

ผลของอัตราส่วนข้าวหักจากข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักจากข้าวเหนียว และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อคุณภาพของข้าวตัง

Effects of broken jasmine to glutinous rice ratio and carboxymethyl cellulose
on the quality of rice cracker

อังคณา จันทรพลพันธ์^{1*} ณัฐชา แสงใส¹ และ กนกกาญจน์ สังข์โพธิ์¹
Angkana Chantaraponpan^{1*}, Nutch Saengsai¹ and Kanokkan Sungpho¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ (พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105; KDML 105) และข้าวหักของข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6; RD6) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง นอกจากนี้ยังศึกษาผลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวตังอีกด้วย ผลิตข้าวตังจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิ (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 14.61) และข้าวหักของข้าวเหนียว (ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 4.56) ที่อัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 พบว่าอัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตรของข้าวตังเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวเหนียว ($p \leq 0.05$) และส่งผลให้ความแข็งแรงของข้าวตังนี้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวไม่มีผลต่อค่าสี (L^* , a^* , และ b^*) ของข้าวตัง ($p > 0.05$) การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 7-point hedonic scale แสดงให้เห็นว่าข้าวตังที่เตรียมจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าที่อัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50 ศึกษาผลของความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ CMC ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง การทดลองนี้แบ่งระดับความเข้มข้นของ CMC เป็น 4 ระดับ คือร้อยละ 0, 1.5, 3 และ 4.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของข้าวหัก ผลการทดลองชี้ว่าการเติม CMC ช่วงความเข้มข้นดังกล่าวไม่มีผลต่ออัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตร ค่าสี a^* และ b^* ของข้าวตัง ($p > 0.05$) ในขณะที่การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าข้าวตังที่มีการเติม CMC ร้อยละ 4.50 ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุด ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ: คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตร

Abstract

The objectives of this study were to investigate the effects of the ratio of broken Thai jasmine rice cultivar (Khao Dawk Mali 105; KDML 105) to broken Thai glutinous rice cultivar (RD6) on physical and sensory properties of rice cracker. The effects of carboxymethyl cellulose (CMC) at different concentrations on physical and sensory

¹ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Faculty of Technology, Mahasarakham University

* Corresponding author. E-mail: angkana.c@msu.ac.th

properties of rice cracker were also studied. The rice cracker was prepared from broken KDML 105 (14.61% amylose content) and broken RD6 (4.561% amylose content) at ratios of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100. It was found that volume expansion ratio of the rice crackers significantly increased with increasing the ratio of broken RD6 rice ($p \leq 0.05$), which resulted in a significant decrease in hardness of the rice crackers ($p \leq 0.05$). Color parameters (L^* , a^* , and b^*) of the rice crackers were not significantly affected by the ratio of broken KDML 105/ broken RD6 ($p > 0.05$). Based on sensory evaluation using a 7-point hedonic scale, the rice crackers prepared from the ratio of 25:75 and 0:100 broken KDML 105/broken RD6 obtained higher score than that of ratio of 100:0, 75:25 and 50:50 broken KDML 105/ broken RD6. The physical and sensory properties of the rice cracker affected by different concentrations of CMC were examined. The experiments were varied concentrations of CMC at 4 levels: 0, 1.5, 3 and 4.5%, w/w of broken rice. The results were suggested that the volume expansion ratio and the color a^* and b^* of the rice crackers were not affected by the addition of CMC at the studied contents ($p > 0.05$), whereas the rice cracker with the addition of 4.50% CMC showed the highest sensorial score of overall acceptability attributes ($p \leq 0.05$).

Keywords: physical properties, sensory properties, volume expansion ratio

บทนำ

ข้าวตั้งเป็นอาหารขบเคี้ยวของไทยที่มีแต่โบราณผลิตจากข้าวเจ้าหุงสุกที่ติดเป็นแผ่นเกรียมกันหม้อหรือกระทะ แทะออกให้มีลักษณะที่ยังเป็นแผ่นบาง แล้วทำให้แห้งโดยการตากแดด ตัดเป็นแผ่นและทอดให้พอง (Mortero, 2009) คุณลักษณะทางคุณภาพที่สำคัญของข้าวตั้ง คือ เนื้อสัมผัสที่เกิดจากการพองตัว ได้แก่ ความโปร่งเบา และความกรอบที่สัมพันธ์กับโครงสร้างของโพรงอากาศ และระดับของการขยายตัวของข้าวตั้งซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณแอมิโลสและคุณสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของข้าว เป็นต้น การพัฒนาข้าวตั้งให้มีคุณลักษณะทางคุณภาพ เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการพองตัวที่ดีอาจทำได้โดยการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะเหล่านั้น ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส หรือการเติมส่วนผสมอื่น ๆ

Juliano (1985) จำแนกประเภทของข้าวออกเป็น 5 ประเภทตามปริมาณแอมิโลส ได้แก่ ข้าวเหนียว (แอมิโลสร้อยละ 0-5), ข้าวแอมิโลสต่ำมาก (แอมิโลส

