันเกิดจากแป้งเมื่อได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและพองตัวร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พบว่า ค่า ΔH ของแป้งข้าวทั้ง 7 พันธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 7.14-8.16 โดยแป้งข้าวเหนียว (กำ่เฟือง, เหนียวดำม้งและ PSRR) มีแนวโน้มค่า **ΔH** สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (มะลิแดงโกเมน, ทับทิมชุมแพ เมล็ดฝ้าย และไรซ์เบอร์รี่) ซึ่งเป็นผลจากสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงกว่าจะใช้พลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่า เนื่องจากมีปริมาณของส่วนที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (Crystalline) สูงกว่า (Fredriksson, 1998) คุณสมบัติด้านความหนืดเป็นคุณภาพทางกายภาพที่มีความสำคัญ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Ripid Visco Analyzer; RVA พบว่า แป้งข้าวกล้องพื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดอยู่ในช่วง 59.70-68.70 RVU ดังแสดงใน **Figure1** และ **Table 5** โดยอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) มีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าว ซึ่งแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดจะมีค่าต่ำด้วย ในข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ แอมิโลเพกตินจะมีบทบาทมากกว่าแอมิโลส จึงจะส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ง่ายขึ้น (Sompong et al., 2011) อีกทั้งยังพบว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมี

ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ค่าการแตกตัว (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (setback from trough) ที่ต่ำด้วย แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของเม็ดแป้งที่ต่ำ นอกจากนั้นปริมาณโปรตีนที่มีในแป้งยังส่งผลต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งอีกด้วย (Regaee and Abdel-Aal, 2006) และในระหว่างการให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 95°C พบว่า อุณหภูมิที่สูงและแรงกวน ส่งผลต่อเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิด amylose leaching แล้วจัดเรียงตัวกันใหม่ทำให้ความหนืดของแป้งลดลงส่งผลทำให้ค่าการแตกตัว (breakdown) เพิ่มขึ้น จากการศึกษา พบว่า แป้งข้าวกล้องเหนียวดำม้งมีค่าการแตกตัวต่ำสุด เท่ากับ 30.26 RVU **(Table 5)** แสดงให้เห็นถึงความคงตัวของแป้งและสามารถทนต่อความร้อนและแรงกวนได้ดี ซึ่งจะเหมาะกับกระบวนการแปรรูปอาหารที่ต้องใช้ความร้อนสูงและแรงกวน (Regaee and Abdel-Aal, 2006) ส่วนค่าการคืนตัว (setback from trough) เป็นค่าการคืนตัวกลับเมื่อเทียบกับความหนืดต่ำสุด โดยค่าการคืนตัวนี้มีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความคงตัวของเจลและความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Newport Scientific, 1995) พบว่า การคืนตัวกลับของแป้งข้าวพื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยแป้งข้าวเหนียวดำม้งมีค่าการคืนตัวกลับต่ำที่สุด (8.78 cP) ในขณะที่แป้งข้าวทับทิมชุมแพมีค่าการคืนตัวกลับสูงที่สุด (68.71 cP) โดยค่าคืนตัวกลับของแป้งที่สูงแสดงให้เห็นว่าแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่หลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ชหลังการพองตัวสามารถกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่ได้ดี หรือจะมีการรีโทรเกรเดชันได้ดีนั่นเอง (Sowbhagya and Bhattacharya, 2001) แป้งที่มีค่าการคืนตัวสูงหรือมีค่าเป็นบวก ผลิตภัณฑ์จากแป้งนั้นจะมีความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีและมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งมาก (He et al., 2021) ซึ่งคุณสมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง อุณหภูมิในการเก็บปริมาณและขนาดของแอมิโลส โครงสร้างของแอมิโลเพคติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในสตาร์ช โดยปริมาณและขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญมากต่อการคืนตัวของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิเพคตินสูง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

