



การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแป้งเกาลัดเสริมคุณประโยชน์ของไลโคปีน จากมะละกอสุก

Development of Snack from Broken-milled Riceberry Flours Mixed with Chestnut Flours Enriched with Papaya Lycopene

นัททกาน จักรานุวัฒน์* และพัชรี คุณจันทร์สมบัติ

Nattakan Jakkranuhwat* and Patcharee Kunchansombat

ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิทยาเขตปราจีนบุรี อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี 25230

Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Muang, Prachinburi 25230, Thailand

*Corresponding author, e-mail: nattakan.c@agro.kmutnb.ac.th

(Received: Jun 23, 2020; Revised: Dec 2, 2020; Accepted: May 31, 2021)

บทคัดย่อ

ขนมขบเคี้ยวที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ได้รับความนิยมทั่วโลก อย่างไรก็ตามยังมีกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้กลูเตนจากแป้งสาลี จึงต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวปราศจากกลูเตนโดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งปราศจากกลูเตน โดยวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ปราศจากกลูเตนโดยใช้แป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแป้งเกาลัด และนำผลิตภัณฑ์ไปเสริมคุณประโยชน์ไลโคปีนจากมะละกอสุก โดยเริ่มจากศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ต่อแป้งเกาลัด (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 (โดยน้ำหนัก)) ในการพัฒนาขนมขบเคี้ยว ผลการทดลองพบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากแป้งปลายข้าวและแป้งเกาลัดที่อัตราส่วนเท่ากับ 70:30 (โดยน้ำหนัก) มีการขยายตัวเชิงปริมาตรสูงที่สุด (ร้อยละ 54.55 ± 0.41) ค่าความแข็งเท่ากับ 27.25 ± 1.29 นิวตัน รวมถึงผลิตภัณฑ์ไม่มีรอยแตกหัก และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดจากผู้บริโภค จากนั้นเป็นการเสริมคุณประโยชน์ของไลโคปีนจากมะละกอสุกในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยนำผลิตภัณฑ์มาเคลือบมะละกอสุกด้วยวิธีการจุ่ม นำตัวอย่างให้ ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 4 ระดับคือ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ระดับคือ 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ผลการทดลองพบว่า การนำตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที สามารถรักษาปริมาณไลโคปีนในขนมได้สูงที่สุดเท่ากับ 3.08 ± 0.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวควรศึกษาต้นทุน ร่วมด้วย เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวปราศจากกลูเตนให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคและ ตลาดในเชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ เกาลัด มะละกอ ไลโคปีน

Abstract

Snacks made from wheat flour are very popular throughout the world. However, the wide prevalence of gluten intolerant enteropathy from wheat flour has led to the development of gluten-free foods by the substitution of wheat flour with gluten-free flour. The objective of this research was to develop the gluten-free snack from broken-milled riceberry flours blends with chestnut flours and enriched with papaya lycopene. First, the effect of different levels of broken-milled riceberry and chestnut flours (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 and 0:100 (by weight)) in snack formulations was evaluated. The results showed that the snacks prepared from broken-milled riceberry mixed with chestnut in the ratio of 70:30 (by weight) gave the highest volume expansion (54.55 ± 0.41 %), the hardness was 27.25 ± 1.29 N. including invisible fracture and promoting the highest overall acceptance. Finally, snack enriched in lycopene compounds by dip in ripening papaya concentration, then snacks

were dried by tray dryer at 4 drying temperatures including, 50, 60, 70 and 80 °C and 5 drying times including, 30, 60, 90, 120 and 150 min. The results showed that drying at 60 °C for 90 min could retain higher lycopene content was 3.08 ± 0.05 mg/kg in snack. Nonetheless, a study of gluten-free snacks production cost should be included in order to assess the production feasibility to better meet the needs of the consumer and market.

