

<http://journal.rmutp.ac.th/>

ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อคุณภาพของเม็ดยาหมักจากการใช้แป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างออกทดแทนแป้งมันสำปะหลัง

ดวงรัตน์ สนนาค¹ รวิศรา ชื่นประไพ¹ ดวงกมล แสงธีรกิจ² และ ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์^{1*}

¹ สาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² สาขาวิชาการจัดการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

¹ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² 85 ถนนมาลัยแมน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

รับบทความ 18 พฤษภาคม 2564 แก้ไขบทความ 6 ธันวาคม 2564 ตอรับบทความ 29 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดยาหมักด้วยการใช้แป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างออก โดยมีสูตรพื้นฐานการผลิตเม็ดยาหมักจากแป้งมันสำปะหลังล้วน ออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดยาหมัก จาก 3 ตัวแปร ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ 45-85) แป้งข้าวกล้องงอก (ร้อยละ 5-35) และแป้งข้าวเหนียวต่างออก (ร้อยละ 10-50) ต่อคุณภาพทางกายภาพ และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองพบว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ลดลง ส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของเม็ดยาหมักลดลง ปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลค่าความแข็ง และค่าความเหนียวลดลง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งข้าวเหนียวต่างออกในเม็ดยาหมักส่งผลให้ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวสูงกว่าเม็ดยาหมักที่ผลิตด้วยแป้งข้าวกล้องงอก เม็ดยาหมักที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 85 แป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 5 และแป้งข้าวเหนียวต่างออกร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบใกล้เคียงสูตรพื้นฐานมากที่สุด จากนั้นศึกษาปริมาณแซนแทนกัมต่อกัวร์กัมที่ 0:1, 1:0, 0.75:0.25, 0.25:0.75 และ 0.5:0.5 โดยมีสูตรที่ไม่ใส่แซนแทนกัมและกัวร์กัมเป็นสูตรควบคุม พบว่าการใส่แซนแทนกัมและกัวร์กัมส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของเม็ดยาหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณแซนแทนกัมต่อกัวร์กัมที่ดีที่สุดคือ ร้อยละ 0.25:0.75 เนื่องจากช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสและได้รับคะแนนความชอบสูงสุด เม็ดยาหมักที่พัฒนาได้มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบเท่ากับร้อยละ 71.58, 99.51, 0.20, 0.11, 0.18 และ 0.0029 ตามลำดับ ค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 173.08 กิโลแคลอรี ต่อ 1 เสิร์ฟ (43 กรัม)

คำสำคัญ : เม็ดยาหมัก; แป้งข้าวกล้องงอก; แป้งข้าวเหนียวต่างออก; แซนแทนกัม; กัวร์กัม

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Effect of Xanthan Gum and Guar Gum on the Qualities of Boba from Germinated Brown Rice Flour and Germinated Black Glutinous Rice Flour Substituted Cassava Flour

Tuangrat Sonnak¹ Rawisara Chuenprapai¹ Duangkamon Sangteerakij² and Parisut Chalermchaiwat^{1*}

¹ Food and Nutrition Program, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

² Food management program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

¹ 50 Ngam Wong Wan Road, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

² 85 Malaiman Road, Muang, Nakhon Pathom 73000

Received 18 May 2021; Revised 6 December 2021; Accepted 29 December 2021

Abstract

The aim of this research was to develop boba products by using germinated brown rice flour and germinated black glutinous rice flour. The basic formula of boba is made with cassava flour. Mixture design was used to optimize the formula of the boba production from three variables: cassava flour (45-85%), germinated brown rice flour (5-35%), and germinated black glutinous rice flour (10-50%) on the physical and sensory qualities of the product. The results showed that decreasing cassava flour content decreased the lightness, hardness and gumminess of boba. Increasing of germinated brown rice flour decreased the hardness and gumminess of boba. An increasing in amount of germinated black glutinous rice flour in boba resulted in higher values of hardness and stickiness than boba with germinated rice flour. Boba made with 85% cassava flour, 5 % germinated brown rice flour and 10% black germinated glutinous rice flour had liking score closest to the basic formula. The effects of the xanthan gum to guar gum ratio at 0:1, 1:0, 0.75:0.25, 0.25:0.75 and 0.5:0.5 on the physical and sensory qualities of the product were investigated. The formula without xanthan gum and guar gum served as control. Results showed that, compared to the control, the addition of xanthan gum and guar gum increased lightness, yellowness, hardness and gumminess. The most desirable level of xanthan-guar gum was at 0.25:0.74%, as it improved textural quality and had the highest liking score of the boba. The developed boba had moisture, carbohydrates, fats, proteins, ash and crude fibers which were 71.58, 99.51, 0.20, 0.11, 0.18 and 0.0029, respectively. The energy value determined by Bomb calorimeter which was 173.08 kcal per 1 serving (43 g).

Keywords : Boba; Germinated Brown Rice Flour; Black Germinated Glutinous Rice Flour; Xanthan Gum; Guar Gum

** Corresponding Author. Tel.: +668 1448 4577, E-mail Address: fagrpsch@ku.ac.th*

1. บทนำ

ขานมไข่มุก เป็นเครื่องดื่มที่มีต้นกำเนิดจากประเทศไต้หวัน [1] ตัวเม็ดไข่มุกผลิตมาจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำร้อน สีของเม็ดไข่มุกจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีเหลืองทองที่ได้มาจากน้ำตาลทรายแดง หรือสีดำที่ได้มาจากน้ำตาลทรายแดงผสมกับผงโกโก้ คาราเมล หรือสีผสมอาหาร [2] ผลวิจัยของบริษัท Allied Analytics เปิดเผยมูลค่าตลาดขานมไข่มุกทั่วโลกอยู่ที่ 65,000 ล้านบาท และคาดว่าจะเติบโตถึง 1 แสนล้านบาทภายในปีพ.ศ. 2566 [3] ข้อมูลของ Grab food ในปี พ.ศ. 2561 รายงานว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการบริโภคขานมไข่มุกมากที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยบริโภคเฉลี่ยเดือนละ 6 แก้วต่อคน [4] และอาจเป็นเครื่องดื่มที่สามารถบริโภคได้ทุกวันในอนาคต ด้วยปริมาณการบริโภคที่มากเกินไปจนก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพ เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคหัวใจ และโรคไต [5]