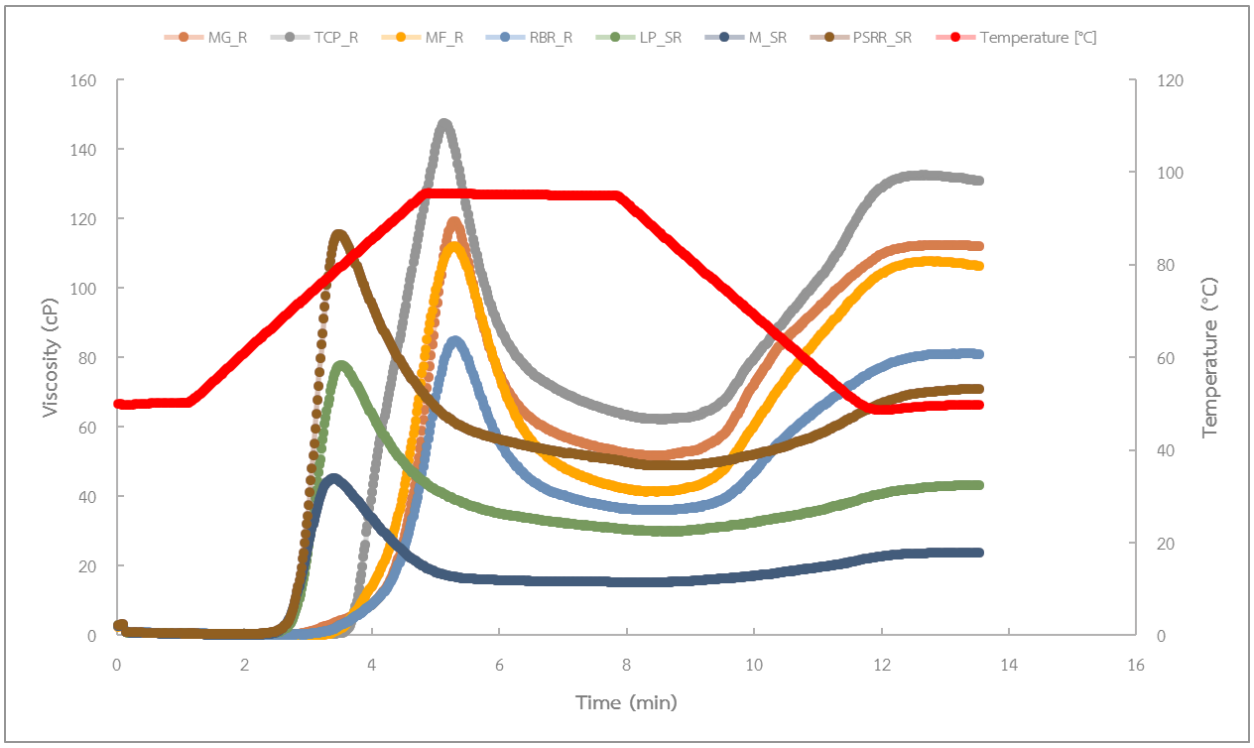

Figure 1 Changes in viscosity of 7 indigenous varieties brown rice flour

Table 5 Physical quality of viscosity changes of 7 indigenous varieties brown rice flour

Rice varieties	PT (°C)	PV (cP)	TV (cP)	BD (cP)	FV (cP)	SB (cP)
Mali Dang Gomain	67.12 ±2.19^{ab}	119.37 ± 2.40^{b}	51.56 ± 0.56^{b}	67.81 ± 1.84^{b}	112.07 ±0.67^{b}	60.52 ± 0.10^{c}
Tabtim Chumphae	64.37 ±9.26^{ab}	147.47 ± 5.33^{a}	62.07 ± 1.33^{a}	85.39 ± 4.00^{a}	130.80 ±2.55^{a}	68.71 ± 1.25^{a}
Maled Fai	68.70 ± 5.45^{a}	112.07 ± 2.63^{c}	41.33 ± 0.29^{d}	70.74 ± 2.35^{b}	106.27 ±1.63^{c}	64.96 ± 1.42^{b}
Rice Berry	67.68 ±1.26^{ab}	84.94 ± 0.38^{d}	35.89 ± 0.19^{e}	49.05 ± 0.21^{c}	81.04 ±0.15^{d}	45.15 ± 0.22^{d}
Kam Feuang	60.14 ± 1.24^{b}	77.85 ± 4.24^{e}	29.82 ± 1.43^{f}	48.03 ± 2.82^{c}	43.20 ± 1.94^{f}	13.37 ± 0.54^{f}
Niew Dam Hmong	59.70 ± 3.02^{b}	45.31 ± 0.65^{f}	15.05 ± 0.36^{g}	30.26 ± 0.29^{e}	23.83 0.46^{g}	8.78 ± 0.21^{g}
PSRR	60.27 1.50^{ab}	115.70 ±1.97^{bc}	48.68 ± 0.65^{c}	67.02 ± 1.39^{b}	70.82 ±0.84^{e}	22.15 ± 0.33^{e}