ร้อยละ 5.10-12), ข้าวแอมิโลสต่ำ (แอมิโลสร้อยละ 12.10-20), ข้าวแอมิโลสปานกลาง (แอมิโลสร้อยละ 20.10-25), และข้าวที่มีแอมิโลสสูง (แอมิโลสร้อยละ 25-33) ข้าวหรือแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมักให้ผลิตภัณฑ์พองกรอบที่มีอัตราการพองตัวต่ำ Villareal, & Juliano (1987); Jiamjariyatam, Kongpensook, & Pradipasena (2015); Jiamjariyatam (2016) รายงานว่าข้าวเหนียวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมีคุณภาพในการพองตัวสูง สอดคล้องกับ Wongsas, Silapruang, Aeimsard, & Thumthanaruk (2013) ที่พบว่าการนำข้าวเจ้าหอมมะลิที่มีแอมิโลสสูงกว่าข้าวเหนียวมาทดแทนข้าวเหนียวเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบมีผลทำให้ค่าการขยายตัวเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบลดลง ข้าวหอมดอกมะลิ 105 จัดเป็นข้าวที่มีแอมิโลสต่ำด้วยมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 15.12-15.52 (Sirivongpaisal, Hill, Pradipasena, & Mitchell, 2005) แต่ยังคงมีแอมิโลสสูงกว่าข้าวเหนียว เช่น ข้าวเหนียว กข6 ซึ่ง Sirivongpaisal, Hill, Pradipasena,

& Mitchell (2005); Jiranuntakul, Puttanlek, Rungsardthong, Pucha-amon, & Uttapap (2011) รายงานว่ามีแอมิโลสร้อยละ 2.56 และ 2.21-2.56 ตามลำดับ ปริมาณแอมิโลสที่ต่ำนี้ทำให้ข้าวเหนียวมีความสามารถในการพองตัวสูง ดังนั้นจึงมักถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้พอง (Thammarutwasik, Adulyatham, Thongraung, & Sridach, 2002)

ผลิตภัณฑ์พองกรอบจากข้าวเหนียว เช่น ข้าวตัง สามารถผลิตได้จากข้าวหักหรือปลายข้าว ข้าวสารเต็มเมล็ดของข้าวหอมดอกมะลิ 105 มีราคาสูงแต่ข้าวหัก และปลายข้าวกลับมีราคาต่ำมาก สมาคมโรงสีข้าวไทยรายงานราคาขายส่งปลายข้าวหอมมะลิ และปลายข้าวเหนียวฤดูการผลิต 61/62 ในเดือนมกราคม 2562 ว่ามีราคาเป็น 1,357 และ 1,825 บาทต่อ 100 กิโลกรัม ตามลำดับ (Thai rice mill association, 2015) ดังนั้นหากสามารถนำข้าวหักหรือปลายข้าวจากข้าวหอมดอกมะลิ 105 มาทดแทนข้าวหักหรือปลายข้าวจากข้าวเหนียว กข6 จะช่วยเพิ่มมูลค่าของสินค้าทางการเกษตรนี้ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้แอมิโลสแล้วยังพบว่าการเติมส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พองกรอบจากข้าวเป็นอย่างมาก Inprasit, Mongkonchart, & Chookaew (2019) ศึกษาการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด คือ แป้งบุก แขนแทนกัม หรือกัวร์กัมในขนมปลายข้าวแผ่นอบกรอบเพื่อช่วยในการยึดเกาะแทนสตาร์ชมันสำปะหลัง และพบว่าขนมปลายข้าวแผ่นอบกรอบที่ได้มีโพรงอากาศขนาดใหญ่ และผนังเซลล์ที่กั้นระหว่างโพรงอากาศมีลักษณะบาง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กรอบและพองตัวมากขึ้น และมีความแข็งต่ำกว่าขนมปลายข้าวแผ่นอบกรอบที่ใช้สตาร์ชมัน

สำปะหลัง Oumaree, & Khawnyao (2014) ศึกษาการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงหัก 3 ชนิด คือ carboxymethyl cellulose (CMC), xanthan gum และ pectin ร้อยละ 3 ของน้ำหนักข้าวกล้องหอมมะลิหัก และพบว่าไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่ออัตราการพองตัวของขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ CMC เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงหักมากที่สุด จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาคุณภาพของข้าวตัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ต่อข้าวหักของข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข6 และผลของ CMC ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง การพัฒนาคุณภาพดังกล่าวอาจช่วยทำให้อาหารชนิดนี้มีความนิยมในตลาดมากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้สินค้าท้องถิ่นพื้นบ้านของไทยได้เป็นอย่างดี

วิธีการศึกษา

1. วัตถุประสงค์และการตรวจวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ

วัตถุดิบในงานวิจัยนี้คือข้าวหักของข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105; KDML 105) และข้าวหักของข้าวเหนียว (พันธุ์ กข6; RD6) ที่ปลูกในฤดูการปลูกข้าวนาปี 2559 ณ อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ซึ่งผ่านการบดหยาบด้วยเครื่องบดผสมก่อนนำไปผลิตเป็นข้าวตัง ทั้งนี้วัตถุดิบทั้งสองชนิดยังถูกนำไปตรวจวัดปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1990) และแอมิโลสตามวิธีของ Juliano (1971) อีกด้วย

