Research Article

Received: August 31, 2018; Accepted: September 26, 2018

การพัฒนาเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำ

Development of Kaimook from Purple Rice

บุศราภา ลีละวัฒน์*, รัฐนันท์ ติลกกุล และมนัสนันท์ ใบคุณากร

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Bootsrapa Leelawat*, Ruttanun Tilokkul and Manatsanan Baikhunakon

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,

Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวก่ำ 4 ระดับ คือ 100 : 0 (สูตรควบคุม), 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเติมแป้งข้าวก่ำในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ทุกด้านและระยะเวลาในการต้มสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเหนียว (adhesiveness) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความหนึบ (gumminess) และค่าความทนทานต่อการเคี้ยว (chewiness) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตร 70 : 30 มีคะแนนความชอบในทุกด้านไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ดังนั้นจึงเลือกเม็ดไข่มุกสูตร 70 : 30 และ 60 : 40 มาพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยศึกษาการเติมแป้งดัดแปรชนิด acetylated distarch phosphate 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าสูตรเม็ดไข่มุกที่เติมแป้งดัดแปรในทุกระดับมีสมบัติด้านความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัสทุกด้าน รวมทั้งระยะเวลาในการต้มสุก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จึงเลือกสูตรเม็ดไข่มุกที่เติมแป้งดัดแปรร้อยละ 5 ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเม็ดไข่มุกสูตร 70 : 30 มีคะแนนความชอบในทุกด้าน ยกเว้นด้านสี ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า มีค่า EC_{50} เท่ากับ 10.66 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

คำสำคัญ : เม็ดไข่มุก; ชาไข่มุก; แอนโธไซยานิน; ข้าวก่ำ; มันสำปะหลัง

Abstract

The objective of this research was to develop the Kaimook product from purple rice. The suitable ratio of tapioca flour to purple rice flour was investigated by varying 4 levels of the flour

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** jafood@hotmail.com **doi:** 10.14456/tstj.2020.37

mixture 100 : 0 (control), 70 : 30, 60 : 40, and 50 : 50 by weight. The result showed that adding more purple rice flour caused the significant decreasing in all pasting properties and cooking time ($p \leq 0.05$). In addition, the effect of increasing purple rice flour ratio caused an increase in the hardness and adhesiveness of Kaimook but did not affect its gumminess and chewiness ($p \leq 0.05$). The sensory evaluation indicated that the Kaimook from 70 : 30 formulas was not significantly different from the control in all attributes. Therefore, the 70 : 30 and 60 : 40 formulas were chosen for further development by studying the effect of modified starch (acetylated distarch phosphate) (5, 7.5 and 10 % by flour weight). It was found that adding modified starch in all levels did not cause significant differences in pasting properties, texture properties and cooking time ($p > 0.05$). Hence, the Kaimook with 5 % modified starch was chosen for sensory evaluation. The result showed that the 70 : 30 formulae gave the similar sensory scores to the control except the color ($p > 0.05$). For the antioxidant activity by DPPH assay, the 70 : 30 formula with 5 % modified starch showed the EC_{50} of 10.66 mg/mL.

Keywords: Kaimook; bubble tea; anthocyanin; purple rice; tapioca

1. บทนำ

ชานมไข่มุกเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน โดยเม็ดไข่มุกทำมาจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำร้อน นวดให้เข้ากันแล้วปั้นเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นนำไปต้มให้สุกและผสมกับน้ำเชื่อม สำหรับสีที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของเม็ดไข่มุก คือ สีดำ ซึ่งเกิดจากการใช้ผงโกโก้ คาราเมล หรือสีผสมอาหารผสมร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง โดยการใช้สีผสมอาหารเพื่อทำให้เม็ดไข่มุกมีสีดำนั้นเป็นวิธีทั่วไปที่นิยมใช้กันในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นสีสังเคราะห์ ซึ่งมีราคาถูกกว่าสีธรรมชาติ ให้สีสด สม่ำเสมอ และสะดวกต่อการใช้งาน ถึงแม้ว่าการใช้สีสังเคราะห์ดังกล่าวจะได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหารได้และมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่สามารถสะสมอยู่ในร่างกาย ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค โดยสีจะไปเคลือบเยื่อบุกระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้น้ำย่อยอาหารออกมาไม่สะดวกและอาจมีอาการของตับและไตอักเสบ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งเกิดขึ้นในภายหลังได้เช่นกัน หากได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน [1]