ปัจจุบันมีการพัฒนาขานมไข่มุกเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพมากขึ้น เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขานมไข่มุกที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ [6] การพัฒนาเม็ดไข่มุกจากมันม่วงกึ่งสำเร็จรูป [7] และการพัฒนาเม็ดไข่มุกจากแป้งข้าวเจ้า [2] เป็นต้น ซึ่งหนึ่งในวัตถุดิบแป้งที่น่าสนใจของไทยที่นิยมนำมาใช้มากขึ้นก็คือแป้งข้าวกล้องงอก

แป้งข้าวกล้องงอก สามารถผลิตได้จากข้าวกล้องทั้งจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยการนำข้าวกล้องไปแช่น้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการงอกของรากยาว 1-2 มิลลิเมตร [8] ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกจะมีสารสำคัญ ชื่อ กาบา (Gamma Aminobutyric Acid; GABA) ที่ทำหน้าที่ช่วยบำรุงสมอง ป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ ลดความดันโลหิต แก้ไขอาการนอนไม่หลับ และป้องกันเส้นเลือดในสมองแตกได้ [9]

ในการบริโภคเม็ดไข่มุก ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคยอมรับก็คือ เหนียว นุ่ม หนึบ และเคี้ยวเพลิน [10] แต่การนำแป้งข้าวกล้องงอกมาทดแทนแป้งมันสำปะหลังอาจส่งผลให้เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งจากงานวิจัย พบว่า สารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แขนแทนกัม และกัวร์กัม สามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกให้ดีขึ้นได้ [11] เนื่องจากแขนแทนกัม และกัวร์กัมมีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด ช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอาหาร [12] เมื่อใช้ร่วมกันจะยิ่งช่วยเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้ [13] ซึ่งในปัจจุบัน พบว่า มีหลายงานวิจัยที่นำสารไฮโดรคอลลอยด์มาใช้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น งานวิจัยของจิตรา [14] ที่ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังเพื่อสุขภาพจากแป้งแกลนเตวัน และการเติมแขนแทนกัม งานวิจัยของกรรณิการ์และพนารัตน์ [15] ที่ศึกษาผลของกัวร์กัมต่อคุณภาพของวาฟเฟิลชนิดกรอบปราศจากกลูเตนจากแป้งมันเทศสีม่วง และงานวิจัยของพงศ์พิพัฒน์และกมลวรรณ [16] ที่ศึกษาผลของจิงหรีดผง โปรตีนถั่วเหลืองสกัด และแขนแทนกัมที่มีต่อคุณภาพคุกกี้แป้งข้าวเจ้า เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการนำแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างออกมาทดแทนแป้งมันสำปะหลังในการพัฒนาเม็ดไข่มุก และปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสร้างความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับคนที่รักสุขภาพ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัตถุดิบและการผลิตเม็ดไข่มุก

2.1.1 วัตถุดิบ

แป้งมันสำปะหลังตราปลามังกร น้ำตาลทรายแดงตราวังขนาย น้ำเชื่อมตรามิตรผล แขนแทนกัม และกัวร์กัมจากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด แป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างอกได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเมดิฟูดส์ (ประเทศไทย) จำกัด

2.1.2 ขั้นตอนการผลิตเม็ดไข่มุกสูตรพื้นฐาน

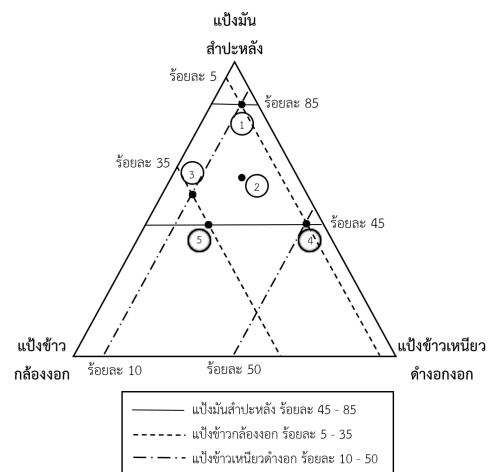
สูตรพื้นฐานเม็ดไข่มุกได้จากแป้งมันสำปะหลัง ล้วน ตัดแปลงมาจากการวิจัยของบุศราภาและคณะ [2] โดยนำน้ำตาลทรายแดง 15 กรัมผสมในน้ำเปล่า 43 กรัมและนำมาละลายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นเทผสมลงในแป้งมันสำปะหลัง 60 กรัม แล้วนวดให้เป็นก้อนเดียวกันภายใน 3 นาที นำพิมพ์ทองเหลือง กดบัวลอยขนาด 2.5 นิ้ว กดลงบนก้อนแป้งจนเต็มช่อง นำออกมาจากพิมพ์ วัดความยาวของแป้งให้ได้ 4 มิลลิเมตร แล้วปั้นเป็นก้อนกลม จะได้ขนาดเม็ดไข่มุกที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 6 มิลลิเมตร นำไข่มุก ลงต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนเม็ด ไข่มุกลอยน้ำแล้วจับเวลา 20 นาที จากนั้นปิดไฟพร้อม ปิดฝาหม้ออีก 20 นาที นำเม็ดไข่มุกมาล้างผ่านน้ำแล้ว แช่ในน้ำเชื่อมปริมาณ 10 กรัม

2.2 การศึกษาการทดแทนแป้งมันสำปะหลัง ด้วยแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวดำ อกต่อคุณภาพทางกายภาพและประสาท สัมผัสของเม็ดไข่มุก

ศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วย แป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวดำออกต่อคุณภาพ ของเม็ดไข่มุก โดยมีปริมาณน้ำ และน้ำตาลคงที่ตาม วิธีการผลิต ข้อ 2.1.2 วางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design) และกำหนดปัจจัยที่ทำการศึกษ แบบกำหนดช่วง (Constrained Simplex Lattice Mixture Design) โดยมีช่วงปัจจัยที่ศึกษา ดังนี้ แป้งมัน สำปะหลังร้อยละ 45-85 แป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 5- 35 และแป้งข้าวเหนียวดำอกร้อยละ 10-50 ได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1 ภาพ Mixture Design แสดงการซ้อนทับกันดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมี เม็ดไข่มุกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังล้วนเป็นสูตร พื้นฐาน

ตารางที่ 1 สิ่งทดลองที่มีปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้องงอก และแป้งข้าวเหนียวดำออกที่แตกต่างกัน

สิ่ง ทดลอง	แป้งมัน สำปะหลัง (ร้อยละ)	แป้งข้าว กล้องงอก (ร้อยละ)	แป้งข้าว เหนียวดำออก (ร้อยละ)
1	85	5	10
2	65	20	15
3	55	35	10
4	45	5	50
5	45	35	20



รูปที่ 1 Mixture Design แสดงการทับซ้อนกันของ ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้องงอก และแป้ง ข้าวเหนียวดำออกที่แตกต่างกัน

2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

นำเม็ดไข่มุกมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ดังนี้

2.2.1.1 วัดค่าสี ในระบบ CIE Lab โดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น ColorFlex โดยค่าสี L^* (ค่าความสว่าง มีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุที่มีความมืดสนิทสีดำ และค่า 100 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างมีสีขาว) ค่าสี a^* (+ หมายถึง วัตถุที่มีสีแดง, - หมายถึง วัตถุที่มีสีเขียว) ค่าสี b^* (+ หมายถึง วัตถุที่มีสีเหลือง, - หมายถึง วัตถุที่มีสีน้ำเงิน) วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.2.1.2 วัดค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA.XT plus ประเทศอังกฤษ วัดแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ใช้หัววัด Cylinder Probe P/50 ภายใต้สภาวะการวัด ดังนี้ Pre-test Speed 1.00 มิลลิเมตรต่อวินาที Post-test Speed 5.00 มิลลิเมตรต่อวินาที Test Speed 5.00 มิลลิเมตรต่อวินาที Trigger Force 5 กรัม และ Strain ร้อยละ 75 รายงานผลเป็นค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการติดฟัน (Adhesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness)

2.2.2 การประเมินทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale ทดสอบชิมเม็ดไข่มุกพร้อมกับขนม ประเมินความชอบในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม ความเหนียว รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

2.3 การศึกษาอิทธิพลการใช้แซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อคุณภาพของเม็ดไข่มุก

นำสูตรที่ได้รับค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบมากที่สุดจากข้อที่ 2.2 มาศึกษาปริมาณแซนแทนกัมและกัวร์กัม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ศึกษาอัตราส่วนของแซนแทนกัมต่อกัวร์กัมทั้งหมด 5 ระดับ คือ 0 : 1 , 1 : 0 , 0.5 : 0.5 , 0.75 : 0.25 และ 0.25 : 0.75 ของปริมาณแป้งทั้งหมด โดยผสมลงไปพร้อมกับแป้ง มีปริมาณน้ำและน้ำตาลคงที่ตามวิธีการผลิต ข้อ 2.1.2 แล้วนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสตามวิธีการข้อ 2.2.1 และ 2.2.2

2.4 การศึกษาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกที่พัฒนาได้เปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน

นำสูตรเม็ดไข่มุกที่ได้รับค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบมากที่สุดจากข้อ 2.3 มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ดังนี้

2.4.1 วัดปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใยหยาบ และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC [17] วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.4.2 วัดค่าพลังงานสะสม โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ยี่ห้อ PARR รุ่น 6100 ประเทศสหรัฐอเมริกา รายงานเป็นหน่วยกิโลแคลอรี วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.5 ศึกษาต้นทุนการผลิตเม็ดไข่มุก

คำนวณต้นทุนการผลิตของเม็ดไข่มุกต่อ 1 เสิร์ฟ โดยไม่รวมค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน ค่าเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ และค่าเสียหุ้ย ตามวิธีการของอินทราและคณะ [18]

2.6 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan' s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. ผลและวิจารณ์การทดลอง

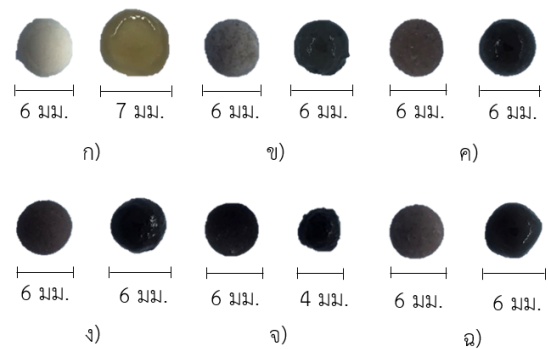
3.1 ผลการศึกษาการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างออกต่อคุณภาพของเม็ดไข่มุก