2. การผลิตข้าวตัง

ผลิตข้าวตังโดยใช้สูตรที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kongpan (1997); Oumaree, & Khawnyao (2014) (Figure 1) เริ่มจากนำข้าวหักบดหยาบหุงให้สุกโดยใช้ข้าวหักบดหยาบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และน้ำร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก จากนั้นบดข้าวหักบดหยาบหุงสุกให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน และชั่งน้ำหนัก 20 กรัม ใส่ในแม่พิมพ์ที่มีขนาด 6×6

เซนติเมตร นำไปอบที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พักไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำข้าวตังดิบไปทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที โดยใช้หม้อทอดแบบน้ำมันท่วม วางข้าวตังที่ทอดแล้วบนกระดาษซับมัน และทิ้งให้เย็นเป็นเวลา 15 นาที บรรจุในภาชนะพลาสติกที่ปิดฝาสนิท เก็บที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

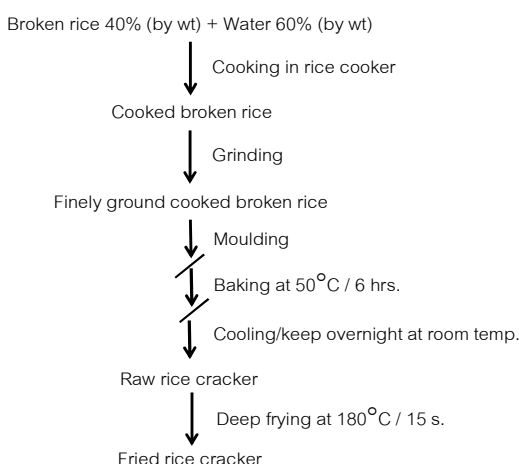


Figure 1 Schematic diagram of the rice cracker production.

3. การศึกษาผลของอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง

ศึกษาผลของอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวที่ 5 ระดับ คือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง โดยผลิตข้าวตังทอดตามวิธีในหัวข้อที่ 2 จากนั้นนำข้าวตังทอดที่ผลิตจากการใช้อัตราส่วนของ

ข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวที่แตกต่างกันทั้ง 5 สูตรไปตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสดังนี้

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.1.1 ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของข้าวตังตรวจวัดโดยใช้วิธีของ Jiamjariyatam (2016)

3.1.2 อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตร (volume expansion ratio) ของข้าวตังตรวจวัดโดยใช้วิธีของ Jiamjariyatam (2016)

3.1.3 ความแข็ง (hardness) ของข้าวตังวัดด้วยเครื่อง texture analyzer (TA.XTi2, Godalming, UK) หัววัดทรงกระบอก P/50 โดยดัดแปลงจากวิธีของ Jiamjariyatam, Kongpensook, & Pradipasena (2015) โดยกำหนด pretest speed 1.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s และ post test speed 10 mm/s ระยะทางที่กดคือ 1.0 mm ในการทดลองแต่ละข้าวตังตัวอย่างข้าวตังทั้งสิ้น 10 ตัวอย่าง

3.1.4 ค่าสีของข้าวตังวัดด้วยเครื่องวัดสี Minolta chroma meter รุ่น CR-400 โดยใช้ระบบ CIE L^* , a^* , b^* เมื่อ L^* คือค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่า 0-100 (0=สีดำ จนถึง 100=สีขาว), a^* คือสีแดง/เขียว ($+a^*$ =สีแดง และ $-a^*$ =สีเขียว) และ b^* คือสีแดง/เขียว ($+b^*$ =สีเหลือง และ $-b^*$ =สีน้ำเงิน) ในการทดลองแต่ละข้าวตังตัวอย่างข้าวตังทั้งสิ้น 5 ตัวอย่าง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22

3.2 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ข้าวตังดิบที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวทั้ง 5 สูตรถูกนำไปทอดด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 15 วินาที ในหม้อทอดแบบน้ำมันท่วม จากนั้นวางบนกระดาษซับมันทิ้งให้เย็น 15 นาที แล้วตรวจสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปซึ่งเป็นอาจารย์ พนักงาน และนิสิตของคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามจำนวน 30 คน การทดสอบทำในห้องทดสอบทางประสาท

สัมผัสที่มีแสงไฟจากหลอดฟลูออเรสเซนต์อย่างเพียงพอ ทำการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบต่อข้าวตัง 5 สูตรโดยวิธีการทดสอบแบบ 7-point hedonic scale (เมื่อ 1=ไม่ชอบมาก 2=ไม่ชอบปานกลาง 3=ไม่ชอบเล็กน้อย 4=เฉย ๆ 5=ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย และ 7=ชอบมาก) พิจารณาลักษณะปรากฏ ความกรอบ ความแข็ง ความมันติดปาก และความชอบโดยรวม ทั้งนี้ผู้ทดสอบล้างปากด้วยน้ำเปล่าทุกครั้งก่อนทดสอบข้าวตังตัวอย่างต่อไป ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17

4. การศึกษาผลของ CMC ต่อคุณสมบัติกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง

ศึกษาผลของ CMC ที่ 4 ระดับ คือร้อยละ 0, 1.5, 3.0 และ 4.5 ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง โดยผลิตข้าวตังตามวิธีในหัวข้อที่ 2 จากนั้นนำข้าวตังที่ผลิตจากการใช้ CMC ที่แตกต่างกันทั้ง 4 สูตรไปตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับรายละเอียดในหัวข้อ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

การศึกษาคูสมบัติทางกายภาพของข้าวตังวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนการศึกษาคูสมบัติทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ปริมาณความชื้นของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (Table 1) แต่ปริมาณแอมิโลสของข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่ำกว่าข้าวหักของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 14.61 และ 4.56 (db) ตามลำดับ Sirivongpaisal, Hill, Pradipasena, & Mitchell (2005) ตรวจวัดปริมาณแอมิโลสโดยใช้หลักการทำให้แอมิโลสเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนแล้ววัดสีที่เกิดขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ และรายงานปริมาณแอมิโลสของข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข6 ไว้ที่ร้อยละ 15.12 และ 2.56 (db) ตามลำดับ ในขณะที่ Jiranuntakul, Puttanlek, Rungsardthong, Pancha-amon, & Uttapap (2011) รายงานว่าข้าวเหนียว กข6 มีแอมิโลสร้อยละ 1.64 (db) ต่ำกว่าปริมาณแอมิโลสของข้าวหักของข้าวเหนียว กข6 ในงานวิจัยนี้ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการวิเคราะห์แอมิโลส ด้วยวิธีการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการที่แอมิโลเพคติน ที่มีขนาดสายโซ่บางส่วนยาวสามารถจับกับไอโอดีนได้เช่นเดียวกับแอมิโลส (Noosuk, Hill, Pradipasene, & Mitchell, 2003) อย่างไรก็ตาม ข้าวหักของข้าวเหนียว กข6 ในงานวิจัยนี้ยังมีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าข้าวเหนียวสายพันธุ์อื่นบางสายพันธุ์ เช่น ข้าวเหนียวดำที่มีแอมิโลสร้อยละ 6.15-7.47 (Pholva, Chantaraponpan, & Paseephol, 2017)

และข้าวเหนียวแดงที่มีแอมิโลสสูงถึงร้อยละ 7.97-8.78 (Pholva, Chantaraponpan, & Paseephol, 2018) ปริมาณแอมิโลสที่ต่างกันระหว่างข้าวเจ้า และข้าวเหนียวนี้เองเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้คุณสมบัติของแป้งจากข้าวสองชนิดนี้แตกต่างกัน เช่น แป้งข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสสูงพบว่าหลังการเกิดเจลลิตินในเซชันเมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลของแอมิโลสสามารถรวมตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน และจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างร่างสามมิติที่อัดแน่นไว้ในเกิดเป็นเจลขึ้น ด้วยคุณสมบัตินี้แป้งจากข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสสูงจึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในอาหารที่ต้องการความคงตัว ต่างจากแป้งจากข้าวเหนียวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำไม่สามารถเกิดเจลได้ แต่จะให้ลักษณะของแป้งเปื่อยที่เหนียวและมีความเกาะตัว ทำให้เหมาะกับการประยุกต์ใช้ในอาหารที่ต้องการความเหนียวเกาะ (Srisorn, Boontaganon, Sopanangkul, & Terapatponcha, 2020)

ผลของอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิและข้าวหักของข้าวเหนียวต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง

ศึกษาผลของอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวที่ 5 ระดับ คือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง พบว่าอัตราส่วนที่ต่างกันของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวไม่มีผลต่อความชื้นของข้าวตัง ($p>0.05$) ซึ่งมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 5.95 ถึง 6.11 แต่มีผลต่อความหนาแน่นรวม (bulk density) อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตร และความแข็งของข้าวตัง (Figure 2)

Table 1 Moisture and amylose contents of broken KDML 105 and broken RD6 rice.

	moisture content (%)	amylose content (%, db) ^{1/}
KDML 105	11.47±0.28	14.61 ^b ±0.34
RD6	10.74±0.94	4.56 ^a ±0.32

^{1/} means within the same column followed by the different letter are significantly different ($p \leq 0.05$).

ความหนาแน่นรวมของข้าวตังมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวเหนียว ข้าวตังที่ได้จากอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวเป็น 100:0 มีความหนาแน่นรวม (0.43 g/cm^3) สูงกว่าข้าวตังที่ได้จากจากอัตราส่วน 0:100 (0.15 g/cm^3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทางตรงกันข้ามอัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตรของข้าวตังที่ได้จากอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวเป็น 100:0 มีค่าเพียง 2.54 ต่ำกว่าข้าวตังที่ได้จากจากอัตราส่วน 0:100 ซึ่งมีค่าเป็น 3.65 ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้อาจเนื่องมาจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิมิปริมาณแอมิโลสสูงกว่าข้าวหักของข้าวเหนียว แอมิโลสมีความสามารถในการเกิดการคืนตัว (retrogradation) ได้ดีกว่าแอมิโลเพคติน ทำให้โครงสร้างของแป้งแข็งแรงยึดเกาะกันได้ดี เมื่อนำข้าวตังดิบไปทอด น้ำที่เป็นองค์ประกอบของข้าวตังจะระเหยกลายเป็นไอน้ำ และเกิดการขยายตัวมีผลให้ข้าวตังเกิดการพองตัว การคืนตัวของแอมิโลสทำให้โครงสร้างภายในของข้าวตังแข็งแรงขึ้น ดังนั้นการขยายตัวของโครงสร้างภายในข้าวตังจึงเป็นไปได้ยากขึ้น การพองตัวของข้าวตังจึงลดลง Jiamjariyatam,