ข้าวก่ำ (purple rice) เป็นข้าวพื้นเมืองของเอเชียมีสีออกม่วงแดง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. *indica* มีชื่อสามัญว่า black glutinous rice เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Gramineae [2] งานวิจัยข้าวก่ำของหน่วยวิจัยข้าวก่ำ (Purple Rice Research Unit, PRRU) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าสารสีม่วงแดงของเปลือกหุ้มเมล็ด คือ แอนโธไซยานินและแกมมาโอไรซานอล โดยแอนโธไซยานินและโปรแอนโทไซยานิดินในข้าวพันธุ์นี้มีสูงกว่าข้าวขาว 8-16 เท่า มีสมบัติในสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ต้านอนุมูลอิสระ ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย ช่วยป้องกันโรคหัวใจ โดยเฉพาะแอนโธไซยานินชนิดที่พบในข้าวสีม่วงกลุ่มอินดิก้า ซึ่งก็รวมข้าวก่ำไทย ได้มีการ

พิสูจน์แล้วว่ามีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปอด ส่วนสารแกมมาโอไรซานอลในข้าวก่ำมีรายงานว่ามีปริมาณสูงกว่าข้าวขาว 2-3 เท่า โดยมีสมบัติเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเช่นเดียวกับแอนโธไซยานิน แล้วยังสามารถลดคลอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ เพิ่มระดับของ high density lipoprotein (HDL) หรือไขมันที่มีประโยชน์ในเลือด มีผลต่อการทำงานของต่อมใต้สมอง ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร อีกทั้งยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด ลดน้ำตาลในเลือด และเพิ่มระดับของฮอร์โมนอินซูลินในคนเป็นโรคเบาหวาน ชนิดที่ 2 ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งกระเพาะ นอกจากนี้ยังต้านการหืนของน้ำมันในรำข้าวและของนมผงไขมันเต็ม รวมทั้งกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในคนด้วย [3]

คุณประโยชน์ของข้าวก่ำดังที่ได้กล่าวข้างต้น ส่งผลให้เกิดแนวคิดในการนำข้าวก่ำที่เป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มาใช้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก ซึ่งอาศัยสีม่วงธรรมชาติของข้าวก่ำ โดยเม็ดไข่มุกที่ได้จากการใช้แป้งข้าวก่ำร่วมกับแป้งมันสำปะหลังนอกจากจะมีความปลอดภัยต่อการบริโภคแล้ว ยังมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่า และใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่าเม็ดไข่มุกที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงชนิดเดียว โดยเม็ดไข่มุกดิบที่มีจำหน่ายทั่วไปมีระยะเวลาในการต้มสุกที่ค่อนข้างนาน ประมาณ 20-30 นาที และยังต้องแช่ในน้ำเชื่อมต่ออีก 20 นาที ก่อนนำมารับประทาน [4]

นอกจากนี้ข้าวก่ำเป็นข้าวที่มีอะไมโลเพกตินสูงมาก โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 93-97 [5] ซึ่งแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงส่งผลให้เจลของแป้งที่ได้หลังจากผ่านกระบวนเจลาติไนเซชันด้วยความร้อนมีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่น [6] ซึ่งจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่ได้ใกล้เคียงกับเม็ดไข่มุกที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งโมเลกุลของอะไมโลเพกตินที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้านจะถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปแทรกระหว่างสายของอะไมโลเพกตินได้ง่ายขึ้น [7] ส่งผลให้ระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุกมีค่าลดลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร ใช้สีธรรมชาติจากรงควัตถุแอนโธไซยานินจากข้าวก่ำ และลดระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุก โดยเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคในปัจจุบันที่ให้ความสนใจในด้านสุขภาพมากยิ่งขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

ข้าวก่ำจากร้านอยุธยาค้าข้าว ตลาดไท จังหวัดปทุมธานี แป้งมันสำปะหลังตราปลามังกร น้ำตาลทรายแดง (น้ำตาลอ้อยธรรมชาติ) ตรามิตรผล เม็ดไข่มุกทางการค้าจากตลาดไท และแป้งดัดแปรชนิด acetylated distarch phosphate (Kreation® MB) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เควสท์เทค จำกัด