Keywords: Broken-milled riceberry, Chestnut, Papaya, Lycopene

บทนำ

ขนมขบเคี้ยว (Snack) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมสำหรับทุกเพศทุกวัยเพื่อรับประทานเล่น ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่จำหน่ายในปัจจุบันส่วนใหญ่มีแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน โดยแป้งสาลีจะมีโปรตีนกลูเตนเป็นองค์ประกอบเพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามยังมีกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้กลูเตนเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีความต้องการผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน (Gluten free) จึงมีแนวโน้มการลดปริมาณแป้งสาลีในขนมขบเคี้ยวโดยใช้แป้งชนิดอื่น อาทิ แป้งจากข้าวเจ้ารวมถึงข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Wiriawattana *et al.*, 2018, p. 445), Mir *et al.*, 2019, p. 89) ซึ่งข้าวถือเป็นผลผลิตทางเกษตรที่เป็นรายได้หลักให้กับประเทศไทย รวมถึงข้าวไรซ์เบอร์รี่ (*Oryza sativa* L.) ที่เป็นข้าวที่เกิดจากการผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทำให้กลายเป็นข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่สามารถนำมาบริโภคโดยการหุงหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่จะผ่านการขัดสีแค่บางส่วนทำให้ยังคงคุณค่าทางสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด อาทิ เบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) แกมมาโอไรซานอล (Gamma oryzanol) วิตามินอี วิตามินบี สังกะสี ธาตุเหล็ก และเส้นใยอาหาร เป็นต้น (Wiriawattana *et al.*, 2018, p. 445) อย่างไรก็ตามกระบวนการขัดสีข้าวเปลือกทำให้เกิดปลายข้าว (Broken-milled rice) ซึ่งเป็นข้าวที่มีลักษณะแตกหักในปริมาณสูง ไม่นิยมนำมารับประทานเนื่องจากมีขนาดเล็กและรูปร่างไม่สมบูรณ์จึงถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์เนื่องจากปลายข้าวนี้เป็นเศษข้าวที่หักแต่มีส่วนของจมูกข้าวที่ยังคงอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ ดังนั้นการนำปลายข้าวที่มีต้นทุนต่ำแต่มีคุณประโยชน์สูงมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นขนมขบเคี้ยวถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบ

เกาลัด (Chestnut) เป็นธัญพืชจำพวกถั่วหรือพืชเมล็ดเปลือกแข็งที่มีคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งเป็นส่วนประกอบหลักและอุดมด้วยวิตามินบี โพแทสเซียม และกรดโฟลิก นิยมนำมารับประทานและแปรรูปเนื่องจากคุณค่าทางสารอาหารที่ครบถ้วนและรสชาติที่ถูกใจผู้บริโภค รวมถึงเป็นวัตถุดิบที่ปราศจากกลูเตน (Gluten-free) จากงานวิจัยของ Dall'Asta *et al.* (2013, pp. 236-268) พบว่าการใช้แป้งเกาลัดทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ โดยไปเสริมคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในขนมปัง ให้เป็นขนมปังเพื่อสุขภาพ (Functional bread) รวมถึงปรับปรุงรสชาติและเนื้อสัมผัสของขนมปังให้มีลักษณะการขึ้นฟูมากขึ้น ทำให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นด้วย