Kongpensook, & Pradipasena (2015) ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์พองกรอบที่ผลิตจากสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยใช้กล้อง SEM และพบว่าผลิตภัณฑ์พองกรอบจากสตาร์ชที่มีแอมิโลสในปริมาณสูงมีโครงสร้างแน่นที่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีรูพรุนขนาดเล็ก ลักษณะเช่นนี้เกิดจากการคืนตัวของอะมิโลส ซึ่งทำให้โครงสร้างผลิตภัณฑ์แข็งแรง มีความหนาแน่นสูง แต่การพองตัวลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim, & Koh (2019) ที่รายงานว่าปริมาณแอมิโลสมีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับปริมาตรของแครกเกอร์จากข้าว ความแข็ง (hardness) ของข้าวตังมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับความหนาแน่นรวม และในทางตรงกันข้ามกับอัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตร นั่นคือเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวเหนียวให้สูงขึ้นความแข็งของข้าวตังมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ข้าวตังที่ได้จากอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวเป็น 100:0 มีความแข็งมากกว่าข้าวตังที่ได้จากอัตราส่วน 0:100 ถึงสามเท่า อัตราส่วนที่แตกต่างกันของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวไม่มีผลต่อค่าสี L^* , a^* และ b^* ของข้าวตัง ($p > 0.05$) (Table 2)

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี 7-point hedonic scale ของข้าวตังที่ผลิตจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิและข้าวหักของข้าวเหนียวในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (Table 3) พบว่าอัตราส่วนที่แตกต่างกันของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียว ไม่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ (appearance) และความมันติดปาก (oiliness) ของข้าวตัง ($p > 0.05$) ข้าวตังที่ได้จาก

อัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียว 0:100 และ 25:75 ได้คะแนนความชอบในความกรอบ (crispiness) สูงกว่าที่อัตราส่วน 75:25 และ 50:50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากข้าวตั้งที่ได้จากอัตราส่วน 100:0 ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาความชอบโดยรวมของข้าวตั้ง พบว่าข้าวตั้งที่เตรียมจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าที่อัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50

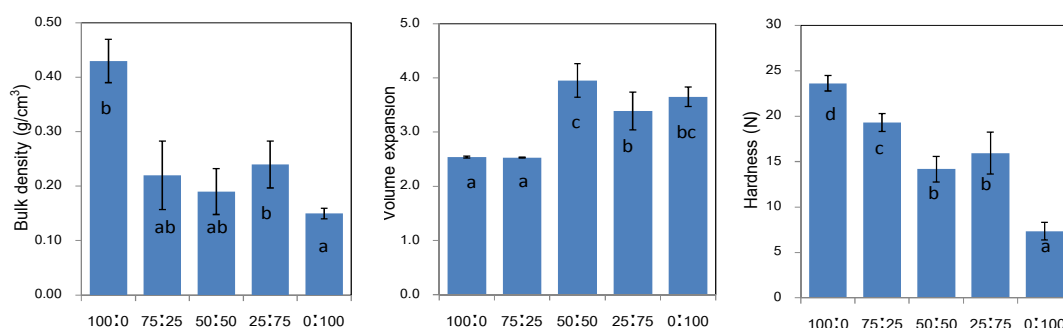


Figure 2 Effect of different ratios of broken KDML 105 to RD6 rice (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100) on bulk density, volume expansion ratio and hardness of rice crackers.

Table 2 Effect of different ratios of broken jasmine (KDML 105) to glutinous (RD6) rice on color parameters of rice crackers.

properties	rice cracker (KDM 105:RD6)				
	1 (100:0)	2 (75:25)	3 (50:50)	4 (25:75)	5 (0:100)
L*	68.23±3.33	65.39±5.51	64.27±6.72	66.74±3.23	65.24±7.08
a*	21.69±1.84	18.95±3.96	19.86±5.29	18.61±6.75	17.47±5.36
b*	86.84±2.81	83.93±5.58	87.11±5.39	87.71±6.86	88.41±0.37

Table 3 Effect of different ratios of broken jasmine (KDML 105) to glutinous (RD6) rice on sensory quality of rice crackers.