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

ตะแกรงร่อนแป้งขนาด 60 เมช ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS200 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BA210S ประเทศเยอรมนี เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น LE2202S ประเทศเยอรมนี เครื่องวิเคราะห์ค่าความหนืดอย่างรวดเร็ว ยี่ห้อ Perten รุ่น Tecmaster ประเทศออสเตรีย เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XTPlus ประเทศอังกฤษ หัวกดรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Thermo Spectronic รุ่น GENESYS 20

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 การเตรียมแป้งข้าวก่ำ

นำข้าวก่ำที่ผ่านการโม่แล้วมาร่อนผ่านตะแกรงให้ได้อนุภาคขนาด 60 เมช เก็บรักษาโดยการบรรจุในถุงพลาสติกชนิดไนลอน ที่สภาวะสุญญากาศภายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

3.1.2 การผลิตเม็ดไข่มุกสูตรพื้นฐาน

นำแป้งมันสำปะหลัง 60 กรัม ผสมน้ำเดือด 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส นวดแป้งจนเกิดก้อนโดที่เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใช้ที่กดเม็ดไข่มุก กดก้อนโดจนเต็มช่อง และปั้นก้อนแป้งดังกล่าวให้เป็นทรงกลม ซึ่งจะได้เม็ดไข่มุกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร [8]

3.1.3 การต้มเม็ดไข่มุก

นำเม็ดไข่มุกที่ปั้นได้ไปต้มในน้ำเดือด อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นดับไฟและปิดฝาทิ้งไว้เป็นเวลาอีก 20 นาที นำเม็ดที่ได้ไปแช่ในน้ำเชื่อมเพื่อไม่ให้เม็ดไข่มุกเกาะติดกันและเป็นการเพิ่มรสหวานให้กับเม็ดไข่มุก [4]

3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวก่ำที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุก

เตรียมตัวอย่างเม็ดไข่มุกตามวิธีในข้อ 3.1 โดยแปรอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวก่ำ 4 ระดับ คือ 100:0, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยน้ำหนัก คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมเพื่อนำไปพัฒนาในการทดลองขั้นต่อไป โดยประเมินคุณภาพของเม็ดไข่มุกจากการวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติด้านความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง rapid visco analyzer (RVA) ลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) ระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุก (cooking time) [9] และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9- point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 60 คน

3.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งดัดแปรที่ใช้ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก

นำอัตราส่วนของแป้งที่คัดเลือกได้จากผลการทดลองในข้อ 3.2 มาศึกษาปริมาณของแป้งดัดแปรที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก โดยแปรปริมาณของแป้งดัดแปร 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจากสมบัติด้านความหนืด ลักษณะเนื้อสัมผัส ระยะเวลาในการต้มสุก และการทดสอบทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.2

3.4 วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำ

นำเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำสูตรที่เหมาะสม ซึ่งคัดเลือกจากผลการทดลองในข้อ 3.3 มาวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วย DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) [11] โดยคำนวณ % inhibition ได้ดังสมการ

$$\% \text{ inhibition} = \{[1 - (A_S - A_{SB})] \div A_C\} \times 100$$

เมื่อ A_S, A_{SB} และ A_C คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ตัวอย่างที่ไม่มี DPPH และตัวอย่างควบคุมที่เวลาที่เริ่มคงที่ ตามลำดับ

รายงานค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูปของ EC_{50} ในหน่วย mg/ml

3.5 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองที่ 3.2 และ 3.3 แบบ completely randomized design (CRD) และแบบ factorial design ตามลำดับ โดยทดลอง 2 ซ้ำ สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการทดลองที่ 3.2 และ 3.3 วางแผนการทดลองแบบ randomized

completely block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวก่ำที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุก

การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งข้าวก่ำที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ตารางที่ 1) พบว่าเมื่อเติมแป้งข้าวก่ำในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติด้านความหนืดในทุก ๆ ด้านมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการที่แป้งข้าวก่ำมีปริมาณอะไมโลเพกตินที่สูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เม็ดสตาร์ชจากข้าวก่ำเกิดการพองตัวและแตกได้เร็วกว่าเม็ดสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้ peak viscosity ของแป้งในสูตรที่มีการเติมแป้งข้าวก่ำมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม และเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง จึงเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้ยาก ส่งผลให้ค่า final viscosity มีค่าต่ำลง [11]

Table 1 Pasting properties of flour mixture with different ratios of tapioca flour and purple rice flour

Tapioca flour : Purple rice flour	Peak viscosity (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback from peak (cP)	Peak time (min)
100 : 0	4778.33±85.45^{a}	2822.67±68.24^{a}	3493.00±30.41^{a}	-1285.33±98.22^{d}	4.06±0.04^{a}
70 : 30	2655.67±31.66^{b}	1702.00±16.37^{b}	1542.33±18.45^{b}	-1113.33±15.30^{c}	3.92±0.00^{b}
60 : 40	2277.33±157.43^{c}	1431.33±111.88^{c}	1301.00±75.90^{c}	-976.33±83.39^{b}	3.82±0.00^{c}
50 : 50	1920.67±4.16^{d}	1221.67±26.39^{d}	1061.00±37.40^{d}	-859.67±33.29^{a}	3.75±0.03^{d}

$^{a, b, c}$ Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); Mean values ± standard deviation of 3 replications.

Table 2 Texture properties of Kaimook from different ratios of tapioca flour and purple rice flour

Tapioca flour : Purple rice flour	Hardness (N)	Adhesiveness (N.s)	Gumminess (N)	Chewiness (N)
Commercial	328.35±18.05^{a}	-1.46±0.41^{c}	288.98±17.04^{a}	292.33±14.43^{a}
100 : 0	133.48±10.16^{c}	-0.20±0.13^{c}	103.91±10.08^{b}	124.23±29.37^{b}
70 : 30	178.21±11.24^{bc}	-2.33±0.27^{bc}	145.92±8.67^{b}	145.45±9.15^{b}
60 : 40	183.51±43.18^{bc}	-4.46±1.82^{ab}	140.62±32.45^{b}	135.73±31.54^{b}
50 : 50	213.50±47.12^{b}	-5.89±0.10^{a}	153.03±37.28^{b}	145.47±33.74^{b}

$^{a, b, c}$ Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); Mean values ± standard deviation of 3 replications.

Table 3 Cooking time of Kaimook from different ratios of tapioca flour and purple rice flour

Tapioca flour : Purple rice flour	Cooking time (min)
100 : 0	20.00±0.00[a]
70 : 30	19.00±0.00[a]
60 : 40	12.50±0.71[b]
50 : 50	11.50±0.71[b]

[a, b, c] Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); Mean values ± standard deviation of 3 replications.

สำหรับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวก่ำ (ตารางที่ 2) พบว่าเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวก่ำเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเหนียว (adhesiveness) และค่าความแข็ง (hardness) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความหนืบ (gumminess) และค่าความทนทานต่อการเคี้ยว (chewiness) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีค่าน้อยกว่าเม็ดไข่มุกทางการค้า เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของเม็ดไข่มุกพบว่า สูตรควบคุม (100 : 0) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับค่า breakdown ที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA ที่มีค่าสูงที่สุด แสดงว่าหลังจากเม็ดแป้งมันสำปะหลังพองตัวแล้ว โครงสร้างของเม็ดแป้งจะไม่แข็งแรงและแตกออกได้ง่าย [12] และเมื่อเติมแป้งข้าวก่ำในสัดส่วนที่มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดไข่มุกมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเติมถึงระดับที่สามารถเติมสูงสุด คือ สูตร 50 : 50 พบว่าค่าความแข็งก็ยังน้อยกว่าสูตรทางการค้า อย่างไรก็ตาม ค่าความเหนียวของเม็ดไข่มุกที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการเติมแป้งข้าวก่ำ ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสยิ่งแตกต่างจากสูตรทางการค้า เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุก (ตารางที่ 3) พบว่าเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวก่ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุกมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากแป้งข้าวก่ำมีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง โดยโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ซึ่งถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน โมเลกุลของน้ำจึงเข้าไปแทรกระหว่างสายของอะไมโลเพกตินได้ง่ายกว่าอะไมโลส [13] ส่งผลให้ระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุกลดลง โดยสูตร 60 : 40 มีระยะเวลาการต้มสุกเพียง 12.50 นาที