$^{a-g}$ Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

Means value after ± are standard deviation

PT= pasting temperature, PV= peak viscosity, TV= trough viscosity, BD= breakdown, FV= final viscosity, SB=set back from trough

Table 6 Amylose content and chemical composition of 7 indigenous varieties brown rice

Rice varieties	Amylose (%)	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)	Fiber ^{ns} (%)	CHO ^{ns} (%)
Mali Dang Gomain	16.44 ± 0.49^{b}	9.47 ± 0.03^{a}	7.82 ± 0.31^{a}	2.90 ± 0.38^{bc}	1.28 ± 0.03^{c}	1.81 ± 0.56	76.72 ± 3.09
Tabtim Chumphae	13.06 ± 0.14^{c}	8.47 ± 0.02^{c}	8.02 ± 0.10^{a}	2.50 ± 0.22^{c}	1.50 ± 0.05^{a}	1.83 ± 0.50	77.68 ± 2.10
Maled Fai	22.24 ± 0.60^{a}	8.13 ± 0.03^{e}	4.57 ± 1.05^{c}	2.63 ± 0.19^{bc}	1.37 ± 0.08^{b}	1.51 ± 0.15	81.79 ± 3.15
Rice Berry	16.09 ± 0.64^{b}	8.45 ± 0.01^{c}	8.28 ± 0.01^{a}	3.04 ± 0.16^{b}	1.43 ± 0.04^{ab}	1.64 ± 0.00	77.16 ± 3.41
Kam Feuang	7.27 ± 0.35^{d}	8.33 ± 0.02^{d}	4.21 ± 0.31^{c}	3.05 ± 0.16^{b}	1.45 ± 0.06^{ab}	1.58 ± 0.21	81.38 ± 2.61
Niew Dam Hmong	6.13 ± 0.36^{e}	8.58 ± 0.00^{b}	6.23 ± 0.59^{b}	3.45 ± 0.12^{a}	1.08 ± 0.04^{e}	1.49 ± 0.56	79.17 ± 4.09
PSRR	7.62 ± 0.38^{d}	8.32 ± 0.03^{d}	7.37 ± 0.10^{a}	2.82 ± 0.31^{bc}	1.17 ± 0.04^{d}	1.57 ± 0.22	78.75 ± 2.80

$^{a-d}$ Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns} The average of each data set vertically not significantly different ($p > 0.05$)

Means value after ± are standard deviation

จาก **Table 6** องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวกล้องพื้นเมือง 7 พันธุ์ พบว่า มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีความชื้นอยู่ในช่วง 8.13-9.74% แป้งข้าวกล้องพันธุ์มะลิแดงโกเมนมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด 9.74% และแป้งข้าวกล้องพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีปริมาณความชื้นต่ำสุด 8.13% ปริมาณโปรตีนแสดงถึงคุณภาพทางโภชนาการของข้าว จากการศึกษา พบว่า แป้งข้าวกล้องพื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ ทับทิมชุมแพ มะลิแดงโกเมน และ PSRR มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง (มากกว่า 7%) เท่ากับ 8.28%, 8.02%, 7.82% และ 7.37% ตามลำดับ ในขณะที่แป้งข้าวกล้องพันธุ์เมล็ดฝ้ายและก่ำเฟือง มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด เท่ากับ 4.57% และ 4.21% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน พบว่า แป้งข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์มีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง อยู่ในช่วง 2.50-3.45% โดยข้าวเหนียวดำม้ง มีปริมาณไขมันสูงที่สุด 3.45% โดยปกติข้าวกล้องจะมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 1.90-2.40% (Gunaratne et al., 2011) ข้าวแต่ละชนิดมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก ปริมาณเถ้าแป้งข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 1.08-1.50% โดยแป้งข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ ก่ำเฟือง และไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด เท่ากับ 1.50%, 1.45% และ 1.43% ตามลำดับ ส่วนแป้งข้าวเหนียวดำม้งมีปริมาณเถ้า