ลักษณะของเม็ดไข่มุกที่ได้จากการทดแทนแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า เม็ดไข่มุกก่อนต้มมี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรเท่ากันทุกสูตร แต่หลังจากต้ม พบว่า เม็ดไข่มุกสูตรที่ 2 ก) ซึ่งเป็นสูตรแป้งมันสำปะหลังล้วน มีขนาดเพิ่มขึ้น 1 มิลลิเมตร เกิดจากโครงสร้างร่างแหของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ไม่แข็งแรงมาก เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงถึง ร้อยละ 81 [19] ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ดีในระหว่างกระบวนการต้ม ในขณะที่แป้งข้าวมีโครงสร้างร่างแหที่มีความแข็งแรงมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลเพกตินน้อยกว่า (ร้อยละ 0.59) [20] ทำให้ในระหว่างกระบวนการต้ม แป้งจะเกิดการพองตัวน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง [20] และเม็ดไข่มุกสูตรที่ 2 จ) เป็นสูตรที่มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวต่างออกมากที่สุด พบว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางหลังต้มลดลงเหลือ 4 มิลลิเมตร อาจมีสาเหตุมาจากแป้งข้าวเหนียวต่างออกมีปริมาณอะไมโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ ถูกทำลายได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน [2] ส่งผลให้แป้งบางส่วนหลุดหายไป ในระหว่างกระบวนการต้ม นอกจากนั้นโครงสร้างของแป้งมีผลต่อคุณสมบัติการบวมในขั้นตอนการต้ม แป้งจากข้าวมีโครงสร้างผลึกแบบ A มีการจัดเรียงตัวของพันธะที่หนาแน่น และปริมาณพันธะไฮโดรเจนสูง จึงมีระดับการบวมและการละลายต่ำ ส่วนแป้งจากมันสำปะหลังมีโครงสร้างผลึกทั้งแบบ A และแบบ C ปริมาณพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า มีกำลังการบวมและการละลายสูงกว่า [21], [22]

การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า เม็ดไข่มุกสูตรที่ 4 ก่อนต้ม ที่มีสัดส่วนของแป้งข้าวเหนียวต่างออกมากที่สุด มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงที่สุด ในขณะที่ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากสีของแป้งข้าวเหนียวต่างออกมีสีม่วงดำจากรงควัตถุของสารแอนโทไซยานิน [23] ทำให้เมื่อใส่ในปริมาณมาก สีของเม็ดไข่มุกจะเปลี่ยนแปลงไป สอดคล้องกับงานวิจัยของปัทมิตาและคณะ [24] ที่ศึกษาการพัฒนาขนมเทียนจากแป้งข้าวเหนียวดำสดใส่ัญพืชและพืชหัวสีม่วงที่พบว่า เมื่อมีสัดส่วนแป้งข้าว

เหนียวต่ำมาก ก็ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกจากแป้งข้าวกล้องงอก และแป้งข้าวเหนียวต่างออกก่อนต้ม (ซ้าย) และหลังต้ม (ขวา) ที่มีสัดส่วนแตกต่างกัน ก) สูตรพื้นฐาน ข) สูตรทดลองที่ 1 ค) สูตรทดลองที่ 2 ง) สูตรทดลองที่ 3 จ) สูตรทดลองที่ 4 และ ฉ) สูตรทดลองที่ 5

ในส่วนของเม็ดไข่มุกหลังต้ม พบว่า เม็ดไข่มุกทุกสูตรมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) น้อยกว่าสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในระหว่างกระบวนการต้ม โมเลกุลของน้ำจะเข้าไปแทรกซึมในเม็ดแป้งทำให้เมื่อเม็ดแป้งสุกจะมีความใสขึ้น [13] แต่เนื่องจากสูตรพื้นฐานผลิตจากแป้งมันสำปะหลังล้วนทำให้เม็ดไข่มุกที่สุกแล้วมีความใสสว่างกว่าสูตรอื่นที่มีแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างออกเป็นส่วนผสม ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า เม็ดไข่มุกสูตรพื้นฐานมีค่าความแข็ง (Hardness) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าการติดฟัน (Adhesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) พบว่า เม็ดไข่มุกสูตรที่ 5 มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากสูตรนี้มีสัดส่วนของแป้งข้าวกล้องงอกใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลัง เมื่อแป้งข้าวกล้องงอกผ่านกระบวนการงอกจะทำให้แป้งมีความหนืดลดลง สาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์

อะไมเลสที่ไปทำการย่อยคาร์โบไฮเดรตให้มีโมเลกุลเล็กลง [25] ทำให้เม็ดไข่มุกมีเนื้อสัมผัสนุ่มและมากกว่าเม็ดไข่มุกที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังล้วน นอกจากนี้ในแป้งข้าวมีสลายอะไมเลสสั้นกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเกิดเจลจะทำให้แป้งเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วกว่า และเจลแป้งมี

ความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยกว่า [26] ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกมีความนุ่มเหนียว และติดฟันน้อยลง ในขณะที่เม็ดไข่มุกสูตรที่ 1 นั้นมีค่าเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐานมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากที่สูตรนั่นเอง

ตารางที่ 2 ค่าสีของเม็ดไข่มุกที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้องงอก และแป้งข้าวเหนียวต่างอกที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (L*)		ค่าความเป็นสีแดง (a*)		ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	
	ก่อนต้ม	หลังต้ม	ก่อนต้ม	หลังต้ม	ก่อนต้ม	หลังต้ม
สูตรพื้นฐาน	49.89±0.04 ^a	34.87±0.27 ^a	2.64±0.04 ^d	3.50±0.07 ^a	15.67±0.10 ^a	16.78±0.27 ^a
1	29.37±0.07 ^b	18.48±0.10 ^e	2.42±0.21 ^d	-0.35±0.22 ^c	4.99±0.15 ^b	-0.21±0.12 ^c
2	20.84±0.20 ^d	21.23±0.11 ^d	4.25±0.21 ^c	0.01±0.21 ^c	3.46±0.56 ^c	-0.33±0.40 ^c
3	23.56±0.10 ^c	25.16±0.11 ^b	4.19±0.26 ^c	-0.08±0.23 ^c	5.37±0.51 ^b	1.53±0.40 ^b
4	6.50±0.19 ^f	13.72±0.85 ^f	7.25±0.31 ^a	1.31±0.27 ^b	0.21±0.49 ^e	-1.01±0.28 ^d
5	19.47±0.02 ^e	24.36±0.14 ^c	4.61±0.14 ^b	1.54±0.22 ^b	2.60±0.03 ^d	-0.08±0.21 ^c

