

Research Article

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด

Development of cracker products from purple yam flour (*Dioscorea alata* L.)

ฤทัยศักดิ์ ชาญศรี^{*1}, รัสรินทร์ ฉัตรทองพิสุทธิ์¹, รัชวรรณ จันทเขต²

Ruethaipak Chansri^{*1}, Rassarin Chatthongpisut¹, Ratchawan Jantakhat²

¹ภาควิชาเกษตรและสิ่งแวดล้อม หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตและเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ประเทศไทย

²ภาควิชาเกษตรและสิ่งแวดล้อม หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ประเทศไทย

¹Department of Agriculture and Environment, Food Science and Technology Program, Surindra Rajabhat University, Thailand

²Department of Agriculture and Environment, Bachelor of Education Program in Home Economics, Surindra Rajabhat University, Thailand

*E-mail: Ruethaipak_d@hotmail.com

Received: 24/05/2021; Revised: 16/04/2022; Accepted: 17/04/2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้ง หลังจากการลวก นำมาวิเคราะห์ความหนืดของแป้ง และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และพลังงานที่ได้รับ ผลการวิจัยพบว่า แป้งมันเลือด มีความหนืดสูงสุด 91.92 ± 2.24 RVU และความหนืดสุดท้าย 113.42 ± 2.48 RVU การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบพบว่าสูตรที่ 3 ที่ใช้แป้งมันเลือดทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 40 ได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ สี และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด 100 กรัม มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และเส้นใย ร้อยละ 1.73 ± 0.04 , 65.37 ± 1.49 , 12.42 ± 0.62 , 17.87 ± 0.77 , 2.61 ± 0.32 และ 1.41 ± 0.47 ตามลำดับ มีพลังงานที่ได้รับทั้งหมด 466.39 ± 0.96 กิโลแคลอรี

คำสำคัญ: ข้าวเกรียบ แป้งมันเลือด แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

The objective of this research was to study the preparation of cracker from purple yam flour that has been dried after blanching it before drying. The viscosity of starch and development into a cracker product, sensory acceptance, proximate composition and energy were determined. The results showed that purple yam

flour had the highest viscosity of 91.92 ± 2.24 RVU and final viscosity of 113.42 ± 2.48 RVU. In the development of cracker product, the third formula with 40% of the purple yam flour as a substitute for cassava starch received the highest sensory acceptance scores for appearance, crispness, color, and overall preference. The percentage of moisture content, carbohydrate, ash, total fats, protein and fiber of the cracker were shown at 1.73 ± 0.04 , 65.37 ± 1.49 , 12.42 ± 0.62 , 17.87 ± 0.77 , 2.61 ± 0.32 and $1.41 \pm 0.47\%$, respectively, while its total energy value derived was 466.39 ± 0.96 kcal.

Keywords: Crackers, purple yam flour, Cassava starch

บทนำ

มันพื้นบ้านจัดเป็นพืชอาหารที่มีให้รับประทานได้ตามช่วงฤดูกาลของทุกปี จัดเป็นพืชหัวที่ให้คุณค่าทางอาหารและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับพืชหัวค่อนข้างมากเนื่องจากเป็นพืชอาหารที่มีปริมาณผลผลิตสูง เป็นพืชหัวที่สามารถผลิตได้ปริมาณมากเป็นอันดับที่สามของโลกรองจากมันเทศ (Lebot, 2020) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในประเทศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน แต่ในประเทศไทยการบริโภคยังคงมีแค่จำกัด โดยเฉพาะมันพื้นบ้าน (yam) ที่มีอยู่หลายชนิด เช่น มันเลือด เป็นมันพื้นบ้านชนิดหนึ่งที่มีปริมาณผลผลิตต่อต้นสูง มันเลือดเป็นพืชมีหัวในวงศ์ถอย (Dioscoreaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Dioscorea alata* L. รู้จักในชื่อ purple yam ซึ่งเป็นคนละชนิดกับมันเทศสีม่วง (purple sweet potato) ที่อยู่ในวงศ์ผักบุ้ง (Ipomoea) (Cakrawati, 2021) ในมันเลือดมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน ทั้งแป้ง น้ำตาล โปรตีน และธาตุอาหารที่มีประโยชน์ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม กรดโฟลิก และสารสี เช่น สารแคโรทีนอยด์และสารแอนโทไซยานิน (Promdang et al., 2018) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย (Larief et al., 2018) นอกจากนี้มันเลือดยังเป็นแหล่งของวิตามินซีที่สำคัญ (Chen et al., 2003) และเป็นแหล่งของฮอร์โมน diosgenin ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนเพศหญิง (Phytoestrogen) diosgenin สามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นฮอร์โมน progesterone ได้อีกด้วย (Satour et al., 2007) บางสายพันธุ์มีค่าเส้นใยอาหารสูงสามารถนำมาทำอาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวานได้ด้วย (Oko & Famurewa, 2015) ช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพของหัวใจและหลอดเลือด ป้องกันการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และโรคอ้วน (Cory et al., 2018) สารอาหารและสารประกอบทางชีวภาพต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการส่งเสริมให้ปลูกมันเลือดเพื่อเป็นการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชสำหรับการใช้ประโยชน์ในอนาคตทางด้านอาหารและยา งานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปทางการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร คุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ อย่างไรก็ตามการนำมันเลือดมาแปรรูปเป็นอาหารในประเทศไทยยังพบน้อยและมักนิยมรับประทานในวงจำกัด โดยส่วนใหญ่จะนำมานึ่งแล้วรับประทานพร้อมกับน้ำตาล หรือเชื่อมทานเป็นขนมหวานแบบต่างๆ ในต่างประเทศการพัฒนาแป้งมันเลือดเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่จะคำนึงถึงประโยชน์ที่ได้รับ

จากแป้งมันเลือดหรือการออกฤทธิ์ของสารที่สำคัญในแป้งมันเลือด เช่น การศึกษาผลของการผลิตขนมเค้กจากมันเลือดที่มีต่อการคงอยู่ของสารแอนโทไซยานินและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในก่อนและหลังการผลิต (Larief et al., 2018) ซึ่งพบว่าหลังจากผลิตเค้กปริมาณของแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระนั้นลดลง ซึ่งการลดลงของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการลดลงของระดับแอนโทไซยานิน หรือศึกษาการย่อยของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันเลือดในหลอดทดลอง ซึ่งพบว่าขนมปังที่มีการทดแทนด้วยแป้งมันเลือดจะย่อยได้ยากกว่าเนื่องจากเม็ดแป้งของมันเลือดไม่ถูกทำลายด้วยการมีสารยับยั้งเอนไซม์ย่อยอาหารในแป้งมันเลือด (Liu et al., 2019) หรือ การศึกษาผลของการต้มต่อโปรไฟล์คาร์โบไฮเดรต การย่อยได้ของแป้ง และดัชนีระดับน้ำตาลในเลือดของผงมันเลือดของ Rosales & Barrion (2019) พบว่าแป้งมันเลือดอยู่ในหมวดอาหารดัชนีน้ำตาลปานกลาง การบริโภคจะเพิ่มระดับการตอบสนองของน้ำตาลในเลือดในปริมาณปานกลางและยังคงเป็นพืชหัวที่แนะนำสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ เป็นต้น

ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการใช้ประโยชน์จากมันเลือด เพื่อเพิ่มมูลค่าของมันเลือดให้มีการใช้ประโยชน์มากขึ้นจึงต้องการนำมาทำผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่คงคุณค่าทางโภชนาการ สามารถผลิตได้ง่ายในครัวเรือน ช่วยให้เกิดอาชีพในท้องถิ่น และสามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนต่อไปได้ ผู้วิจัยจึงได้นำมันเลือดที่มีในท้องถิ่นจังหวัดสุรินทร์มาทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจะศึกษาวิธีการผลิตแป้ง ศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้ง ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้ง ศึกษาวิธีการผลิตข้าวเกรียบ ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเกรียบมันเลือดและพลังงานที่ได้รับ ซึ่งในระยะแรกของงานวิจัยได้ทำการศึกษาการผลิตแป้งมันเลือดโดยเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดจากปริมาณแอนโทไซยานินที่มีมากที่สุดซึ่งพบว่าวิธีการผลิตแป้งโดยการทำให้มันเลือดหลังการลวกให้ปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่ามีค่าเท่ากับ 183.39 ± 1.88 mg/l ในขณะที่เดียวกันวิธีการผลิตแป้งโดยไม่ผ่านการลวกให้ปริมาณแอนโทไซยานินต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 152.56 ± 1.92 mg/l (Chansri et al., 2019) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกผลิตแป้งมันเลือดด้วยวิธีการดังกล่าว นำแป้งที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้ง พบว่าแป้งมันเลือดมีลักษณะการฟูรูปแบบซี (C-Type) ตามที่ Schoch และ Maywald (1968) ได้จำแนกเอาไว้ว่าเป็นแป้งที่มีการพองตัวจำกัด (Restricted-swelling starch) และแป้งที่พองตัวทนทานต่อแรงเฉือนจากการกวน จัดเป็นแป้งที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนิดพองกรอบ (Sesang, 2020) ผู้วิจัยจึงเลือกแป้งมันเลือดมาผลิตเป็นข้าวเกรียบเนื่องจากทำได้ง่าย และเป็นอาหารว่างที่คนนิยมรับประทาน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมแป้งมันเลือด

ผลิตแป้งมันเลือดด้วยวิธีการบดแห้งแบบลวกมันก่อนตาก (Suriya et al., 2016) นำมันเลือดที่ขูดได้ในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์มาปอกเปลือกออกให้หมด และล้างน้ำกำจัดเศษดินต่างๆ ออก และนำมันเลือดที่ล้างแล้วมาผ่านให้

เป็นแผ่นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร นำมันที่ผ่านแล้วเทลงในน้ำต้มอุณหภูมิ 70 °C นาน 5 นาที ตักขึ้นสะเด็ดน้ำ และล้างด้วยน้ำเปล่าจนหมดเมือก ตากมันจนแห้งสนิท วัดความชื้นได้ 12.95 ± 0.26 % และบดด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด นำมาร้อนผ่านรูตะแกรงขนาด 120 เมช นำมาอบที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น (ความชื้น 7.05 ± 0.06 %) และเก็บรักษาในถุงโพลีโพรพิลีนที่ปิดสนิท

2. การวิเคราะห์ความหนืดของแป้งมันเลือด

โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA; RVA-4 SA, Newport Scientific PYT Ltd., NSW, ประเทศออสเตรเลีย) เตรียมตัวอย่างแป้งให้มีความเข้มข้นร้อยละ 8 (w/w) ให้มีน้ำหนักรวม 25 กรัม โดยชั่งน้ำกลั่นใส่กระบอกออลูมิเนียม จากนั้นจึงชั่งแป้งใส่ในกระบอกออลูมิเนียม ใช้ใบพัดกวนผสมให้เข้ากัน ตั้งเครื่อง RVA โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 °C เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 13 °C/นาที จนถึงอุณหภูมิสูงสุด 95 °C จากนั้นกวนต่อแล้วลดอุณหภูมิลงเป็น 50 °C ด้วยอัตรา 7 °C/นาที และกวนต่อที่ 50 °C จนถึงสิ้นสุดเวลาที่ตั้งไว้

3. ศึกษาการทำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด

3.1 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด คัดแปลงจาก Phongnoree & Thammasiri (2008) โดยใช้แป้งมันเลือดทดแทนแป้งมันสำปะหลังในท้องตลาด ในการทำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ สูตรที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 โดยทดแทนด้วยแป้งมันเลือดร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

สูตรมาตรฐานของข้าวเกรียบประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลัง เกลือ กระเทียม และพริกไทย ร้อยละ 85, 3, 9 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ข้าวเกรียบมันเลือดที่ทดแทนด้วยแป้งมันสำปะหลังแต่ละสูตร

วัตถุดิบ	ส่วนผสมหลัก (%)	อัตราส่วนแป้งมันเลือดต่อแป้งมันสำปะหลัง (%)					
		สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
		0 : 100	20 : 80	40 : 60	60 : 40	80 : 20	100 : 0
แป้งมันเลือด	-	0	17	34	51	68	85
แป้งมันสำปะหลัง	85	85	68	51	34	17	0
เกลือ	3	3	3	3	3	3	3
กระเทียม	9	9	9	9	9	9	9
พริกไทย	3	3	3	3	3	3	3
น้ำร้อน (30%ของแต่ละสูตร)	-	30	30	30	30	30	30

3.2 วิธีการผลิตข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด ซึ่งส่วนผสมทุกอย่างใส่ลงในชามผสม ใช้น้ำร้อน (อุณหภูมิ 95 °C) ร้อยละ 30 ของสูตร ค่อยๆ เทลงในส่วนผสมแล้วคล่อมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน นวดจนส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ปั้นเป็นแท่งกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว นำไปนึ่งจนสุกและทิ้งไว้ให้เย็น เก็บเข้าตู้เย็น 20 ชั่วโมง นำออกมาหั่นให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร และนำไปตากแดด 5 ชั่วโมงจนแห้งสนิท นำไปทอดด้วยน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 175 °C ใช้เวลา 3-5 วินาที เมื่อข้าวเกรียบพอง ตักขึ้นสะเด็ดน้ำมัน รอให้เย็น และเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (polypropylene) ที่ปิดสนิท

4. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

โดยใช้แบบทดสอบ 9 point Hedonic scale scoring test (1=ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9=ชอบมากที่สุด) กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน โดยให้ผู้ทดสอบชิมประเมินและทำการให้คะแนน คุณลักษณะต่างๆ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความกรอบ และความชอบโดยรวม และวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ทดสอบความแตกต่างของคะแนนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างด้วยค่า F-test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและพลังงานที่ได้รับ

โดยนำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุดมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความชื้น โดยวิธี Direct Heating Method อบด้วยตู้อบร้อน (Hot air oven) รุ่น Fd WTB binder วิเคราะห์ปริมาณเถ้าโดยการเผาด้วยเตาเผา อุณหภูมิสูง (furnace) ยี่ห้อ Nabertherm รุ่น L/LT วิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ยี่ห้อ Solvent Extractions รุ่น Model SER 148 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยเครื่องมือย่อยโปรตีน ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น Kjeldatherm หาปริมาณเส้นใยด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นใย ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น FT12 ตามวิธีของ AOAC (1995) หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยการคำนวณจากผลต่างของสารอาหารทั้งหมด และหาพลังงานที่ได้รับทั้งหมดจากเครื่องวิเคราะห์พลังงานในอาหารยี่ห้อ IKA รุ่น C600

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. การผลิตแป้งจากมันเลือด

แป้งมันเลือดที่ผลิตได้มีสีขาวกว่าแป้งมันเลือดที่ไม่ผ่านการลวกก่อนตาก (Chansri et al., 2019) เนื่องจากน้ำร้อนที่ใช้ลวกมีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ใช้วิธีการนี้เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลในกระบวนการผลิตแป้งจากพืชหัวชนิดต่างๆ นอกจากนี้ ยังมีรายงานจาก Metsdagh et al. (2008) ทำการศึกษาเรื่องการลวก พบว่าการลวกสามารถลดน้ำตาลรีดิวซ์ในแป้งลงได้ และทำให้มันฝรั่งทอดมีสีที่สว่างขึ้น และการลวกมันเทศสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจาก

กระบวนการผลิตแป้งได้ เช่นเดียวกันกับการงานวิจัยของ Chen et al. (2017) ที่ได้ศึกษาการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่งผ่านการลวกสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ได้ แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาในปีต่อมาโดย Capotorto et al. (2018) พบว่า การลวกโดยการเติมกรดซิตริกลงไปใช้น้ำที่ใช้ลวกจะลดการทำงานของเอนไซม์ฟีนอลเลสที่เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดีกว่าใช้น้ำร้อนเพียงอย่างเดียว แต่การเติมกรดซิตริกอาจมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ทำให้ผู้วิจัยไม่เลือกวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการผลิตแป้งมันเลือดสำหรับแปรรูปในครั้งนี้

แป้งมันเลือดที่ได้จากการผลิตแป้งที่ผ่านกรรมวิธีทำแห้งหลังจากการลวก มีองค์ประกอบทางเคมี (Proximate content) ดังตารางที่ 2 พบว่า แป้งมันเลือดมีความชื้น (moisture) ร้อยละ 7.05 ± 0.06 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณภาพของแป้งทั่วไปที่มีความชื้นในปริมาณต่ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ร้อยละ 87.35 ± 0.06 โดยน้ำหนักแห้ง มีปริมาณไขมันร้อยละ 0.39 ± 0.03 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.61 ± 0.02 และมีปริมาณโปรตีน 1.60 ± 0.02 เปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังที่ Charoenkul et al. (2011) วิเคราะห์ไว้ พบว่า แป้งมันสำปะหลังมีความชื้นร้อยละ 12.12 ± 0.09 ปริมาณของแข็งทั้งหมด 87.69 ± 0.08 โดยน้ำหนักแห้ง มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.19 ± 0.07 ส่วนปริมาณไขมันและปริมาณโปรตีนวิเคราะห์ไม่พบในแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเลือดเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมี (Proximate content) (n= 3)		
	แป้งมันเลือด	แป้งมันสำปะหลัง*
ความชื้น (Moisture) ร้อยละ	7.05 ± 0.06	12.12 ± 0.09
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ร้อยละ	87.35 ± 0.06	87.69 ± 0.08
เถ้า (Ash) ร้อยละ	3.61 ± 0.02	0.19 ± 0.07
ไขมัน (Crude Fat) ร้อยละ	0.39 ± 0.03	-
โปรตีน (Crude Protein) ร้อยละ	1.60 ± 0.02	-

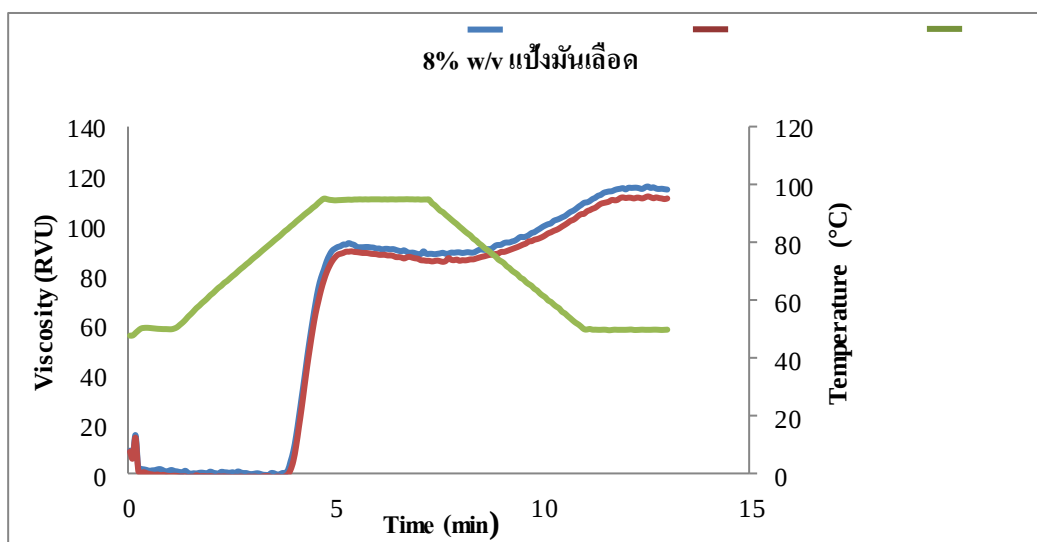
* หมายถึงอ้างอิงจากการวิเคราะห์ของ Charoenkul et al. (2011)