properties	rice cracker (KDM 105:RD6) ^{1/}				
	1 (100:0)	2 (75:25)	3 (50:50)	4 (25:75)	5 (0:100)
appearance	5.33±1.44	5.00±1.45	5.00±1.45	5.00±1.47	5.07±1.51
crispiness	5.33 ^{bc} ±1.73	4.53 ^a ±1.73	5.13 ^{ab} ±1.71	5.83 ^c ±1.71	5.90 ^c ±1.72
hardness	4.63 ^b ±1.60	3.77 ^a ±1.61	4.40 ^b ±1.60	4.93 ^b ±1.61	4.93 ^b ±1.61
oiliness	4.63±1.57	4.13±1.58	4.63±1.58	4.43±1.58	4.60±1.58
overall liking	5.06 ^b ±1.60	4.37 ^a ±1.59	5.10 ^b ±1.57	5.83 ^c ±1.59	5.93 ^c ±1.56

^{1/} means within the same row followed by the different letter are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลของ CMC ต่อคุณสมบัติกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตัง

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิและข้าวหักของข้าวเหนียวต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวตังพบว่าอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของข้าวหักของข้าวเหนียวมีผลให้อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตรของข้าวตังเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นรวม และความแข็งมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ข้าวตังที่เตรียมจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 25:70 และ 0:100 ยังได้คะแนนความชอบรวมสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ เนื่องจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิมีราคาต่ำกว่าข้าวหักของข้าวเหนียว ดังนั้นเมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตร่วมด้วย การผลิตข้าวตังโดยใช้อัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิและข้าวหักของข้าวเหนียวเท่ากับ 25:70 จึงมีความเหมาะสมมากกว่าอัตราส่วน 0:100

ผลิตข้าวตังที่ใช้อัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิและข้าวหักของข้าวเหนียวเป็น 25:75 และเติม CMC ที่ 4 ระดับ คือร้อยละ 0, 1.5, 3 และ 4.5 ได้ข้าวตังที่มีลักษณะดังแสดงใน (Figure 3) ทั้งนี้ข้าวตังทั้ง 4 ตัวอย่างมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.89 ถึง 6.13 และผลของ CMC ต่อความหนาแน่นรวม อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตร และความแข็งของข้าวตัง ดัง (Figure 4)

ความหนาแน่นรวมของข้าวตังที่ไม่เติม CMC มีค่าเท่ากับ 0.24 g/cm^3 เมื่อเติม CMC ความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 3 และ 4.5 ความหนาแน่นรวมของข้าวตังลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเป็น 0.18, 0.18 และ 0.13 g/cm^3 ตามลำดับ พบว่า CMC มีผลต่อความแข็งของข้าวตังในลักษณะเดียวกับความหนาแน่นรวม ความแข็งของข้าวตังที่ไม่เติม

CMC มีค่าเท่ากับ 15.94 N และเมื่อเติม CMC ที่ร้อยละ 1.50-4.50 ข้าวตังมีความแข็งลดลงถึง 2.9-3.6 เท่า อาจเนื่องมาจาก CMC เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส มีความสามารถในการจับน้ำได้สูง ช่วยเพิ่มความเหนียว ความยืดหยุ่น ช่วยทำให้ผนังเซลล์ที่กั้นระหว่างเซลล์อากาศของขนมอบแข็งแรงขึ้น เพิ่มความสามารถในการเก็บกักอากาศ และเพิ่มความเป็นรูพรุนในขนมอบให้มากขึ้น (Rosell, Haros, Escrivá, & Benedito de Barber, 2001; Nammakuna, Suwansri, Thanasukan, & Ratanatriwong, 2009) ดังนั้นจึงทำให้ขนมอบขยายตัวได้มาก จึงส่งผลให้ความหนาแน่นรวมมีค่าลดลง Inprasit, Mongkonchart, & Chookaew (2019) รายงานว่า ไฮโดรคอลลอยด์ช่วยให้ขนมปลายข้าวแผ่นอบกรอบมีโพรงอากาศขนาดใหญ่ ผนังเซลล์ที่กั้นระหว่างโพรงอากาศบางลง ดังนั้นจึงช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนม โดยทำให้ขนมกรอบและพองตัวมาก รวมถึงมีความแข็งลดลง มีแนวโน้มว่าการเติม CMC ทำให้อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตรของข้าวตังเพิ่มขึ้น (Figure 4) แต่ผลการทดสอบทางสถิติชี้ว่าความเข้มข้นของ CMC ที่ร้อยละ 0-4.50 ไม่ทำให้อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตรของข้าวตังเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p > 0.05$)

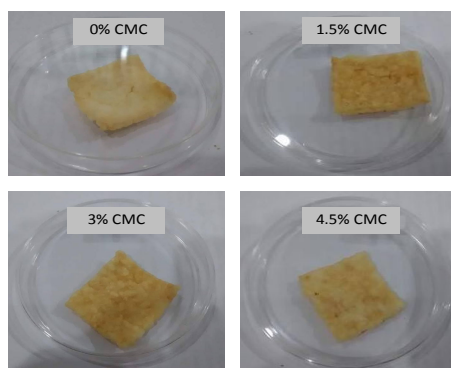


Figure 3 Rice crackers with different level of CMC.