Table 4 Sensory evaluation scores of Kaimook from different ratios of tapioca flour and purple rice flour

Tapioca flour : Purple rice flour	Attributes				
	Color[ns]	Apperance	Flavor	Texture	Overall likings
100 : 0	6.80±1.60	7.15±1.22[a]	6.80±1.13[a]	7.05±1.41[a]	7.33±1.07[a]
70 : 30	6.62±1.18	6.82±1.13[a]	6.60±1.15[a]	6.78±1.28[a]	7.00±0.84[a]
60 : 40	6.45±1.11	6.33±1.30[b]	6.02±1.43[b]	5.80±1.54[b]	6.07±1.26[b]
50 : 50	6.65±1.26	6.67±1.26[b]	5.82±1.38[b]	5.13±1.73[c]	5.75±1.36[b]

[a, b, c] Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); [ns] Mean values are not significantly different ($p > 0.05$): Mean values ± standard deviation of 60 panelists.

Table 5 Pasting properties of flour mixture with different ratios of tapioca flour and purple rice flour and modified starch

Tapioca : Ppurple rice : Modified starch	Peak viscosity (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback from peak (cP)	Peak time (min)
Control formula					
100 : 0 : 0	4778.33±85.45^{a}	2822.67±68.24^{a}	3493.00±30.41^{a}	-1285.33±98.22^{a}	4.06±0.04^{a}
70 : 30 formula					
70 : 30 : 5	2733.00±68.00^{c}	1521.33±44.06^{c}	1879.00±62.39^{c}	-854.00±9.17^{b}	3.99±0.03^{b}
70 : 30 : 7.5	2871.00±96.60^{b}	1614.00±68.94^{b}	1936.00±53.03^{bc}	-935.00±63.51^{b}	3.98±0.03^{bc}
70 : 30 : 10	2853.00±39.85^{b}	1572.33±26.86^{bc}	1962.33±5.51^{b}	-890.67±45.33^{b}	3.99±0.02^{b}
60 : 40 formula					
60 : 40 : 5	2361.67±34.01^{d}	1251.33±20.40^{d}	1677.67±14.30^{e}	-684.00±20.30^{c}	3.91±0.01^{d}
60 : 40 : 7.5	2420.00±37.16^{d}	1286.67±33.02^{d}	1713.00±7.81^{de}	-707.00±30.79^{c}	3.90±0.03^{d}
60 : 40 : 10	2479.00±77.15^{d}	1305.33±49.96^{d}	1764.33±37.11^{d}	-714.67±42.91^{c}	3.94±0.01^{cd}

$^{a, b, c}$ Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); Mean values ± standard deviation of 3 replications.

Table 6 Texture properties of flour mixture with different ratios of tapioca flour and purple rice flour and modified starch

Tapioca : Purple rice : Modified starch	Hardness (N)	Adhesiveness (N.s)	Gumminess (N)	Chewiness (N)
Commercial	328.35±18.05^{a}	-1.46±0.41^{b}	288.98±17.04^{a}	292.33±14.43^{a}
Control formula				
100 : 0 : 0	133.48±10.16^{b}	-0.20±0.13^{b}	103.91±10.08^{b}	124.23±29.37^{b}
70 : 30 formula				
70 : 30 : 5	262.73±48.68^{ab}	-5.07±0.51^{a}	218.21±40.98^{ab}	218.60a±41.71^{b}
70 : 30 : 7.5	245.07±23.97^{ab}	-6.34±1.68^{a}	200.61±22.44^{ab}	195.70±23.52^{ab}
70 : 30 : 10	303.83±77.14^{a}	-6.37±0.44^{a}	251.67±65.16^{a}	248.95±62.86^{ab}
60 : 40 formula				
60 : 40 : 5	261.15±113.17^{ab}	-7.25±2.62^{a}	199.05±95.71^{ab}	193.28±92.68^{ab}
60 : 40 : 7.5	270.11±86.11^{a}	-6.11±0.36^{a}	208.97±72.34^{ab}	200.86±70.33^{ab}
60 : 40 : 10	226.55±4.00^{ab}	-5.10±2.62^{a}	176.76±2.40^{ab}	173.99±0.47^{ab}

$^{a, b, c}$ Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); Mean values ± standard deviation of 3 replications.

สำหรับผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4) พบว่าเม็ดไข่มุกสูตร 70:30, 60:40 และ 50:50 ได้คะแนนความชอบทุกด้านน้อยกว่าสูตรควบคุม โดยผู้บริโภคให้การยอมรับสูตร 70:30 และ 60:40 เนื่องจากคะแนนทางประสาทสัมผัสในทุกด้านอยู่ในช่วง 6 ถึง 9 คือ มีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมากที่สุด ยกเว้นลักษณะเนื้อสัมผัสของสูตร 60:40 ที่มีคะแนนความชอบเป็น 5.80

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเม็ดไข่มุกสูตร 70:30 และ 60:40 ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเม็ดไข่มุกสูตรทางการค้ามากขึ้น เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่ได้ยังมีค่าความแข็ง ความหนืบ และค่าความทนทานต่อการเคี้ยวน้อย และมีค่าความเหนียวมากกว่าเม็ดไข่มุกทางการค้า โดยการพัฒนาต่อไปจะเป็นการใช้แป้งดัดแปรชนิด acetylated distarch phosphate ซึ่งเป็นแป้งที่มีระดับการครอสลิงค์ (cross link) ต่ำ ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่นต่อผลิตภัณฑ์

4.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งดัดแปรที่ใช้ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก

ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวก่ำ และแป้งดัดแปร ดังตารางที่ 5 พบว่าสูตรเม็ดไข่มุก 60:40 ที่เติมแป้งดัดแปรในทุกระดับ มีสมบัติด้านความหนืดทุกด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับสูตรเม็ดไข่มุก 70:30 พบว่าการเติมแป้งดัดแปรที่ระดับร้อยละ 7.5 และ 10 มีสมบัติด้านความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การเติมแป้งดัดแปรที่ระดับร้อยละ 5 ส่งผลให้ค่า peak viscosity และ break down ต่ำกว่าสูตรที่เติมแป้งดัดแปรร้อยละ 7.5 และ 10 อย่างไรก็ตาม แป้งสูตรเม็ดไข่มุกทั้งสองสูตรที่ทุก ๆ ระดับการเติมแป้งดัดแปรมีสมบัติด้านความหนืดทุกด้านต่ำกว่าสูตรควบคุม (ไม่เติมแป้งดัดแปร) เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะแป้งสูตรเม็ดไข่มุก 70:30 และ 60:40 พบว่าแป้งทั้ง 2 สูตร มีค่า peak viscosity เพิ่มขึ้นจากสูตรที่ไม่เติมแป้งดัดแปร ทั้งนี้เนื่องจากการดัดแปรแป้งด้วยวิธีคลอสลิงค์ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ มีความแข็งแรงมากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง โดยเพิ่มความต้านทานต่อความร้อนและสภาพที่มีแรงเฉือน [14]

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณอัตราส่วนการเติมแป้งดัดแปรต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก (ตารางที่ 6) พบว่าสูตรเม็ดไข่มุกที่เติมแป้งดัดแปรในทุกระดับมีค่าความแข็ง (hardness) ความเหนียว (adhesiveness) ความหนืบ (gumminess) และความทนทานต่อการเคี้ยว (chewiness) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าทางลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเม็ดไข่มุกทางการค้ามากกว่าสูตรเม็ดไข่มุกที่ไม่ได้เติมแป้งดัดแปร

สำหรับระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุกที่เติมแป้งดัดแปรระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 7) พบว่าสูตรเม็ดไข่มุกที่เติมแป้งดัดแปรในทุกระดับมีระยะเวลาในการต้มสุกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุกสูตรควบคุม ดังนั้นเนื่องจากสมบัติด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุกสูตร 70:30 และ 60:40 ไม่แตกต่างกันที่ระดับการเติมแป้งดัดแปรต่างๆ ดังนั้นจึงเลือกสูตรเม็ดไข่มุก 70:30 และ 60:40 ซึ่งเติมแป้งดัดแปรต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 5 ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 6) พบว่าเม็ดไข่มุกสูตร 70:30 ที่เติม