มะละกอบอกเป็นผลไม้เมืองร้อนที่นิยมปลูกในประเทศไทยสามารถบริโภคได้ทั้งดิบและสุก โดยมะละกอบอกมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เช่น เบต้าแคโรทีน และไลโคปีน (Lycopene) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสีของเนื้อมะละกอบอก (ส้ม-เหลือง) จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การบริโภคไลโคปีนสามารถป้องกันภาวะโรคหัวใจได้ รวมถึงมีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งการอักเสบ (Anti-inflammatory effect) ช่วยบำรุงและเร่งการฟื้นตัวจากปอดอักเสบได้ จึงมีการแนะนำให้บริโภคไลโคปีนอย่างสม่ำเสมอ (Mozos *et al.*, 2018, pp. 3-7) จากงานวิจัยของ Schweiggert *et al.* (2014, pp. 490-498) พบว่าเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในมะละกอบอกดูดซึมในร่างกายได้ดีกว่าในมะเขือเทศหรือแครอท ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยมีแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และเกาลัดเป็นวัตถุดิบหลักซึ่งไม่มีส่วนผสมกลูเตน รวมถึงเสริมคุณประโยชน์จากไลโคปีนที่ได้จากมะละกอบอก โดยใช้วิธีการทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวด้วยการอบด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากไมโครเวฟใช้เวลาสั้นในการให้ความร้อนแก่อาหารเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เตาอบหรือเครื่องอบลมร้อน รวมถึงสามารถรักษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไว้ได้ดี เพื่อให้ได้ขนมขบเคี้ยวที่หลากหลายและยังคงคุณค่าทางโภชนาการซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกาลัดที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว
2. เพื่อศึกษาผลอุณหภูมิและเวลาของเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ นำปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกรกลุ่มนาแหม อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ 3 ครั้ง นำปลายข้าวที่ได้มาผสมน้ำที่อัตราส่วน 1 : 1 ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นที่มีความเร็วรอบ 259 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำตัวอย่างที่ถูกปั่นละเอียด 300 กรัม เทใส่ถาดสเตนเลสที่มีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 20×30×2 เซนติเมตร และไปอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dry) ที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำปลายข้าวมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ซึ่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 9.14±0.71 เถ้าร้อยละ 1.06±0.15 โปรตีนร้อยละ 8.13±0.48 ไขมันร้อยละ 0.93±0.06 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 80.74±0.59 โยอาหารร้อยละ 3.92±0.14 และน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 9.48±0.18 นำมาบรรจุในภาชนะปิดสนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

1.2 เกาลัด นำเกาลัดจีน (*Castanea mollissima*) จากบริษัทนำเข้า แกะเปลือกออก 2 ชั้น นำส่วนเนื้อมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำเกาลัดมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นที่มีความเร็วรอบ 295 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ซึ่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 8.72±0.54 เถ้าร้อยละ 0.68±0.05 โปรตีนร้อยละ 5.78±0.09 ไขมันร้อยละ 2.21±0.10 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.61±0.18 โยอาหารร้อยละ 4.07±0.08 และน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 19.12±0.27 นำมาบรรจุในภาชนะปิดสนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

1.3 มะละกอ นำผลมะละกอสุกพันธุ์ฮอลแลนด์ ระยะ P5 (ระยะที่เปลือกมีสีเหลืองทั่วทั้งผล) มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ปอกเปลือกและหั่นเนื้อเป็นชิ้น นำส่วนของเนื้อมะละกอมานำด้วยเครื่องปั่นที่มีความเร็วรอบ 259 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จนละเอียด นำเนื้อมะละกอให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำมามลดอุณหภูมิที่ 29±2 องศาเซลเซียสทันที จนได้เนื้อมะละกอสุกเข้มข้น (Puree) ที่มีความชื้นร้อยละ 85.12±1.57 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS) เท่ากับ 12 องศาบริกซ์ (°Brix) และมีปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นเท่ากับ 2.42±0.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นำมาบรรจุลงถุงซิปล็อค เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส

2. ศึกษาอัตราส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกาลัดที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

นำแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และแป้งเกาลัดที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบมาผสมกัน โดยวางแผนการทดลองแบบการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ในอัตราส่วนระหว่างแป้งปลายข้าวต่อแป้งเกาลัด ดังนี้ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 90:10 และ 0:100 (โดยน้ำหนัก) นำแป้งแต่ละการทดลองเติมน้ำในอัตราส่วน 5 : 1 (โดยน้ำหนัก) ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมอาหารความเร็วเบอร์ 2 เวลา 10 นาที นำของผสมปริมาณ 100 กรัม นึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 10 นาที จนตัวอย่างมีลักษณะเป็นเจลใสทั้งชิ้น จากนั้นนำมารีดด้วยเครื่องรีดแป้งที่มีความหนา 0.1 เซนติเมตร ใช้พิมพ์กดลงบนแผ่นแป้งให้แต่ละชิ้นมีลักษณะวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตร นำตัวอย่างอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10-12) นำตัวอย่างแต่ละชิ้นวางกึ่งกลางในไมโครเวฟ (ยี่ห้อ LG รุ่น MS2447BB, ประเทศไทย) มาอบให้พองตัวที่ระดับความร้อนสูงสุด (กำลังไฟ 800 วัตต์) เป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพเพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมดังนี้