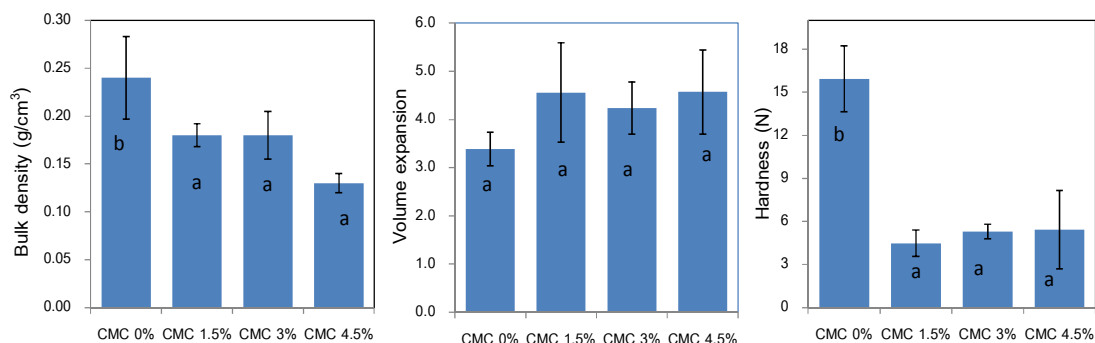


Figure 4 Effect of different levels of CMC on bulk density, volume expansion ratio and hardness of rice crackers.

การเติม CMC ที่ความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0-4.50 ไม่มีผลต่อค่าสี a^* และ b^* ของข้าวตัง ($p > 0.05$) (Table 4) ในขณะที่ค่าความสว่าง L^* ของข้าวตังที่เติม CMC มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า CMC ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเจดสีของข้าวตังแต่ส่งผล

ให้ข้าวตังมีลักษณะคล้้ขึ้น ลักษณะนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nammakuna, Suwansri, Thanasukan, & Ratanatriwong (2009) ที่ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของแครกเกอร์ข้าวและพบว่าไฮโดรคอลลอยด์ทำให้แครกเกอร์ข้าวคล้าลงและเจดสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

Table 4 Effect of different levels of CMC on color parameters of rice crackers.

properties	CMC (%) ^{1/}			
	0	1.5	3.0	4.5
L*	66.74 ^b ±3.23	59.23 ^a ±2.25	53.49 ^a ±4.80	57.61 ^a ±2.02
a*	18.61±6.75	16.71±1.01	15.76±3.33	19.88±3.10
b*	87.71±6.86	84.55±1.67	84.03±3.18	83.08±1.80

^{1/} means within the same row followed by the different letter are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 5 Effect of different levels of CMC on sensory quality of rice crackers.

properties	CMC (%) ^{1/}			
	0	1.5	3.0	4.5
appearance	4.73 ^{ab} ±0.18	5.13 ^b ±0.17	4.53 ^a ±0.18	5.20 ^b ±0.17
crispiness	5.26 ^b ±0.23	4.50 ^a ±0.23	5.20 ^b ±0.23	5.63 ^b ±0.22
hardness	3.77 ^a ±0.23	4.63 ^b ±0.24	4.43 ^b ±0.24	4.93 ^b ±0.23
oiliness	4.33 ^b ±0.19	3.80 ^a ±0.19	4.53 ^b ±0.18	4.47 ^b ±0.18
overall liking	4.97 ^b ±0.20	4.30 ^a ±0.19	4.97 ^b ±0.19	5.77 ^c ±0.20

^{1/} means within the same row followed by the different letter are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 7-point hedonic scale ของข้าวตังที่ผลิตจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 25:70 และเติม CMC ที่ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 1.5, 3 และ 4.5 (Table 5) พบว่าการเติม CMC ในช่วงร้อยละ 0-4.50 มีผลต่อลักษณะปรากฏ ความกรอบ ความแข็ง ความมันติดปาก และความชอบโดยรวมของข้าวตังอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ข้าวตังที่เตรียมจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิ ต่อข้าวหักของข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 25:70 และเติม CMC ร้อยละ 4.50 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวตังที่เติม CMC ร้อยละ 0-3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

CMC เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความสามารถในการลดการดูดซับน้ำมันได้ดี เนื่องจากสามารถเกิดเจลในลักษณะของไฮโดรเจลจึงช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างการทอดและช่วยลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ (Oumaree, & Khawnyao, 2014) ข้าวตังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการทอดด้วยน้ำมัน อาจมีปริมาณน้ำมันที่ตกค้างหลังการทอดทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานสูง ไม่เหมาะต่อผู้บริโภคบางกลุ่ม เช่น กลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการลดน้ำหนัก ดังนั้นหากลดการดูดซับน้ำมันลงได้ จะช่วยให้ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ข้าวตังที่เตรียมจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 25:70 และเติม CMC ร้อยละ 4.5 นอกจากจะได้รับความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวตังสูตรที่ไม่มีการเติม CMC แล้วยังอาจได้ประโยชน์จากความสามารถในการลดการดูดซับน้ำมันของ CMC ดังที่กล่าวมาอีกด้วย