- ไม่พบ

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเลือดพบว่า แป้งมันเลือดมีเถ้า ไขมัน และโปรตีน ที่มากกว่าแป้งจากมันสำปะหลัง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้แป้งมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกันได้ เช่น เถ้า (ash content) บ่งบอกถึงปริมาณของสารอนินทรีย์หรือแร่ธาตุ (mineral content) ที่มีในแป้งซึ่งมีผลต่ออาหาร ทางด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร และเป็นสาเหตุในการทำให้เกิดคุณลักษณะ ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ขึ้นระหว่างการปรุงอาหาร โดยเฉพาะค่า peak viscosity และ set back ของแป้ง ซึ่งเป็นความหนืด สูงสุดและการคืนตัวของแป้งหลังจากแป้งเย็นตัวลง (Charoenkul et al., 2011) ซึ่งส่งผลต่อลักษณะของอาหารที่ผลิต ได้ ส่วนโปรตีนเมื่อจับกับแป้งจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งจากพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีนที่เกาะ เกี่ยวข้องกับเม็ดแป้งจึงมีผลต่อการกระจายตัวของแป้ง ความหนืด อัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิด เจลาติไนเซชันลดลง (Hamaker & Griffin, 1993; Srirot & Piyajomkwan, 2000) และในส่วนของไขมันในแป้งจะ รวมตัวกับโมเลกุลของอะไมโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่เสริมสร้างความ แข็งแรงให้กับเม็ดแป้ง (Kasemsuwan et al., 1998) ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้งโดยจะลด ความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับกับน้ำของแป้ง เมื่อแป้งผ่านความร้อนจะทำให้เกิดเป็น สารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้ได้ฟิล์มหรือแป้งเปียกที่มีลักษณะทึบแสงและขุ่น (Srirot & Piyajomkwan, 2000) องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้จะถูกนำไปใช้อธิบายคุณลักษณะของข้าวเกรียบมันเลือดที่ผลิตได้

2. ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งมันเลือด

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ได้กราฟแสดง ความหนืดของแป้งมันเลือดดังรูปที่ 1 และแสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของความหนืด ดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 กราฟแสดงความหนืดของแป้งมันเลือด (M1(example 1), M2 (example 2), Temperature)

จากลักษณะของกราฟที่ได้เป็นกราฟแสดงความหนืดที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งดังนี้ ในช่วงแรกของการให้ความร้อน กราฟจะยังไม่แสดงความหนืดเนื่องจากเม็ดแป้งยังพองตัวน้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จนถึงจุดหนึ่งเรียกว่า pasting temperature กราฟจะเริ่มปรากฏความหนืดแสดงว่าโมเลกุลแป้งเกิดการรับน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งพองตัวขึ้นและเกิดความข้นหนืดจนถึงจุดที่เครื่องสามารถวัดได้ กราฟแสดงความหนืดสูงขึ้น จนถึงจุด peak viscosity จากนั้นความหนืดจะลดลง แสดงให้เห็นว่าเม็ดแป้งพองตัวมากขึ้นเรื่อยๆ จนเริ่มแตก เมื่อการแตกของเม็ดแป้งมีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นและมีโมเลกุลอิสระละลายออกมาจะทำให้กราฟแสดงความหนืดลดลง ถ้าเม็ดแป้งไม่คงตัวและแตกง่าย ความหนืดจะยังคงลดลงเมื่ออุณหภูมิการหุงต้มไว้ที่ 95 °C ในช่วงการทำให้เย็นจากอุณหภูมิ 95 °C ไปเป็น 50 °C กราฟแสดงความหนืดสูงขึ้น การที่น้ำแป้งสุกมีความหนืดเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกโดยกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระของเม็ดแป้งที่แตกหักและโมเลกุลอิสระที่ละลายออกมาในน้ำแป้งสุกโดยเฉพาะโมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดที่เหมาะสมจะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนใหม่และกักน้ำเอาไว้ได้ (Saattrat, 2015)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งมันเลือดเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง

Pasting properties (n=2)		
	Purple yam flour	Cassava starch*
Peak viscosity (RVU)	91.92 ± 2.24	96-138
Holding strength (RVU)	87.54 ± 2.06	63- 84
Breakdown (RVU)	4.38 ± 0.18	11-78
Final viscosity (RVU)	113.42 ± 2.48	29-133
Peak time (min)	5.37 ± 0.05	-
Pasting temperature (°C)	82.38 ± 0.04	67.4-70.4
Setback (RVU)	25.88 ± 0.41	18-55

* อ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ความหนืดแป้งมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ ของ Charoenkul et al. (2011)

จากตารางที่ 2 เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยวิธี RVA พบว่า กราฟความหนืดที่ได้จากการวิเคราะห์แป้งมันเลือดมีลักษณะจำเพาะที่สำคัญคือค่า pasting temperature ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด มีค่าค่อนข้างสูงประมาณ 82.38 ± 0.04 °C สูงกว่าแป้งข้าวยาคู แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 69.40 ถึง 74.22 °C (Rittiruangdej & Suwannasichin, 2007) อาจเนื่องจากลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่อยู่ภายในเม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและหนาแน่น พันธะเคมีภายใน (พันธะไฮโดรเจน) จึงมีความแข็งแรง ทำให้ต้องใช้ความร้อนสูงในการทำลายโครงสร้างที่เป็นระเบียบนั้น ส่วนค่า peak viscosity ของแป้งมันเลือดเท่ากับ 91.92 ± 2.24 RVU ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่า

แป้งมันเทศที่มีค่า 101 RVU แต่ใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลังมีค่า 96 RVU (Charoenkul et al., 2011) และสูงกว่าแป้งข้าวโพดที่มีค่า 49 RVU (Suzuki et al., 1993) จึงจัดได้ว่าแป้งมันเลือดเป็นแป้งที่มีความหนืดค่อนข้างสูงเนื่องจากเม็ดแป้งที่พองตัวมีความคงทนต่อการกวน จึงทำให้แป้งมันเลือดมีค่า breakdown ต่ำ มีค่าเท่ากับ 4.38 ± 0.18 RVU ค่า setback ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการคืนตัวของแป้งสุกพบว่าแป้งมันเลือดมีค่าเท่ากับ 25.88 ± 0.41 RVU ซึ่งค่า setback ที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลังที่มี setback 31 RVU ซึ่งต่างจากแป้งถั่วเขียวที่มี setback 115 RVU ที่จัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงตามที่ Perez et al. (1997, 1998) ได้เคยรายงานเอาไว้

ลักษณะกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งมันเลือดมีลักษณะกราฟรูปแบบซี (C-Type) ตามที่ Schoch & Maywald (1968) ได้จำแนกเอาไว้ แป้งที่ให้กราฟรูปแบบซีเป็นแป้งที่มีการพองตัวจำกัด (Restricted-swelling starch) และเป็นแป้งที่ทนทานต่อแรงเฉือนจากการกวน จัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าปริมาณอะไมโลเพคติน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Harijono et al. (2013) พบว่า ปริมาณของอะไมโลสในแป้งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของแป้ง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะของอาหารที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของแป้ง เช่น การพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายของแป้ง และความหนืดของแป้งล้วนแล้วแต่มีความจำเพาะต่อการเกิดลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารทั้งสิ้น จากลักษณะความหนืดของแป้งมันเลือดที่ได้ มีความหนืดใกล้เคียงกับค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังที่ Charoenkul et al. (2011) วิเคราะห์ได้ จึงจัดแป้งมันเลือดเป็นแป้งที่เหมาะสมต่อการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ (snack) เช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลัง (Sesang, 2020) ผู้วิจัยจึงนำแป้งมันเลือดมาศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบต่อไป

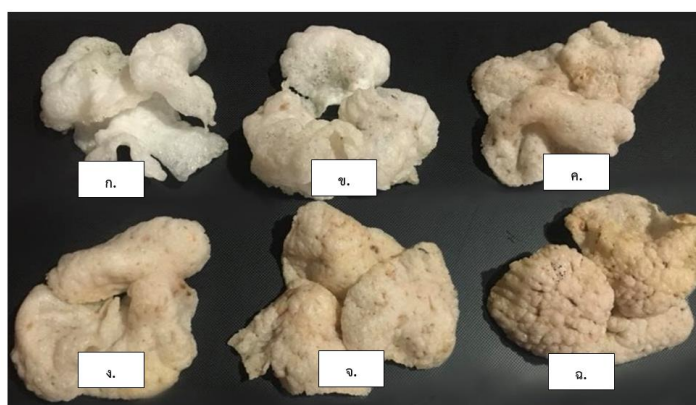
3. การผลิตข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด

จากการทดลองทำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบทั้ง 6 สูตร พบว่า เมื่อใช้แป้งมันเลือดทดแทนแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้การนวดแป้งยากขึ้น แป้งไม่จับตัวกันเนื่องจากแป้งมันเลือดไม่เกิดการพองตัว หรือมีการพองตัวที่ค่อนข้างจำกัด (ตามลักษณะความหนืดที่วิเคราะห์ได้) เมื่อใช้แป้งมันเลือดปริมาณมากขึ้นในข้าวเกรียบแต่ละสูตรทำให้แป้งที่นวดได้มีความแข็งมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกือบร่วน นอกจากนี้แป้งมันเลือดไม่มีกลูเตน เช่นเดียวกับแป้งจากมันพื้นบ้านชนิดอื่นจึงไม่เกิดโครงสร้างที่จับกันเป็นก้อนเหมือนแป้งสาลี (Chen et al., 2019) ที่สามารถนวดและขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ เมื่อนำแป้งที่นวดแล้วไปนึ่งจนสุกพบว่าก้อนแป้งที่มีอัตราส่วนของแป้งมันเลือดในปริมาณมากจะให้ก้อนแป้งแน่นและแข็งกว่าก้อนแป้งที่มีปริมาณแป้งมันเลือดน้อยกว่า ไม่มีความยืดหยุ่นและไม่ใส เมื่อนำมาหั่นเป็นแผ่นและตากแดดจนแห้งสนิทจะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบพร้อมนำไปทอด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดสูตรต่างๆ ก่อนทอด ในอัตราส่วนแป้งมันเลือดต่อแป้งมันสำปะหลัง (ก.) 0 : 100 (ข.) 20 : 80 (ค.) 40 : 60 (ง.) 60 : 40 (จ.) 80 : 20 และ (ฉ.) 100 : 0

จากรูปที่ 2 พบว่า ข้าวเกรียบมีสีน้ำตาลอมม่วงโดยมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณที่มากขึ้นของแป้งมันเลือดที่ทดแทนลงไป และความใสลดลงตามลำดับเช่นกันตามปริมาณของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมันเลือดที่มีเพิ่มมากขึ้นเพราะไขมันเป็นส่วนที่ทำให้เกิดความทึบแสงหรือความขุ่นนั่นเอง (Srirot & Piyajomkwan, 2000) ความละเอียดของเนื้อข้าวเกรียบจะหยาบขึ้นตามปริมาณแป้งมันเลือดที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วแป้งฟลาวจะมีส่วนประกอบของเส้นใยมากกว่าแป้งสตราซ์ ซึ่งมีผลต่อความเนียนละเอียดของเนื้อข้าวเกรียบ และพบว่าข้าวเกรียบที่ทำจากแป้งมันเลือดร้อยละ 100 เนื้อแป้งข้าวเกรียบที่ได้จะไม่ใส เนื้อแป้งหยาบมาก และเนื้อแป้งไม่เกาะกัน เมื่อนำข้าวเกรียบแต่ละสูตรไปทอดพบว่าข้าวเกรียบจะมีการพองตัวลดลงเรื่อยๆ เนื้อสัมผัสจะแข็งขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของแป้งมันเลือดที่ทดแทนลงไป ลักษณะของข้าวเกรียบแต่ละสูตรแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดสูตรต่าง ๆ หลังทอด ในอัตราส่วนแป้งมันเลือดต่อแป้งมันสำปะหลัง (ก.) 0 : 100 (ข.) 20 : 80 (ค.) 40 : 60 (ง.) 60 : 40 (จ.) 80 : 20 และ (ฉ.) 100 : 0

จากลักษณะของข้าวเกรียบที่ทอดแล้วพบว่าปริมาณแป้งมันเลือดที่ทดแทนลงไปมีผลต่อการผลิตข้าวเกรียบในแต่ละสูตร ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันเลือดจัดเป็นแป้งฟลาว (flour) ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากกระบวนการบดแห้งทำให้แป้งชนิดฟลาวมีองค์ประกอบทางเคมี เช่น แร่ธาตุ คากิ และสารประกอบทางธรรมชาติอื่นๆ อยู่สูงกว่าแป้งชนิดที่เป็นสตาร์ช (starch) เช่นเดียวกับแป้งจากหัวมันชนิดอื่นตามที่ Asiyanbi-Hammed (2016) ได้ศึกษาไว้ และพบว่าองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในแป้งจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นองค์ประกอบของแป้งมันเลือดที่วิเคราะห์ได้ ทั้งปริมาณเถ้า ไขมัน และ โปรตีน ที่มีมากกว่าในแป้งมันสำปะหลังจึงส่งผลต่อลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบมันเลือดที่ผลิตได้ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงในหัวข้อที่ 5

5. ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด โดยการทดสอบความชอบหรือระดับความพอใจโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน โดยทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9-Point Hedonic Scoring test และวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance : ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$) ทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความกรอบ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏมีความแตกต่างกันโดยพบว่า ผู้บริโภครอบลักษณะปรากฏสูตรที่ 3 มากที่สุด และ ชอบสูตรที่ 6 น้อยที่สุด ด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีความชอบแตกต่างกัน โดยพบว่าสีของข้าวเกรียบสูตรที่ 4 ผู้บริโภครอบมากที่สุด และชอบสูตรที่ 6 น้อยที่สุด ทางด้านกลิ่นรสผู้บริโภครอบสูตรที่ 2 มากที่สุดและชอบสูตรที่ 6 น้อยที่สุด คุณลักษณะด้านความกรอบ ผู้บริโภครอบสูตรที่ 3 มากที่สุด และชอบสูตรที่ 6 น้อยที่สุด และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่าสูตรที่ให้การยอมรับมากที่สุดคือสูตรที่ 3 และให้การยอมรับน้อยที่สุดคือสูตรที่ 6 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากการทดสอบชิมข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด

สูตร (แป้งมันเลือด:แป้งมันสำปะหลัง)	คุณลักษณะต่างๆ				
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
1 (0:100)	5.06±2.74 ^c	5.38±2.81 ^{de}	3.63±1.45 ^b	6.29±1.68 ^{cd}	5.73±2.31 ^c
2 (20:80)	4.44±2.09 ^b	4.92±2.02 ^c	5.50±2.55 ^d	6.14±1.92 ^c	4.87±2.36 ^b
3 (40:60)	5.81±2.20 ^d	5.00±2.58 ^d	4.81±2.37 ^c	6.57±2.31 ^d	6.40±2.23 ^d
4 (60:40)	4.44±2.30 ^b	5.69±2.69 ^c	4.56±1.46 ^c	5.93±1.81 ^c	6.13±2.03 ^{cd}
5 (80:20)	4.56±1.96 ^b	4.31±2.50 ^b	4.44±2.06 ^c	4.71±2.40 ^b	3.80±2.18 ^b
6 (100:0)	3.19±1.51 ^a	3.46±2.10 ^a	2.69±1.45 ^a	3.07±2.02 ^a	3.33±2.38 ^a

หมายเหตุ - ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย+ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- abc ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสมีคะแนนค่อนข้างต่ำเนื่องจากสูตรต้นแบบได้ถูกดัดแปลงมาจากการวิจัยอื่นเพียงส่วนของวิธีทำและส่วนผสมหลัก ซึ่งอาจส่งผลให้สูตรต้นแบบได้คะแนนการยอมรับต่ำกว่า และเมื่อทดสอบการชิมข้าวเกรียบมันเลือดพบว่าผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นความกรอบและความชอบโดยรวม ข้าวเกรียบมันเลือดสูตรที่ 3 และ 4 ซึ่งมีปริมาณแป้งมันเลือดร้อยละ 40 และ 60 ตามลำดับ มีคะแนนความชอบค่อนข้างสูง เนื่องจากข้าวเกรียบมีลักษณะโดยรวมที่ดี มีความกรอบ มีสี และกลิ่นที่ดีกว่า โดยผู้บริโภคให้คะแนนความกรอบสูตรที่ 3 ที่มีแป้งมันเลือดผสมอยู่ร้อยละ 40 เพราะข้าวเกรียบมีลักษณะกรอบไม่แข็งกระด้างจนเกินไปเมื่อเทียบกับสูตรที่ 4, 5 และ 6 ความกรอบที่เกิดจากการการพองตัวของแป้งซึ่งการพองตัวที่เกิดขึ้นนั้นมาจากปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่มีอยู่ในสูตรมากกว่า จากคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทอดเกิดการพองตัวมากกว่าแป้งชนิดอื่น เพราะมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีที่ขัดขวางการพองตัวของแป้งในปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งก็คือปริมาณของเถ้า โปรตีน และไขมัน ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดลักษณะดังกล่าวขึ้นได้ (Asiyanbi-Hammed & Simsek (2016) นอกจากนี้แป้งสตาร์ชเช่นแป้งมันสำปะหลังมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญที่ทำให้ข้าวเกรียบเกิดลักษณะฟู และกรอบ นั่นก็คือ สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในเมล็ดแป้งหากมีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวดี แป้งที่มีอะไมโลเพกตินสูงเมื่อบดแป้งแตกตัวได้ง่ายเมื่อทำเป็นข้าวเกรียบจะพองตัวได้มากและยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์พองตัวมีลักษณะโปร่งเบา และในทางกลับกันแป้งที่เกิดเจลมีความหนืดสูงเพราะแป้งมีโปรตีนประกอบอยู่มาก (Srirot & Piyajomkwan, 2000) เช่นในแป้งมันเลือด จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแข็งและมีข้อจำกัดในการพองตัว (Chainui, 2007) ข้าวเกรียบมันเลือดที่ผลิตได้จึงแข็งกระด้างและไม่กรอบหากมีแป้งมันเลือดปริมาณมากในสูตร ผู้บริโภคจึงให้คะแนนการยอมรับคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวมในข้าวเกรียบสูตรที่ 3 ซึ่งมีแป้งมันเลือดผสมอยู่เพียงร้อยละ 40 มากที่สุด เนื้อสัมผัสไม่แข็งหรือโปร่งเบาจนเกินไป ส่วนความชอบของสีที่ได้จากการชิมข้าวเกรียบมันเลือดจะเห็นได้ว่าสูตรที่มีปริมาณแป้งมันเลือดมากกว่าจะได้รับคะแนนการยอมรับต่ำกว่าเนื่องจากมีสีคล้ำขึ้น ส่วนกลิ่นรสของสูตรที่ 2 ผู้ชิมให้การยอมรับมากที่สุดที่ปริมาณแป้งมันเลือดเพียงร้อยละ 20 เพราะแป้งมันเลือดที่ผลิตได้มีกลิ่นค่อนข้างอับเช่นเดียวกับแป้งฟลาวาที่ได้จากมันพื้นบ้านหลายชนิด เช่น แป้งแห้ว หรือ แป้งสาลิ เพราะมีส่วนประกอบทางเคมีค่อนข้างสูงผสมอยู่ด้วยจึงทำให้แป้งมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Healthline, 2020) เมื่อใส่แป้งมันเลือดในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้ข้าวเกรียบมีกลิ่นไม่ดีตามไปด้วยโดยเฉพาะกลิ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาการหืนของไขมัน (rancidity) ที่มีอยู่ในแป้งมันเลือด (Alandete L.U., 2018)

6. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและพลังงานทั้งหมดของข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด

หลังจากทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดจะทำให้ผู้วิจัยสามารถเลือกสูตรที่มีคะแนนการยอมรับสูงที่สุดมาใช้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและพลังงานทั้งหมดที่ได้รับ โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดในสูตรที่ 3 ที่ใช้แป้งมันเลือดย่อยละ 40 ทดแทนแป้งมันสำปะหลังในสูตรเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและพลังงานที่ได้รับของข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดหลังทอด

องค์ประกอบทางเคมี (g/100g) (n = 3)	
ความชื้น	1.73 ± 0.04
คาร์โบไฮเดรต	65.37 ± 1.49
เถ้า	12.42 ± 0.62
ไขมัน	17.87 ± 0.77
โปรตีน	2.61 ± 0.32
เส้นใย	1.41 ± 0.47
พลังงานที่ได้รับ (kcal/100g)	466.39 ± 0.96

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดหลังจากทอดแล้ว 100 กรัม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 1.73 ± 0.04 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2554) (Thai Industrial Standards Institute, 2011) กำหนดไว้ว่าข้าวเกรียบพร้อมบริโภคควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 65.37 ± 1.49 มีปริมาณมากที่สุดตามสัดส่วนที่มีอยู่ในสูตร เถ้าร้อยละ 12.42 ± 0.62 จะเห็นว่าปริมาณเถ้าสูงทั้งนี้เนื่องจากแป้งจากพืชหัวจะมีแร่ธาตุในปริมาณมากกว่าแป้งชนิดอื่นเช่นเดียวกับที่ Akinola (2020) ได้ศึกษาเอาไว้ พบว่าปริมาณเถ้าที่ได้จากมันพื้นบ้านมีค่อนข้างสูงกว่าเถ้าจากแป้งชนิดอื่นทั่วไป แป้งจากมันพื้นบ้านมีแร่ธาตุอยู่ค่อนข้างสูงทั้งโพแทสเซียม เหล็ก และ สังกะสี ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้จะส่งผลให้มีปริมาณเถ้าสูง และเมื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ส่วนผสมอื่น เช่น เกลือแกง (NaCl) เป็นส่วนผสมอยู่ด้วยจะทำให้ได้เถ้าที่เป็นโซเดียมออกไซด์ (Na₂O) (Zhang et al., 2015) เพิ่มมากขึ้นไปอีกส่งผลให้ปริมาณเถ้ามีมากขึ้นตามไปด้วย ไขมันร้อยละ 17.87 ± 0.77 ได้จากน้ำมันที่ใช้ทอดซึ่งมีผลต่อพลังงานที่ได้รับในข้าวเกรียบรองลงมาจากคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในข้าวเกรียบ มีโปรตีนอยู่ร้อยละ

2.61 ± 0.32 ถือได้ว่ามีปริมาณค่อนข้างต่ำ จะเห็นได้ว่าแป้งจากพืชหัวส่วนใหญ่จะมีโปรตีนน้อยกว่าที่ได้จากแป้งข้าวหรือธัญพืชอื่นๆ ซึ่งปริมาณโปรตีนในข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ Ayodele et al. (2013) ได้ศึกษาเอาไว้ และมีเส้นใยร้อยละ 1.41 ± 0.47 โดยส่วนใหญ่แป้งฟลาวจะให้ปริมาณเส้นใยสูงกว่าแป้งสตาร์ช ในสูตรที่มีแป้งมันเลือดและแป้งมันสำปะหลังผสมกันอยู่ในอัตราส่วน 40 : 60 ทำให้ปริมาณเส้นใยที่ได้จากข้าวเกรียบมีปริมาณต่ำ ข้าวเกรียบมันเลือดหลังจากทอดแล้ว 100 กรัม ให้พลังงานทั้งหมด 466.39 ± 0.96 กิโลแคลอรี ถือเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่ให้พลังงานสูงเนื่องจากส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตและไขมันซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงจึงควรบริโภคในปริมาณน้อยหรือควรแบ่งบริโภค

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดทำขึ้นจากแป้งมันเลือดที่ผลิตโดยวิธีการทำแห้งหลังจากการลวก เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งจะให้กราฟเป็นรูปแบบซี (c-type) ที่แสดงว่ามีปริมาณอะไมโลสต่ำ ลักษณะของแป้งดังกล่าวเหมาะต่อการนำมาทำผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ และเมื่อนำมาผลิตข้าวเกรียบพบว่าข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือดสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรที่ 3 ที่ใช้แป้งมันเลือดทดแทนแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนร้อยละ 40 เป็นสูตรที่ได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าสูตรอื่นๆ ทั้งด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ สี และความชอบโดยรวม และเมื่อนำไปทอดพร้อมบริโภคจะให้พลังงานที่ได้รับทั้งหมดเท่ากับ 466.39 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด เถ้า ไขมัน โปรตีน และ เส้นใย ร้อยละ 1.73 ± 0.04, 65.37 ± 1.49, 12.42 ± 0.62, 17.87 ± 0.77, 2.612 ± 0.32 และ 1.41 ± 0.47 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- Akinola, O. (2020). Nutritional composition and physio-chemical properties of peeled and unpeeled yam flour (White Yam, *Dioscorea rotundata*). *Current Developments in Nutrition*, 4(2), 735. https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa052_004
- Alandete, L. U. (2018). *Lipid degradation during grain storage: markers, mechanisms and shelf-life extension treatments* [Doctoral's thesis, The University of Queensland]. UQ eSpace. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:6e94099>
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis* (16th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Asiyanbi-Hammed, T. T., & Simsek, S. (2016). Comparison of physical and chemical properties of wheat flour, fermented yam flour, and unfermented yam flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(12), e13844. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13844>

- Asiyanbi-Hammed, T. T. (2016). *Characteristict of yam composite flour: properties and function of bread and tortilla making* [Doctoral's thesis, University of Agriculture and Applied Science].
[https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntv-nsjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2711224](https://www.scirp.org/(S(351jmbntv-nsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2711224)
- Ayodele, B., Bolade, M., & Usman, M. (2013). Quality characteristics and acceptability of 'amala' (yam- based thick paste) as influenced by particle size categorization of yam (*Dioscorea rotundata*) flour. *Food Science and Technology International*, 19, 35-43. <https://doi.org/10.1177/1082013212442181>
- Cakrawati, D., Srivichai, S., & Hongsprabhas, P. (2021). Effect of steam-cooking on (poly) phenolic compounds in purple yam and purple sweet potato tubers. *Food Research*, 5(1), 330-336.
[https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).407](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).407) (in Thai)
- Capotorto, I., Amodio, M. L., Diaz, M. T. B., de Chiara, M. L. V., & Colelli, G. (2018). Effect of anti-browning solutions on quality of fresh-cut fennel during Storage. *Postharvest Biology and Technology*, 137, 21-30.
- Chainui, C. (2007). *Effects of Physical chemistry of starch mixtures (cassava starch cassava and sago flour) on the quality of Rice cracker* [Unpublished Master's thesis]. Prince of Songkla University (in Thai)
- Chansri, R., Chatthongphisut, R., & Chanthakhet, R. (2019). The study on physical and chemical properties of Dioscorea alata L. flour and The value added of Dioscorea alata L. In *the 10th Rajamangala Surin National Conferenc: "Research and Innovation for Sustainable Development"* (pp. 251-261). Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province.
- Charoenkul, N., Uttapap, D., Pathipanawat, W., & Takeda, Y. (2011). Physicochemical characteristics of starches and flours from cassava varieties having different cooked root textures. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1774-1781. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.009>
- Chen, G., Ehmke, L., Sharma, C., Miller, R., Faa, P., Smith, G., & Li, Y. (2019). Physicochemical properties and gluten structures of hard wheat flour doughs as affected by salt. *Food chemistry*, 275, 569-576.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.157>
- Chen, X., Lu, J., Li, X., Wang, Y., Miao, J., Mao, X., & Gao, W. (2017). Effect of blanching and drying temperatures on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant activities of yam flours. *LWT-Food Science and Technology*, 82, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.058>