- การขยายตัวเชิงปริมาตร (Volume Expansion) เพื่อใช้อธิบายความสามารถในการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว คัดแปลงจากวิธีของ Sahin & Sumnu (as cited in Nguyen, 2013, pp. 437-438)

- เนื้อสัมผัส (Texture) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (รุ่น TA XT plus, ประเทศสหรัฐอเมริกา) วิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากค่าแรงกดสูงสุด (นิวตัน)

- ค่าสี (Color) นำตัวอย่างมาวัดค่าสีที่บริเวณผิวทั้ง 2 ฝั่ง โดยใช้เครื่อง Hunter Lab (Colorimeter ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น Color flex, ประเทศสหรัฐอเมริกา) วัดค่าสีวัดค่าสีในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ รายงานผลโดยค่า L^* เป็นค่าความสว่าง a^* เป็นค่าสีแดง (+) และสีเขียว (-) และ b^* เป็นค่าสีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (-) คำนวณหาค่า Hue angle (h°) = $\tan^{-1}(b^*/a^*)$

- ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบพรรณนาด้วยวิธี Quantitative descriptive analysis: QDA โดยมีระดับเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้ 1 = ต้องปรับปรุง, 2 = พอใช้, 3 = เฉยๆ, 4 = ดี และ 5 = ดีมาก ใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 20 คน ทั้งเพศชายและหญิงที่มีอายุระหว่าง 19-23 ปี จำนวน 20 คน โดยมีเกณฑ์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ดังนี้: (1) ลักษณะทั่วไป: ผลิตภัณฑ์ต้องแห้ง สีสม่ำเสมอ มีการพองตัวของชั้นผลิตภัณฑ์ ผิวเรียบ ไม่มีรอยแตกหัก (2) รสชาติ: มีรสชาติตามธรรมชาติของข้าว เกล็ด มะละกอ ปราศจากรสขม (3) กลิ่น: มีกลิ่นตามธรรมชาติของข้าว เกล็ด มะละกอ ปราศจากกลิ่นไหม้ กลิ่นหืน และ (4) เนื้อสัมผัส: ไม่ร่วน ไม่แข็งกระด้าง และประเมินความชอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 30 คน ทั้งเพศชายและหญิง ที่มีอายุระหว่าง 19-50 ปี

3. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 มาเคลือบด้วยมะละกอเข้มข้นทั่วทั้งชิ้นโดยวิธีการจุ่ม (Dipping) ในอัตราส่วน 1 : 10 (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นระยะเวลา 3 วินาที จากนั้นนำตัวอย่างมาวางเรียงในถาดอลูมิเนียมขนาด 30 x 20.5 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) ให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (บริษัทกล้วยน้ำไทเตาอบ, ประเทศไทย) ที่ความเร็วลมเท่ากับ 0.25 เมตร/วินาที วางแผนการทดลองแบบ 4 x 5 Factorial in Completely Randomized Design โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ อุณหภูมิในการให้ความร้อน 4 ระดับ คือ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการให้ความร้อน 5 ระดับ คือ 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เคลือบด้วยมะละกอมาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน (Lycopene content) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 444 และ 503 นาโนเมตร ตามวิธีของ Anthon and Barrett (2007) (as cited in Suwanaruang, 2016, p. 47) โดยมีขนมขบเคี้ยวที่เคลือบด้วยมะละกอสุกโดยไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นตัวอย่างควบคุม