น้อยที่สุด1.08% ส่วนปริมาณเส้นใยอาหารและคาร์โบไฮเดรตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีปริมาณเส้นใยอาหาร (crude fiber) ในช่วง 1.49-1.83% และคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูงโดยอยู่ในช่วง 76.72-81.79% ซึ่งถือเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดี

และเมื่อพิจารณาปริมาณแอมิโลส พบว่า กลุ่มข้าวเจ้ากล้องพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีปริมาณแอมิโลสสูงสุด 22.24% รองลงมา คือ มะลิแดงโกเมน ไรซ์เบอร์รี่ และทับทิมชุมแพ มีแอมิโลส 16.44%, 16.09% และ13.06% ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวกล้อง พบว่า PSRR และก่ำเฟือง มีแอมิโลสสูงสุด 7.62% และ7.27% ตามลำดับ ซึ่งข้าวที่มีแอมิโลสสูงระหว่างการหุงต้มจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ ปริมาณแอมิโลสที่สูงจะทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวลดลงหรือมีความร่วนมากขึ้น ส่วนข้าวเหนียวดำม้งมีปริมาณแอมิโลสต่ำสุด 6.13% ข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำเมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะมีความเหนียว ส่วนข้าวเจ้าเมื่อหุงต้มจะมีลักษณะแตกต่างกันตามปริมาณแอมิโลสที่มี (กรมการข้าว, 2562) ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้ข้าวเจ้าพันธุ์เมล็ดฝ้ายจัดอยู่ในกลุ่มของข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง (20-25%) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะค่อนข้างร่วน ส่วนข้าวเจ้าพันธุ์มะลิแดงโกเมน ทับทิมชุมแพ และไรซ์เบอร์รี่ จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (10-19%) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะค่อนข้างนุ่มเหนียว

Table 7 Vitamin and mineral contents of 7 indigenous varieties brown rice

Rice varieties	Vitamin B1 (mg/100g)	Vitamin B3 (mg/100g)	Vitamin E (mg/100g)	Iron (Fe) (mg/kg)	Selenium (Se) (mg/kg)	Zinc (Zn) (mg/kg)
Mali Dang Gomain	0.1084	0.0673	0.09	8.80	0.065	27.22
Tabtim Chumphae	0.1425	0.0904	0.12	13.15	0.038	26.95
Maled Fai	0.1883	0.0442	0.09	14.47	0.034	31.87
Rice Berry	0.1989	ND	0.08	18.04	0.029	25.79
Kam Feuang	0.1665	0.1780	ND	12.68	0.026	26.75
Niew Dam Hmong	0.1707	0.1773	0.13	18.82	0.004	24.62
PSRR	0.1004	0.0647	0.10	13.95	0.113	29.77