สรุป

อัตราส่วนของข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวมีผลต่อความหนาแน่นรวม ความแข็ง และอัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตรของข้าวตัง โดยอัตราส่วนของข้าวหักของข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นรวมและความแข็งของข้าวตังลดลง แต่อัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตรของข้าวตังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อัตราส่วนที่แตกต่างกันของข้าวหักของข้าวหอมมะลิ และข้าวหักของข้าวเหนียวไม่มีผลต่อค่าสี L^* , a^* และ b^* ของข้าวตัง ($p > 0.05$) ข้าวตังที่เตรียมจากข้าวหักของข้าวหอมมะลิต่อข้าวหักของข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 25:70 และ 0:100 ได้รับความชอบมากกว่าที่อัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50 การเติม CMC ร้อยละ 1-4.50 ไม่มีผลต่ออัตราการขยายตัวในเชิงปริมาตร ค่าสี a^* และ b^* ของข้าวตัง ($p > 0.05$) ในขณะที่ยอดทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าข้าวตังที่มีการเติม CMC ร้อยละ 4.50 ช่วยปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของข้าวตัง และได้รับความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบสูงกว่าข้าวตังสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$)

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed.). Washington DC, USA: The Association of Official Analytical Chemists.

- Inprasit, K., Mongkonchart, P., & Chookaew, L. (2019). Functional properties of mixed broken rice with hydrocolloids for textural improvement of rice cracker. *Proceeding of the 2nd Suan Sunandha National and International Academic Conference on Science and Technology* (pp. 198-209). Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University. (in Thai)
- Jiamjariyatam, R., Kongpensook, V., & Pradipasena, P. (2015). Effects of amylose content, cooling rate and aging time on properties and characteristics of rice starch gels and puffed products. *Journal of Cereal Science*, 6, 16-25.
- Jiamjariyatam, R. (2016). Development of ready-to-eat rice starch-based puffed products by coupling freeze-drying and microwave. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 444-452.
- Jiranuntakul, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pancha-arnon, S., & Uttapap, D. (2011). Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. *Journal of Food Engineering*, 104, 246-258.
- Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. *Journal of Cereal Science*, 16, 334-340.
- Juliano, B. O. (1985). Criteria and tests for rice grain qualities. In B. O. Juliano (Ed.), *Rice chemistry and technology* (pp. 443-514). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Kim, J. S., & Koh, B. K. (2019). Rice varieties in relation to saline rice cracker quality. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1899-1909.
- Kongpan, S. (1997). *Appetizer and beverage*. Bangkok: Sangdad. (in Thai)
- Mortero, L. (2009). *Thai traditional knowledge encyclopedia: foods from four regions*. Bangkok: Biodiversity-Based Economy Development. (in Thai)
- Nammakuna, N., Suwansri, S., Thanasukan, P., & Ratanatriwong, P. (2009). Effects of hydrocolloids on quality of rice crackers made with mixed-flour blend. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2(04), 780-787.
- Noosuk, P., Hill, S. E., Pradipasena, P., & Mitchell, J. R. (2003). Structure-viscosity relationships for Thai rice starches. *Starch/Stärke*, 55, 337-344.
- Oumaree, K., & Khawnyao, S. (2014). Using of hydrocolloid in the production of snack from broken red jasmine rice. *Proceeding of the Integration of Thai Research within the ASEAN Community Network* (pp. 346-353). Phuket: Phuket Rajabhat University. (in Thai)
- Pholva, M., Chantaraponpan, A., & Paseephol, T. (2017). Effect of grain development on physical and chemical properties of black glutinous rice. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 45(1)(Suppl.), 1099-1104. (in Thai)
- Pholva, M., Chantaraponpan, A., & Paseephol, T. (2018). Chemical and physical characteristics of red glutinous rice at three development stages after flowering. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(1)(Suppl.), 526-532. (in Thai)
- Rosell, C. M., Haros, M., Escrivá C., & Benedito de Barber, C. (2001). Experimental approach to optimize the use of α -amylases in bread making. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2973-2977.
- Sirivongpaisal, P., Hill, S. E., Pradipasena, P., & Mitchell, J. R. (2005). Amylose content and amylopectin Fine structure of Thai rice starches. *Proceeding of Starch Update 2005: Bio Thailand 2005. The 3rd Conference on Starch Technology* (pp. 221-226). Bangkok: BIOTEC.

- Srisorn, P., Boontaganon, P., Sopanangkul, A., & Terapatponchai, Y. (2021). The optimum condition of pre-gelatinized Hom Nil rice flour production by using double drum dryer. *RMUTSB Academic Journal*, 8(2), 199-214.
- Thai rice mill association. (2015). *Rice prices report*. Retrieved January 17, 2021, from <http://www.thairicemillers.org/index.php?lay=show&ac=article&Id=2147529303&Ntype=19> (in Thai)
- Thammarutwasik, P., Adulyatham, P., Thongraung, C., & Sridach, W. (2002). *Production of puffed rice for health* (research report). Songkhla: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Villareal, C. P., & Juliano, B. O. (1987). Varietal differences in quality characteristic of puffed rice. *Cereal Chemistry*, 64, 337-342.
- Wongsa, J., Silapruang, S., Aeimsard, R., & Thumthanaruk, B. (2013). Effect of jasmine rice on puff quality of glutinous rice crackers filled with chili fish paste. *Agricultural Science Journal*, 44(2)(Suppl.), 329-332. (in Thai)