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลคุณภาพของขนมขบเคี้ยวทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 25.0

ผลการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกล็ดที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมแป้งเกล็ดแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าการใช้อัตราส่วนของแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกล็ดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อทดแทนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยการเพิ่มอัตราส่วนของแป้งเกล็ดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีการพองตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกล็ดเท่ากับ 70:30 (โดยน้ำหนัก) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีการพองตัวเพิ่มขึ้นสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแป้งเกล็ดเป็นร้อยละ 100 (โดยน้ำหนัก) พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีการพองตัวต่ำที่สุด ในส่วนผลการทดลองค่าความแข็งพบว่าของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ใช้แป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 100 (โดยน้ำหนัก) มีความแข็งมากที่สุด ทั้งนี้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งเกล็ดขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าสีพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนแป้งเกล็ดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีสีเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากตารางที่ 1 การทดแทนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยแป้งเกล็ดตั้งแต่ร้อยละ 10 - 50 (โดยน้ำหนัก) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่า L^* และ a^* ลดลง แต่มีค่า b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีอัตราส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 100 (โดยน้ำหนัก) และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนแป้งเกล็ดถึงร้อยละ 100 (โดยน้ำหนัก) พบว่าค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า Hue angle (h°) ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกเฉดสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์พบว่าตัวอย่างทุกการทดลองมีเฉดสีเดียวกัน โดยตัวอย่างมีค่า h° อยู่ในช่วง 0.84-1.27 องศา ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ระหว่างสีแดง (ช่วง 0-45 องศา)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีสัดส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกาลัดแตกต่างกัน

ปลายข้าว: เกาลัด	การขยายตัวเชิง ปริมาตร(ร้อยละ)	ความแข็ง (นิวตัน)	L^*	a^*	b^*	Hue°
100:0	17.72±0.14 ^{cd}	44.22±0.93 ^a	47.04±0.16 ^a	9.14±1.04 ^{ac}	9.56±1.01 ^{de}	0.84±0.03 ^{bd}
90:10	25.37±0.15 ^{bd}	35.43±4.37 ^b	46.15±0.57 ^{ab}	7.07±1.89 ^{bd}	9.48±0.13 ^{de}	0.94±0.03 ^{ad}
80:20	48.72±0.30 ^{ab}	33.34±3.38 ^b	45.35±0.29 ^{bc}	6.64±1.96 ^{cd}	9.31±0.48 ^e	0.63±0.01 ^d
70:30	54.55±0.41 ^a	27.25±1.29 ^c	45.32±0.56 ^{bc}	7.26±1.71 ^{bd}	10.04±0.27 ^{de}	0.95±0.30 ^{ad}
60:40	46.25±0.56 ^{ab}	24.18±2.06 ^{cd}	43.68±0.36 ^{de}	6.93±1.55 ^{bd}	10.99±0.37 ^{de}	1.12±0.15 ^{ab}
50:50	40.11±0.42 ^{ac}	20.90±4.69 ^{de}	42.80±1.02 ^{ef}	6.30±1.90 ^d	12.36±1.11 ^d	1.27±0.24 ^a
40:60	35.90±0.41 ^{ad}	22.03±1.07 ^{de}	41.14±1.07 ^g	10.38±1.24 ^a	24.56±1.91 ^a	1.18±0.03 ^{ab}
30:70	28.57±0.20 ^{bd}	18.67±3.61 ^{ef}	41.81±0.40 ^{fg}	10.37±1.00 ^a	23.74±2.15 ^{ab}	1.16±0.06 ^{ab}
20:80	31.97±0.08 ^{bd}	15.20±1.15 ^{fg}	43.51±0.46 ^{de}	9.48±0.51 ^{ab}	17.00±3.83 ^c	1.05±0.09 ^{ac}
10:90	24.24±0.09 ^{bd}	13.89±1.59 ^g	44.43±0.94 ^{cd}	11.63±0.71 ^a	18.54±1.25 ^c	0.71±0.53 ^{cd}
0:100	4.00±0.12 ^d	11.66±1.47 ^g	46.69±1.36 ^{ab}	10.59±0.74 ^a	21.57±0.87 ^b	1.11±0.04 ^{ab}