หมายเหตุ a-f คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้องงอก และแป้งข้าวเหนียวต่างอกที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าความแข็ง	ค่าการติดฟัน	ค่าความยืดหยุ่น	ค่าความเหนียว	ค่าความทนทานต่อการเคี้ยว
สูตรพื้นฐาน	468.18±19.39 ^a	-0.93±0.74 ^a	0.93±0.03 ^{ab}	371.79±12.97 ^a	346.60±18.34 ^a
1	400.99±13.98 ^b	-1.07±0.47 ^a	0.97±0.05 ^a	274.85±9.42 ^b	266.47±17.43 ^b
2	259.92±20.93 ^d	-1.28±0.66 ^{ab}	0.89±0.49 ^b	151.30±11.30 ^e	135.05±12.72 ^e
3	313.18±19.15 ^c	-1.17±0.60 ^{ab}	0.90±0.04 ^b	178.09±13.17 ^d	159.83±16.48 ^d
4	402.44±49.65 ^b	-1.74±0.81 ^{ab}	0.82±0.09 ^c	238.20±30.47 ^c	195.71±31.90 ^c
5	293.54±18.85 ^c	-2.03±0.73 ^b	0.69±0.04 ^d	127.97±8.83 ^f	88.40±8.52 ^f

หมายเหตุ a-f คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า เม็ดไข่มุกที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างอกมีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบทุกด้านน้อยกว่าสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก

ผลการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่า การทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างอกในปริมาณมาก (สูตรที่ 4 และ 5) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติมีคะแนนน้อยที่สุด เนื่องจากแป้งข้าวกล้องงอกและแป้ง

ข้าวเหนียวต่างอวกมิกลิ้นรสที่เฉพาะตัว เมื่อใช้ในปริมาณมากทำให้กลิ่นรสของเม็ดไข่มุกแรงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของสุนันและจตุรงค์ [9] ที่รายงานว่ากระบวนการงอกของข้าวจะส่งผลให้เกิดกลิ่นหมักที่ไม่พึงประสงค์ จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติน้อยลง ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านความนุ่ม และความเหนียวของเม็ดไข่มุกมีค่าลดลงตามปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่ลดลงด้วย เนื่องจาก

เม็ดไข่มุกที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการละลายน้ำและการบวมน้ำสูงกว่าแป้งข้าว การต้มทำให้โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่อย่างอิสระ เม็ดแป้งจึงเกิดการบวมน้ำ เมื่อแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งข้าวจะมีความนุ่ม และหนัก แต่แป้งมันสำปะหลังจะมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่นได้ ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเม็ดไข่มุก [19]

ตารางที่ 4 ผลการประเมินการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้องงอก และแป้งข้าวเหนียวต่างอวกที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	สี	กลิ่นรส	ความนุ่ม	ความเหนียว	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
สูตรพื้นฐาน	7.66±0.92 ^a	7.20±1.11 ^a	7.86±0.97 ^a	7.98±1.08 ^a	7.62±1.07 ^a	7.93±0.77 ^a
1	7.18±0.87 ^b	6.58±1.47 ^b	6.96±1.60 ^b	7.22±1.31 ^b	6.94±1.52 ^b	7.12±1.36 ^b
2	6.90±1.58 ^{bc}	5.90±1.18 ^b	6.34±1.53 ^c	5.98±1.57 ^c	6.64±1.56 ^b	6.86±1.21 ^b
3	6.74±1.26 ^{cd}	6.24±1.42 ^{bc}	5.96±1.51 ^c	5.72±1.57 ^c	5.90±1.61 ^c	6.18±1.45 ^d
4	6.64±1.16 ^{cd}	4.52±1.54 ^{cd}	5.02±1.44 ^d	4.68±1.28 ^d	5.50±1.39 ^{cd}	5.40±1.23 ^e
5	6.42±1.42 ^d	5.50±1.49 ^d	4.98±1.27 ^d	4.58±1.27 ^d	5.36±1.52 ^d	5.28±1.34 ^d

หมายเหตุ a-e คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ อีกทั้งยังมีคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าเนื้อสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 3 ใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐานมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะจากผู้ทดสอบกล่าวว่าตัวอย่างเม็ดไข่มุกที่ชิม มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและเหนียวไม่เหมือนเม็ดไข่มุกทางการค้าทั่วไป ดังนั้น จึงคัดเลือกสูตรที่ 1 เพื่อใช้เป็นสูตรควบคุมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสด้วยการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แขนแทนกัมและกัวร์กัม เพื่อให้มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับไข่มุกทางการค้าต่อไป

3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลการใช้แขนแทนกัมและกัวร์กัมต่อคุณภาพของเม็ดไข่มุก

ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า สูตรที่มีแขนแทนกัมและกัวร์

กัมเพียงอย่างเดียวทั้งก่อนต้มและหลังต้มมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่าสูตรควบคุม (0 : 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสีของแขนแทนกัมและกัวร์กัมมีสีขาวนวลและสีเหลืองตามลำดับ ในขณะที่ค่าความสว่าง (L^*) หลังจากต้มมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของจิตรา [13] ที่ศึกษาการใช้แขนแทนกัมในเส้นก๋วยจั๊บอุบล รายงานว่า เมื่อเติมแขนแทนกัม ทำให้ค่าความสว่าง (L^*) หลังจากต้มเส้นก๋วยจั๊บลดลง เมื่อเส้นผ่านการทำให้สุก โมเลกุลของน้ำจะเข้าไปแทรกในเม็ดแป้ง ทำให้เกิดเจลที่มีความสว่างลดลง อาจเกิดจากการที่แขนแทนกัมมีสีขาวนวล ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) หลังต้มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า สูตรที่ใส่แขนแทนกัมและกัวร์กัมส่งผลให้มีค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว

(Gumminess) มากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเกิดจากโมเลกุลของไฮโดรคอลลอยด์เข้าไปแทรกอยู่ในแป้งและสามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลในโครงสร้าง [27] ปริมาณแซนแทนกัมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น [28] ทำให้ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Gumminess) มีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของกรณิการ์และ

พนารัตน์ [15] ที่ศึกษาการใช้กัวร์กัมในผลิตภัณฑ์วาฟเฟิลชนิดกรอบ พบว่า เมื่อปริมาณกัวร์กัมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ใส่แซนแทนกัมกับกัวร์กัมพบว่า สูตรที่มีแซนแทนกัมมากกว่ากัวร์กัม ได้แก่ สูตรแซนแทนกัมต่อกัวร์กัมร้อยละ 1:0 และ 0.75:0.25 มีค่าความแข็ง (Hardness) มากกว่าสูตรแซนแทนกัมต่อกัวร์กัมร้อยละ 0:1 และ 0.25:0.75

ตารางที่ 5 ค่าสี่ของเม็ดไข่มุกที่เติมแซนแทนกัมและกัวร์กัมในปริมาณที่แตกต่างกัน

แซนแทนกัมต่อกัวร์กัม	ค่าความสว่าง (L*)		ค่าความเป็นสีแดง (a*)		ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	
	ก่อนต้ม	หลังต้ม	ก่อนต้ม	หลังต้ม ^{ns}	ก่อนต้ม	หลังต้ม
0 : 0 (สูตรควบคุม)	27.98±0.04 ^f	6.51±0.18 ^d	3.20±0.09 ^b	-0.88±1.05	6.03±0.08 ^b	-0.58±1.98 ^b
0 : 1	28.58±0.05 ^c	7.29±0.21 ^c	3.70±0.21 ^a	-1.41±1.30	6.68±0.22 ^a	1.14±0.70 ^{ab}
1 : 0	29.81±0.17 ^b	5.28±0.24 ^f	3.50±0.13 ^{ab}	-1.55±0.68	6.84±0.10 ^a	1.68±0.66 ^a
0.5 : 0.5	28.22±0.02 ^d	5.98±0.12 ^e	3.80±0.08 ^a	-1.45±0.19	6.72±0.09 ^a	0.86±0.36 ^{ab}
0.75 : 0.25	28.70±0.03 ^c	9.01±0.19 ^b	3.60±0.07 ^a	-1.47±0.63	7.00±0.07 ^a	1.97±0.58 ^{ab}
0.25 : 0.75	32.06±0.06 ^a	9.97±0.51 ^a	3.18±0.36 ^b	-0.94±0.29	6.70±0.30 ^a	1.31±0.30 ^a

หมายเหตุ a-f คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการศึกษาค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness) พบว่า สูตรที่ใส่แซนแทนกัมและกัวร์กัมในปริมาณที่เท่ากันมีค่ามากที่สุด เนื่องจากเมื่อใช้แซนแทนกัมคู่กับกัวร์กัมทำให้เกิดสารละลายที่มีความหนืดสูง [13] จึงทำให้เม็ดไข่มุก

สูตรแซนแทนกัมต่อกัวร์กัมร้อยละ 0.5 : 0.5 มีลักษณะเหนียวและทนต่อการเคี้ยวที่สุด ในส่วนของค่าความยืดหยุ่น (Springiness) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 6 ค่าเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่เติมแซนแทนกัมและกัวร์กัมในปริมาณที่แตกต่างกัน

แซนแทนกัมต่อกัวร์กัม (ร้อยละ)	ค่าความแข็ง	ค่าการติดฟัน	ค่าความยืดหยุ่น ^{ns}	ค่าความเหนียว	ค่าความทนทานต่อการเคี้ยว
0 : 0 (สูตรควบคุม)	407.84±51.31 ^d	-1.50±1.31 ^{ab}	0.95±0.06	303.76±50.07 ^c	289.15±58.96 ^b
0 : 1	472.59±54.44 ^c	-0.96±0.53 ^a	0.94±0.04	339.87±43.43 ^b	320.02±48.13 ^b
1 : 0	538.19±55.11 ^b	-1.32±0.57 ^a	0.94±0.06	344.43±36.11 ^b	313.55±52.49 ^b
0.5 : 0.5	596.46±51.61 ^a	-1.40±1.22 ^a	0.94±0.04	393.60±36.08 ^a	369.17±46.59 ^a
0.75 : 0.25	518.77±18.73 ^b	-3.31±1.35 ^c	0.98±0.02	322.28±18.30 ^{bc}	289.89±20.11 ^b
0.25 : 0.75	472.43±26.83 ^c	-2.60±1.52 ^{bc}	0.94±0.05	321.38±21.21 ^{bc}	306.41±29.28 ^b

หมายเหตุ a-d คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 7 ผลการประเมินการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่เติมแซนแทนกัมและกัวร์กัมในปริมาณที่ต่างกัน

แซนแทนกัมต่อกัวร์กัม (ร้อยละ)	สี ^{ns}	กลิ่นรส ^{ns}	ความนุ่ม	ความเหนียว	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
0 : 0 (สูตรควบคุม)	7.80±1.47	7.68±1.27	7.54±1.46 ^b	6.70±1.49 ^c	7.50±1.52 ^c	7.24±1.42 ^c
0 : 1	7.70±1.64	7.68±1.33	7.50±1.42 ^b	6.90±1.62 ^{bc}	7.38±1.64 ^c	7.34±1.38 ^{bc}
1 : 0	7.80±1.50	7.78±1.33	7.66±1.84 ^{ab}	7.06±1.97 ^{abc}	6.58±1.83 ^c	7.47±1.65 ^{abc}
0.5 : 0.5	7.80±1.53	7.92±1.16	6.04±1.07 ^c	7.60±1.44 ^a	8.00±1.28 ^{ab}	7.88±1.38 ^a
0.75 : 0.25	7.82±1.59	7.92±1.28	7.98±1.13 ^a	7.28±1.39 ^{ab}	7.78±1.50 ^{bc}	7.80±1.03 ^a
0.25 : 0.75	7.72±1.59	7.86±1.57	7.80±1.47 ^{ab}	7.06±1.87 ^{abc}	8.32±1.35 ^a	7.72±1.54 ^{ab}