จาก **Table 7** แสดงคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณวิตามินบี 1 สูงที่สุด คือ 0.1989 mg/100g ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์ PSRR มีวิตามินบี 1 ต่ำที่สุดคือ 0.1004 mg/100g และมีปริมาณ Niacin หรือวิตามินบี 3 อยู่ในช่วง 0.0442-0.1780 mg/100g โดยข้าวเหนียวก่ำเฟืองมีปริมาณวิตามินบี 3 สูงที่สุด (0.1780 mg/100g) รองลงมาคือ ข้าวเหนียวดำม้ง (0.1773 mg/100g) ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ตรวจไม่พบปริมาณวิตามินบี 3 และมีปริมาณวิตามินอีอยู่ในช่วง 0.08-0.13 mg/100g และเมื่อพิจารณาธาตุเหล็ก (Fe) ซีลีเนียม (Se) และสังกะสี (Zn) จัดเป็นแร่ธาตุประเภท trace minerals ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยกว่าเพียงวันละ 100 mg แต่มีความจำเป็นสำหรับการทำงานของร่างกาย พบว่า ธาตุเหล็กในข้าวทั้ง 7 พันธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 8.80-18.82 mg/kg โดยข้าวเหนียวดำม้งมีปริมาณธาตุเหล็กสูงที่สุด (18.82 mg/kg) และข้าวเจ้าพันธุ์มะลิแดงโกเมนมีธาตุเหล็กต่ำที่สุด (8.80 mg/kg) และพบว่าข้าวทั้ง 7 พันธุ์มีปริมาณซีลีเนียมอยู่ในช่วง 0.004-0.113 mg/kg โดยข้าวเหนียว PSRR พบซีลีเนียมในปริมาณที่สูงที่สุด และมีปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วง 24.62-31.87 mg/kg ซึ่งพบในข้าวไรซ์เบอร์รี่สูงที่สุด

Table 8 Bioactive compounds of 7 indigenous varieties brown rice

Rice varieties	Antioxidant activity (mg Ascorbic acid/100ml)	Total Phenolic acid (mg Gallic acid/100ml)	Total Anthocyanin (mg Cyanidin-3-glucoside/100ml)
Mali Dang Gomain	895.99 ± 15.61^{b}	520.88 ± 8.94^{b}	35.07 ± 6.53^{de}
Tabtim Chumphae	905.83 ± 12.24^{b}	530.41 ± 6.15^{b}	67.72 ± 5.26^{cd}
Maled Fai	572.12 ± 9.24^{d}	458.64 ± 7.25^{c}	171.74 ± 8.04^{b}
Rice Berry	429.70 ± 6.42^{e}	300.14 ± 7.15^{d}	91.08 ± 7.10^{c}
Kam Feuang	389.17 ± 5.89^{e}	242.99 ± 4.60^{e}	48.83 ± 7.85^{d}
Niew Dam Hmong	1311.51 ± 17.90^{a}	1073.61 ± 17.79^{a}	742.74 ± 15.16^{a}
PSRR	791.06 ± 14.66^{c}	470.21 ± 9.75^{c}	1.25 ± 0.29^{e}

$^{a-d}$ Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

Means value after ± are standard deviation

จาก **Table 8** แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ด้วยวิธีการต้านการเปลี่ยนแปลงของสาร DPPH° (2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl hydrate) พบว่า แป้งข้าวกล้องพื้นเมืองทั้ง 7 พันธุ์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวเหนียวดำม้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คิดเป็น 1311.51 mg Ascorbic acid/100 ml รองลงมา คือ ข้าวเจ้าพันธุ์ทับทิมชุมแพและมะลิแดงโกเมน 905.83 และ 895.99 mg Ascorbic acid/100 ml ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเจ้ากล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ก่ำเฟือง มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด เท่ากับ 429.70 และ 389.17 mg Ascorbic acid/100 ml ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Reagent พบว่า ข้าวเหนียวดำม้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 1073.61 mg Gallic acid/100 ml รองลงมา คือ ข้าวเจ้าพันธุ์ทับทิมชุมแพและมะลิแดงโกเมน 520.88 และ 530.41 mg Gallic acid/100 ml ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้อง ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากสารประกอบ ฟีนอลิกทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีทั้งในระบบอาหารและร่างกาย (Robards et al., 1999) โดยสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงขึ้นด้วย (อธิยา, 2550) ส่วนปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยวิธี pH differential พบว่า สารสกัดจากแป้งข้าวกล้อง ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 511 นาโนเมตร พบว่า ข้าวเหนียวดำม้ง มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด 742.74 mg Cyanidin-3-glucoside/100 ml รองลงมาคือข้าวเจ้าพันธุ์เมล็ดฝ้าย 171.74 mg Cyanidin-3-glucoside/100 ml ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์ PSRR มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดต่ำที่สุด เท่ากับ 1.25 mg Cyanidin-3-glucoside/100 ml