Table 7 Cooking time of Kaimook from different ratios of tapioca flour and purple rice flour and modified starch

Tapioca : Ppurple rice : Modified starch	Cooking time (min)
Control	
100 : 0 : 0	20.00±0.00[a]
70 : 30 formula	
70 : 30 : 5	16.50±2.12[b]
70 : 30 : 7.5	15.50±2.12[b]
70 : 30 : 10	15.50±0.71 [b]
60 : 40 formula	
60 : 40 : 5	15.50±0.71[b]
60 : 40 : 7.5	15.50±0.71[b]
60 : 40 : 10	15.00±0.00[b]

[a, b, c] Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); Mean values ± standard deviation of 3 replications.

แป้งดัดแปรร้อยละ 5 มีคะแนนความชอบในทุกด้านยกเว้นด้านสี ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดไข่มุกสูตร 60 : 40 พบว่าสูตร 70 : 30 ได้รับคะแนนความชอบในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าสูตร 60 : 40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกเม็ดไข่มุกสูตรดังกล่าวสำหรับการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในการทดลองถัดไป

4.3 ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำ

การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำสูตร 70 : 30 ที่เติมแป้งดัดแปรร้อยละ 5 ด้วยวิธี DPPH พบว่าค่า EC_{50} ซึ่งหมายถึงปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดจากเม็ดไข่มุกข้าวก่ำที่ทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าลดลงร้อยละ 50 มีค่าเท่ากับ 10.66 mg/mL (รูปที่ 1) แสดงให้เห็นว่าเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากแป้งข้าวก่ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในเม็ดไข่มุกร้อยละ 30 เป็นข้าวที่มีสีออกม่วงแดง ซึ่งจากผลงานวิจัยข้าวก่ำของหน่วยวิจัยข้าวก่ำ (PRRU) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าสารสีม่วงแดงของเปลือกหุ้มเมล็ด คือ แอนโธไซยานินซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [2] เมื่อเปรียบเทียบ

Table 8 Sensory evaluation score of Kaimook with adding modified starch

Tapioca : Ppurple rice : Modified starch	Attribute				
	Color	Appearance[ns]	Flavor	Texture	Overall likings
100 : 0 : 0	6.92±1.21[b]	7.07±1.13	7.13±1.13[a]	7.08±1.61[a]	7.22±0.94[a]
70 : 30 : 5	7.48±1.07[a]	7.25±1.31	7.28±1.18[a]	6.85±1.59[a]	7.22±1.12[a]
60 : 40 : 5	7.40±1.17[a]	6.83±1.54	6.57±1.41[b]	5.77±1.76[b]	6.40±1.25[b]

[a, b, c] Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); [ns] Mean values are not significantly different ($p > 0.05$), and mean values+ standard deviation of 60 panelists.

กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรี่และข้าวก่ำด้วยวิธี DPPH พบว่า EC_{50} เท่ากับ 169.67±2.51 µg/mL และ 140.00±1.73 µg/mL ตามลำดับ [15] และเมื่อเปรียบเทียบกับผงชาข้าวก่ำเพาะงอก (ค่า EC_{50} เท่ากับ 4.696 mg/mL) พบว่าค่า EC_{50} ของเม็ดไข่มุกมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าชาข้าวก่ำเพียง 2.3 เท่า [16] ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำเตรียมจากอัตราส่วนของข้าวก่ำต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 30:70 โดยน้ำหนัก ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่า อย่างไรก็ตามจากการที่เม็ดไข่มุกข้าวก่ำเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่ไม่มีการใส่สีสังเคราะห์เจือปน ใช้เวลาในการคืนรูปน้อยกว่าเม็ดไข่มุกทางการค้า และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง จึงจัดได้ว่าเป็นหนึ่งในในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่น่าสนใจ และมีศักยภาพในการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