หมายเหตุ a-c คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 8 คุณภาพทางเคมีของเม็ดไข่มุกสูตรพื้นฐานและสูตรที่พัฒนาได้

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	สูตรพื้นฐาน	สูตรที่พัฒนาได้
ความชื้น ^{ns} (ร้อยละความชื้นฐานเปียก)	74.86±0.41	71.58±1.56
คาร์โบไฮเดรต ^{ns} (ร้อยละความชื้นฐานแห้ง)	99.79	99.51
ไขมัน ^{ns} (ร้อยละความชื้นฐานแห้ง)	0.14±0.01	0.20±0.07
โปรตีน (ร้อยละความชื้นฐานแห้ง)	0.02±0.01 ^b	0.11±0.02 ^a
เถ้า ^{ns} (ร้อยละความชื้นฐานแห้ง)	0.05±0.01	0.18±0.09
เส้นใยหยาบ (ร้อยละความชื้นฐานแห้ง)	0.0006±0.00 ^b	0.0029±0.00 ^a
พลังงาน ^{ns} (กิโลแคลอรี ต่อ 1 หน่วยบริโภค)	173.54±1.39	173.11±3.52

หมายเหตุ a-b คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่า การใส่แซนแทนกัมและกัวร์กัมไม่ได้ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรส แต่มีผลต่อค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านความนุ่ม ความเหนียว รสชาติ และความชอบโดยรวม การใส่แซนแทนกัม (1 : 0) หรือกัวร์กัม (0 : 1) เพียงอย่างเดียวให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านความนุ่ม ความเหนียว รสชาติ และความชอบโดยรวมกับสูตรควบคุม แต่เมื่อนำแซนแทนกัมและกัวร์กัมมาผสมกันในอัตราส่วน 0.75 : 0.25 และ 0.25 : 0.75 ทำให้ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสดังกล่าวสูงขึ้น โดยสูตรที่ใช้แซนแทนกัมต่อกัวร์กัมร้อยละ 0.25 : 0.75 ได้รับค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในด้านรสชาติสูงที่สุด โดยมี

ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก เมื่อสังเกตคะแนนด้านความชอบโดยรวมจะเห็นว่าผลของการเติมแซนแทนกัมและกัวร์กัมทุกระดับสามารถช่วยเพิ่มคะแนนการยอมรับได้ดีกว่าสูตรควบคุม

3.3 ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกที่พัฒนาได้เปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน

หลังจากพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกพบว่าเม็ดไข่มุกที่พัฒนาได้มีปริมาณโปรตีน และเส้นใยหยาบมากกว่าสูตรพื้นฐานดังแสดงในตารางที่ 8 เนื่องจากแป้งข้าวกล้องงอกมีปริมาณโปรตีน และเส้นใยมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ดังที่มณฑานติและคณะ [29] ได้รายงานว่าแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยน้อย

ที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งอื่นๆ แต่เนื่องจากการใช้แป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างออกทดแทนได้ในปริมาณน้อย จึงทำให้ค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยสำหรับค่าพลังงานของสูตรที่พัฒนาได้ และสูตรพื้นฐานพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.4 ต้นทุนในการผลิตเม็ดไข่มุกที่พัฒนาได้

จากการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้จากต้นทุนวัตถุดิบ โดยไม่รวมต้นทุนด้านแรงงาน ค่าน้ำ ค่าไฟ และค่าเครื่องมือต่างๆ พบว่าผลิตภัณฑ์มีราคาต้นทุนต่อ 1 หน่วยบริโภค (43 กรัม) เท่ากับ 1.12 บาท ซึ่งต้นทุนของสูตรมาตรฐาน ต่อ 1 หน่วยบริโภค (43 กรัม) เท่ากับ 1.10 บาท ซึ่งราคาเม็ดไข่มุกสูตรที่พัฒนาได้ไม่ได้แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน จึงเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการในการสร้างความหลากหลายให้ผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกได้

4. สรุป

สูตรเม็ดไข่มุกที่พัฒนาได้ ประกอบไปด้วยแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 85 แป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 5 แป้งข้าวเหนียวต่างออกร้อยละ 10 แชนแทนกัมร้อยละ 0.25 และกัวร์กัมร้อยละ 0.75 ซึ่งเป็นสูตรที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบชอบปานกลางถึงชอบมาก มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบ ร้อยละ 99.51 0.20 0.11 0.18 และ 0.0029 (ความชื้นฐานแห้ง) ตามลำดับ หนึ่งหน่วยบริโภค (43กรัม) มีพลังงาน 173.08 กิโลแคลอรี และมีราคาต้นทุน 1.12 บาท งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวเหนียวต่างอกมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทเมดิฟูดส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์แป้งข้าวกล้องงอก และแป้ง

ข้าวเหนียวต่างอกในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในงานวิจัยนี้จนเสร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Benjaploy, "Factor affecting consumer pearl milk tea a case study tea more," M.S. thesis, Dept. Market., RMUTP Univer., Bangkok, Thailand, 2016.
- [2] B. Leelawat, "Development of Kaimook from Purple Rice," *Thai Science and Technology Journal*, vol. 28, no. 3, pp. 455-465, Mar. 2020.
- [3] S. Pijitchumpho. "Marketing mix factors and consumer behavior influencing the decision to buy Bubble tea drink of KAMU brand for consumer in CentralPlaza WestGate," in *The 7th RMUTT Global Business and Economics National Conference Business Challenges 2020*, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand, 2020, pp. 246-258.
- [4] The standard. (2019, October 10). Look at Pearl Milk Tea Market in Thailand through The Alley, who sells 100,000 cups a month and wants to be an Iconic Brand. [Online]. Available: <https://thestandard.co/the-alley-bubble-tea-market/>
- [5] K. Makynen. (2020, January 15). Disadvantages of Pearl Milk Tea. [Online]. Available: <https://www.chula.ac.th/cuinside/26351>
- [6] E. Upshall. (2019, October 20). Holista team up with Fruit Hub to develop healthy bubble tea. [Online]. Available: <https://www.foodbev.com/news/holista-te>