- Chen, Y., Fan, J., Yi, F., Luo, Z., & Fu, Y. (2003). Rapid clonal propagation of *Dioscorea zingiberensis*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 73(1), 75-80.
- Cory, H., Passarelli, S., Szeto J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review. *Frontiers in Nutrition*, 5, e00087. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>
- Hamaker, B. R., & Griffin, V. K. (1993). Effect of Disulfide Bond-Containing Protein on Rice Starch Gelatinization and Pasting. *Cereal Chemistry*, 70, 377-380.
- Harijono, T. E., Saputri, D., & Kusnadi, J. (2013). Effect of Blanching on Properties of Water Yam (*Dioscorea alata*) Flour. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(10), 1342-1350. <https://doi.org/10.19026/ajfst.5.3108>
- Healthline. (2020). Does Flour Go Bad? <https://www.ecowatch.Com/three-films-for-earth-week2652609187.html>
- Homhuan, R. (2017). Useful of the local yam. *Journal of Kaset A-pirom*, 18(3), 36-38 (in Thai)
- Kasemsuwan T., Bailey T., & Jane J. (1998). Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches. *Carbohydrate Polymers*, 32, 301-312. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)002567](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)002567)
- Larief, R., Dirpan, A., & Theresia. (2018). Purple Yam Flour (*Dioscorea alata* L.) processing effect on Anthocyanin and Antioxidant Capacity in Traditional Cake “Bolu Cukke” Making. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/207/1/012043>
- Lebot, V. (2020). *Tropical Root and Tuber Crops: Cassava, Sweet Potato, Yams and Aroids* (2nd ed.). CABI publisher.
- Liu, X., Lu, K., Yu, J., Copeland, L., Wang, S., & Wang, S. (2019). Effect of purple yam flour substitution for wheat flour on in vitro starch digestibility of wheat bread. *Food Chem*, 284, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.025>
- Metsdagh, F., Wilde, T. D., Delporte, K., Peteghem, C. V., & Meulenaer, B. D. (2008). Impact of chemical pre-treatments on the acrylamide formation and sensorial quality of potato crisps. *Food Chemistry*, 106, 914 - 922. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.001>

- Oko, A. O., & Famurewa, A. C. (2015). Estimation of nutritional and starch characteristics of *Dioscorea alata* (Water Yam) varieties commonly cultivated in the south-eastern Nigeria. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 145-152. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14095>
- Perez, E., Breene, W. M., & Bahnassey, Y. A. (1998), Variations in the Gelatinization Profiles of Cassawa, Sagu and Arrowroot Native Starch as Measured with Different Thermal and Mechanical Methods. *Starch/Staerke*, 50(2-3), 70-72.
- Perez, E., Lares, M., & Gonzalez, Z., (1997). Some Characteristics of sago (*Canna edulis* Kerr) and Zulu (*Maranta* sp.) Rhizome. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 45(7), 2546-2549.
- Phongnoree, J., & Thammasiri, B. (2008). Product development of lotus root cracker. In *the 2nd Kamphaeng Phet Rajanhat Student University Student National Conference* (pp. 847-853). Valaya Alongkorn Rajabhat University. Pathum Thani. (in Thai)
- Promdang, S., Homhuan, R., Wongmaneroaj, M., & Jamjumras, S. (2021). *The nutritional essence of yam*. In *The 18th National Academic Conference*, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. (in Thai)
- Rittiruangdej, P., & Suwannasichin, T. (2007). Component analysis of side behavior Viscosity and texture properties of gels in different powders. In *Proceedings of 45th Kasetsart University Annual Conference: Agricultural Extension and Home Economics*, Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Rosales, A. L., & Barrion, A. S. A. (2019). Effect of boiling on carbohydrate profile, starch digestibility, and glycemic index of Purple Yam (*Dioscorea alata* L.) powder. In *The 2nd International Conference on Nutrition*, Food Science and Technology, University of the Philippines, Philippines.
- Saartrat, S., Uttapap, D., Puttanlek, C., & Rungsardthong, V. (2015). Edible canna (*Canna edulis*) starch modified by acetylation. *KMUTT Research and Development Journal*, 28(1), 87-102. (in Thai)
- Satour, M., Mitaine-Offer, A. C., & Lacaille-Dubois, M. A. (2007). The *Dioscorea* genus: A review of bioactive steroid saponins. *Journal of Natural Medicines*, 61, 91-101.
- Schoch, T. J. & Maywald, F. C. (1968). Preparation and Properties of Various Legume Starch. *Cereal Chemistry*, 45, 564 - 573.
- Suriya, M., Baranwal, G., Bashir, M., Reddy, C. K., & Haripriya, S. (2016). Influence of blanching and drying methods on molecular structure and functional properties of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 235-243. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.060>

- Sesang, S. (2020). *Properties of starch affecting the processing of aquatic products*. Aquaculture Industry Technology Research and Development Division, Department of Fisheries. (in Thai)
- Srirot, K., & Piyajomkwan, K. (2000). *Starch technology* (2nd ed). Kasetsart University Press.
- Suzuki, A., Kaneyama, M., Shibamura, K., Takeda, Y., Abe, J., & Hizukuri, S. (1993). Physicochemical Properties of Japanese Arrowhead (*Sagittaria trifolia* L. var *sinensis* Makino) Starch. *Denpun Kagaku*, 40(1), 41-48. <https://doi.org/10.5458/jag1972.40.41>
- Thai Industrial Standards Institute. (2011). *Community product standard of cracker, CMU. 107/2554*. Ministry of Industry. Bangkok. (in Thai)
- Zhang, X., Zhang, H., & Na, Y. (2015). Transformation of Sodium during the Ashing of Zhundong Coal. *Procedia Engineering*, 102, 305 - 314. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.147>