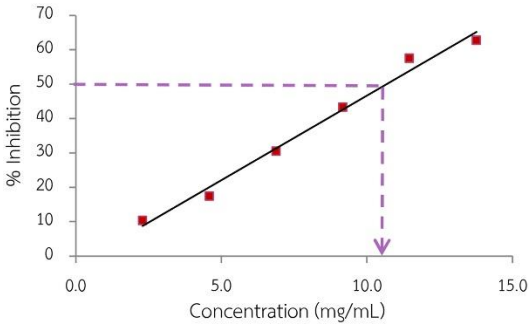

Figure 1 Antioxidant acitivity of Kaimook from purple rice: tapioca flour: modified starch in the ratio of 70 : 30 : 5 by weight

5. สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกโดยใช้ข้าวก่ำ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งข้าวก่ำต่อแป้งดัดแปรเป็น 70:30:5 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้ได้เม็ดไข่มุกที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็ง ค่าความหนืบ และค่าความทนทานต่อการเคี้ยว ไม่แตกต่างกันจากสูตรทางการค้า และได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก โดยเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำมีระยะเวลาในการต้มสุกนาน 16.5 นาที และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแสดงเป็น EC_{50} ซึ่งมีค่า 10.66 mg/mL

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเรื่องการพัฒนาเม็ดไข่มุกกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวก่ำ ประจำปีงบประมาณ 2560

7. References

[1] Food and Drug Administration, Color in Food, Available source: http://elib.fda.moph.go.th, September 23, 2018. (in Thai)

[2] Thaenthanee, W. , 2007, The use of antioxidants from purple glutinous rice bran (*Oryza savita* L.) for oxidative inhibition and increasing production performance in weaned piglets, M. S. Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai.

[3] Karun Manojai, Purple Rice- Nutritious Important Plant Variety Worthy of Conser vation, Available source: http://www.info.nation.co.th/techno/techno, October 10, 2010. (in Thai)

[4] Petpormnak, C., How to Cook Chewy and Non- Stick Kaimook, Available source: http://www.coffeeindy.com, January 24, 2015. (in Thai)

[5] Somto, S., 2004, Physical and Chemical Characteristics and Stability of Thai Pigmented Rice, M. S. Thesis, Silpakorn University, Nakhon Pathom.

[6] Pornchaloempong, P., 2013, Amylopectin, Available source: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0566/amylopectin, May 16, 2015. (in Thai)

[7] Kripanon, L., 2007, Modification of Nonwaxy Rice Starch by Combinations of Heat-Moisture and Chemical Treatments, M.S. Thesis, Silpakorn University, Nakhon Pathom.

[8] Lew, J., Bubble Milk Tea, Available source: http://janlew.blogspot.com/2009/09/bubble-milk-tea.html, January 24, 2015. (in Thai)

[9] Singh, N., Kaur, L. and Nishinari, K., 2003, Relationships physicochemical, thermal, rheological properties of rice starches, Food Hydrocoll. 20: 532-542.

[10] Hsu, CY., Chan, YP. and Chang, J., 2007, Antioxidant activity of extract from *Polygonum cuspidatum*, Biol. Res. 40: 13-21.

[11] Juhász, R. and Salgó, A., 2008, Pasting behavior of amylose, amylopectin and their mixtures as determined by RVA curves and first derivatives, Starch Staerke 60: 70-78.

[12] Thaunkhong, K., Uttapap, D., Puncha-arnon, S., Rungsardthong, V. And Puttanlek, C., 2014, Study on paste behavior of native and modified canna starches for use as a thickening agent, KMUTT Res. Develop. J. 37(1): 61-76. (in Thai)

[13] Kibar, E.A.A., Gönenc, I. and Us, F., 2010, Gelatinization of waxy, normal and high amylose corn starches, GIDA 35: 237-244.

[14] BeMiller, J. and Whistler, R., 2009, Starch: Chemistry and Technology, 3rd Ed., Elsevier Inc., Alpharetta, GA.

[15] Soradech, S., Reungpatthanaphong, P., Tangsatirapakdee, S., Panaphong, K., Thammachat T, Manchun, S. and Thub thimthed, S., 2016, Radical scavenging, antioxidant and melanogenesis stimulating activities of different species of rice (*Oryza sativa L.*) extracts for hair treatment formulation, 40(Suppl.): 92-95.

[16] Noosing, S., Mundee, P. and Leelawat, B., 2014, Development of instant germinated purple rice tea, Thai Sci. Technol. J. 22(3): 337-346. (in Thai)