- am-up-with-fruit-hub-to-develop-healthy-bubble-tea/
- [7] ThaiPRnet. (2020, April 25). Songkhla Vocational College's students invented the recipes of boba pearl from instant purple sweet potato. [Online]. Available: <https://www.ryt9.com/s/prg/3117215>.
- [8] W. Watchara-r-parpaiboon, "Development of High Nutritional Product of Germinated Brown Rice," M.S. thesis, Dept. Biochem. Tech., KMUTT Univ., Bangkok, Thailand, 2007.
- [9] S. Parnsakhorn and J. Lungkapin. *Brown rice is easy to made and high benefits*, Bangkok: Triple Group, 2013.
- [10] N. Ratasrisomboon, "The Effect of Modified Starch onto the Quality of Tapioca Pearl under Low Temperature Storage in Sucrose Syrup," Ph.D. dissertation, Dept. Agro-industry., Assumption Univ., Bangkok, Thailand, 2016.
- [11] W. Paphonyanyong, K. Srikaeo and C. Lerdluksamee, "Effects of hydrocolloids on texture and starch digestibility of cooked waxy rice," *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 47, no. 1, pp. 643-650, 2019.
- [12] Y. Khuntiwattanakul, "Effect of Xanthan Gum and Guar Gum on Physical Properties of Rice Starches," M.S. thesis, Dept. Product Development., Kasetsart Univ., Bangkok, Thailand, 2007.
- [13] J. Singthong, "Effect of Hydrocolloids on Quality Improvement of Ubon Noodles," *Ubon Ratchathani University Portal site for E-Thesis & E-Research*, 2012.
- [14] J. Singthong. "Development of Healthy Bread Product from Sunchoke (*Helianthus tuberosus* L.) Flour," *Journal of Science & Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 76-89, Jan. - Apr. 2019.
- [15] K. Kanyanee and P. Sungin, "The Effect of Gur Gum on the Qualities of Gluten Free Crispy Waffle from Sweet Purple Potato Flour," *Dusit Thani College Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 315-329, Jan. - Apr. 2019.
- [16] P. Sanom and K. Jangchud, "Effect of Cricket (*Acheta Domesticus*) Powder, Soy Protein Isolate and Xanthan Gum on the Qualities of Rice Flour based Cookies," *RMUTP Research Journal*, vol. 14, no.2, pp. 72-84, Jul. - Dec. 2020.
- [17] AOAC, Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, 18th ed. Washington DC: Gaithersburg, 2010.
- [18] I. Suwandee, P. Pimgotha, P. Thmtha, S. Amatsombat, A. Butphakdi and H. Wiangluang, "Cost and returns analysis of processing pickle fish production: case study of fermented fish sauce Nong Kae, Sriboonrung district, Nong Bua Lamphu province", Bachelor of Business Administration, Udon Thani Rajabhat University, 2020, pp.31
- [19] N. Klanarong, "Preparation of oxidized cassava starch using solution plasma process for biodegradable film wrap application," M.S. thesis, Dept. Chemical Engineering., Naresuan Univ., Phitsanulok, Thailand, 2019.
- [20] N. Rattanapanone. Food Chemistry, 5th ed. Bangkok: Odeon Store, 2014.
- [21] S. Sisang, "Starch Properties for Fisheries Products," *Fisheries Industrial Technology*

- Research and Development Division*, Mar. 2020.
- [22] K. Sriroth and K. Piyachomkwan, *Starch Technology*, 4th ed. Bangkok: Kasetsart University, 2007.
- [23] S. Dounghong, "Cultivation, quality change of Black Glutinous Rice Varieties and Strategic Marketing Planning in klonghoykhong and Singhanakorn district, Songkhla Province," *Institute of Research and Development - SKRU*, 2013.
- [24] P. Thanthong, T. Pakdam, S. Rueangthanatkul, P. Phugan, S. Inket, S. Singsom and P. Pramai, "The Development of Kanom-Tian from Black Glutinous Rice Flour stuffed with Cereal and Purple Tubers," *PSRU Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 109-122, Sep.-Dec. 2019.
- [25] S. Kongwan, K. Jangchud and P. Tungtrakul, "Effect of germination condition on pasting properties and GABA content of germinated brown rice flour produced from brown rice," In *Proceeding of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*, Kasetsart University, Thailand, 2011, pp. 210-217.
- [26] N. Chevanuntapornchai, T. Suwonsichon and P. Ritthiruangdej, "Mechanically texture properties measurement of rice starch gel and tapioca starch gel," In *Proceeding of 40th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*, Kasetsart University, Thailand, 2003, pp. 471-478.
- [27] J. Muadklay and S. Charoenrein, "Effect of xanthan gum on properties of frozen tapioca starch gels," In *Proceeding of 44th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*, Kasetsart University, Thailand, 2008, pp. 72-80.
- [28] N. Mahachairachan, K. Jangchud and A. Jangchud, "Effect of hydrocolloid and moisture content of ingredients on the breakfast flake from germinated brown rice flour," in *Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*, Thailand, 2011, pp. 398-405.
- [29] M. Tamtin S. Thongrod and S. Luchai Chaikyakul. *Starches as Carbohydrate Sources and Their Optimum Level in Feed on Growth of Black Tiger Shrimp (Penaeus monodon Fabricius, 1798)*. Bangkok: Department of Fisheries, 2008, pp. 6-8.