สรุป

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องและแป้งข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จากข้าวทั้ง 7 พันธุ์ ได้แก่ มะลิแดงโกเมน ทับทิมชุมแพ เมล็ดฝ้าย เหนียวดำม้ง ไรซ์เบอร์รี่ ก่ำเฟือง และข้าวเหนียวแดงสายพันธุ์ PSRR พบว่าคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวพันธุ์มะลิโกเมน และทับทิมชุมแพเป็นข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาว รูปร่างเรียว ในขณะที่เมล็ดข้าวพันธุ์เมล็ดฝ้ายเป็นข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาว รูปร่างปานกลาง และพบว่าข้าวพันธุ์เมล็ดฝ้ายให้อัตราการขยายปริมาณสูงสุด ส่วนพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด พบว่าแป้งข้าวกล้องทั้ง 7 พันธุ์มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดอยู่ในช่วง 59.70-68.70 RVU โดยอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) มีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าว โดยข้าวพันธุ์เมล็ดฝ้ายมีแอมิโลสสูงสุด 22.24% ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์ PSRR ก่ำเฟือง และเหนียวดำม้งมีปริมาณแอมิโลสต่ำ 7.62% และ 7.27% และ 6.13% ตามลำดับ ข้าวที่มีแอมิโลสสูงในระหว่างการหุงต้มจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือมีความร่วนมากขึ้น ส่วนข้าว

เหนียวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำเมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะมีความเหนียว นอกจากนี้แป้งข้าวกล้องเหนียวดำม้งมีค่าการแตกตัวต่ำสุด แสดงให้เห็นถึงความคงตัวของแป้งและสามารถทนต่อความร้อนและแรงกวนได้ดี เป็นแป้งที่เหมาะกับกระบวนการแปรรูปอาหารที่ต้องใช้ความร้อนสูงและแรงกวน และเกิดการคืนตัวของแป้งสุก (retro gradation) ได้ยากที่สุด นอกจากนี้ข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้แก่ ข้าวไรส์เบอร์รี่ ข้าวทับทิมชุมแพ และข้าวมะลิแดงโกเมน โดยเฉพาะข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโปรตีนและวิตามินบี1สูงสุด 8.28% และ0.1989 mg/100g ตามลำดับ ส่วนข้าวเหนียวดำม้งมีปริมาณวิตามินอีและธาตุเหล็ก (Fe) สูงสุด 0.13 mg/100 g และ 18.82 mg/kg ตามลำดับและพบว่า ข้าวเหนียวดำม้งมีปริมาณสารประกอบฟนอลิคทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด 1073.61 mg Gallic acid/100ml และ 742.74 mg Cyanidin-3-glucoside/100ml ตามลำดับ ส่งผลให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 1,311.51 mg Ascorbic acid/100 ml ดังนั้นจากข้อมูลคุณภาพทางกายภาพ เคมี คุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางพฤกษเคมีของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ ทำให้สามารถเลือกใช้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์จากข้าวที่ต้องการพัฒนาต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2562. คุณภาพเมล็ดข้าว. แหล่งข้อมูล: http://www.ricethailand.go.th. ค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2562.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชาลิสา มณีรัตน์, ขนิษฐา ชมชื่น, วันดี บูชา และศุภวัฒน์ วิสิฐศิริกุล. 2558. การศึกษาค่าความชื้นในข้าวเปลือกที่เหมาะสมกับการแปรรูปเป็นข้าวสาร. แหล่งข้อมูล: https://research.kpru.ac.th/sac/fileconference/5652018-05-04.pdf. ค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2562.

ธงชัย สุวรรณสิชณน์. 2550. การประเมินคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส ใน คณาจารย์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ .

พัชรี บุญศิริ. 2559. วิธีการตรวจปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและการตรวจปริมาณฟลาโวนอลย์รวม. *ใน* เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายและในผลิตภัณฑ์อาหาร. 6-7 มิถุนายน 2559. สมาคมเพื่อการวิจัยอนุมูลอิสระไทย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปานนท์. 2562. แอนโทไซยานิน. แหล่งข้อมูล: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1103/anthocyanin. ค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2562.

วาริช ศรีละออง. 2549. รงควัตถุในข้าวมีความสำคัญอย่างไร. แหล่งข้อมูล:http://www.charpa.co.th/articles/rice_pigments.php. ค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2559.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. มาตรฐานสินค้าเกษตร: ข้าว. มกษ. 4004-2555. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศิมาภรณ์ มีแสง. 2546. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่รสมะนาววิตามินซีสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรุษา เชาวนลิขิต และอรัญญา มิ่งเมือง. 2550. ปริมาณแอนโธไซยานินและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของมังคุดและน้ำมังคุด. วิทยาศาสตร์ มศว. 23(1): 68-78.

อธิยา เรืองจักรเพ็ชร. 2550. ผลของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในมะขามป้อมและอายุของมะกอกน้ำต่อปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และกิจกรรมของสารต้านออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis. 16th edition. The Association of official Analytical chemists. Inc., Verinia.

Chen, F., X. Li, M. Lv, and Y. Shi. 2018. Analysis of Compositions and Physical Characteristics of Different Rice from Heilongjiang China. IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering 322 042009.

Fredriksson, H., J. Silverio, R. Andersson, A.C. Eliasson, and P. Aman. 1998. The influence of amylose amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. Carbohydrate Polymers. 35(1998): 119-134.

Gunaratne, A., K. Wu, D. Li, A. Bentota, H. Corke, and Y.Z. Cai. 2013. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. Food Chemistry. 138: 1153-1161.

He, Y., F. Chen, Y. Shi, Z. Guan, N. Zhang, and O.H. Campanella. 2021. Physico-chemical properties and structure of rice cultivars grown in Heilongjiang Province of China. Food Science and Human Wellness. 10: 45-53.

Karakaya, S., S.N. EL, and A.A. TAS. 2001. Antioxidant activity of some foods containing phenolic compounds. Food Sciences and Nutrition. 52: 501–508.

Klongpityapong, P, and J. Jaricksakulchai. 2019. Development of Pharmaceutical from Rice Bran Oil for Health Promotion. EAU Heritage. 13(2): 1-16. (in Thai).

Newport Scientific. 1998. Applications Manual for the Rapid Visco Analyzer. Newport Scientific Pty. Ltd.: Warriewood, Australia.

Regaee, S., and E.-S.M. Abdel-Aal. 2006. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. Food Chemistry. 95(1): 9-18.

Robards, K., P.D. Prenzler, G. Tucker, P. Swatsitang, and W. Glover. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative process in fruit. Food Chemistry. 66(4): 401-436.

Sangpimpa, W.M., and N. Utama-ang. 2018. Chemical properties of three selected Thai rice and texture profiling of cooked Kumdoisaket rice. Food and Applied Bioscience 6(Special issue on food and applied bioscience): 117-133.

Shafazila, T. S., M. L. Pat, and K. H. Lee. 2010. Radical scavenging activities of extract and solvent-solvent partition fractions from *Dendrobium* Sonia 'Red Bom' flower. CSSR 2010. Malaysia.

Singh, N., L. Kaur, K.S. Sandhu, J. Kaur, and K. Nishinar. 2006. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. Food Hydrocolloids. 20(4): 534-542.

Sompong, R., S. Siebenhandl-Ehn, G. Linsberger-Martin, and E. Berghofer. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. Food Chemistry. 124(1): 132-140.

Sowbhagya, C. M., and K. R. Bhattacharya. 2001. Changes in Pasting Behaviour of Rice during Ageing. Cereal Science. 34: 115-124.

Uthumporn, U., N. I. Nadiah, W. Y. Koh, A. H. Zaibunnisa, and L. Azwan. 2018. Effect of microwave heating on corn flour and rice flour in water suspension. International Food Research. 23(6): 2493-2503.