หมายเหตุ : ^{a-g} ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมาทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative descriptive analysis โดยการประเมินเกณฑ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 1-ก พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 100 (โดยน้ำหนัก) ได้รับคะแนนประเมินคุณภาพทางด้านกลิ่นและรสชาติอยู่ในเกณฑ์ระดับที่ดี แต่คุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง โดยผลิตภัณฑ์ที่มีผิวที่แตกหัก แป้งไม่พองตัว เนื้อสัมผัสร่วนและแข็งกระด้างสอดคล้องลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมอบดังภาพที่ 1-ข แต่เมื่อผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของแป้งเกาลัดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 60 (โดยน้ำหนัก) พบว่าลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี โดยผลิตภัณฑ์มีการพองตัวของชิ้นผลิตภัณฑ์ ไม่มีรอยแตก เนื้อสัมผัสไม่ร่วนและไม่แข็งกระด้าง โดยคะแนนด้านกลิ่นและรสชาติอยู่ในเกณฑ์ดี-ดีมาก อย่างไรก็ตามการที่ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนแป้งเกาลัดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 70 - 100 (โดยน้ำหนัก) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีลักษณะมีลักษณะปรากฏอยู่ในเกณฑ์แนวโน้มไปในทางที่ต้องปรับปรุง โดยผลิตภัณฑ์มีลักษณะสีไม่สม่ำเสมอ ปรากฏลักษณะเข้มจากการไหม้ชัดเจน (ภาพที่ 1-ค) และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทุกสูตรมาทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9 points hedonic scale พบว่าการเพิ่มสัดส่วนแป้งเกาลัดในขนมขบเคี้ยวส่งผลต่อคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2) โดยการทดแทนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยแป้งเกาลัดตั้งแต่ร้อยละ 60 (โดยน้ำหนัก) ผู้บริโภคมีแนวโน้มไม่ชอบลักษณะสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 1 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว; (ก) ผลการวิเคราะห์คุณภาพเชิงพรรณนา (QDA), ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกาลัด; (ข) 100:0, (ค) 0:100, (ง) 70:30 และ (จ) 70:30 ผ่านการเคลือบด้วยมะละกอสุก

ตารางที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีสัดส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกาลัดแตกต่างกัน

ปลายข้าว:เกาลัด	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
100:0	6.0±0.6 ^a	6.0±0.0 ^c	5.0±0.0 ^d	3.4±0.5 ^f	4.2±0.8 ^h
90:10	6.2±0.4 ^a	6.6±0.5 ^b	5.4±0.5 ^c	4.2±0.4 ^e	5.6±0.5 ^e
80:20	6.2±0.4 ^a	7.0±0.0 ^a	6.2±0.4 ^{ab}	4.6±0.8 ^{cd}	6.4±0.8 ^d
70:30	6.4±0.4 ^a	6.8±0.4 ^{ab}	6.6±0.5 ^a	6.6±0.5 ^a	8.0±0.4 ^a
60:40	6.4±0.5 ^a	6.8±0.4 ^{ab}	6.4±0.5 ^{ab}	6.6±0.5 ^a	7.6±0.5 ^b
50:50	5.2±0.4 ^c	5.8±0.4 ^c	6.5±0.0 ^a	6.6±0.5 ^a	7.2±0.4 ^c
40:60	5.6±1.0 ^b	4.8±0.4 ^d	4.4±0.5 ^e	5.6±0.5 ^b	6.2±0.4 ^d
30:70	3.8±0.8 ^e	3.6±0.5 ^e	3.8±0.8 ^f	4.6±0.5 ^{cd}	5.8±0.4 ^e
20:80	4.2±0.8 ^d	5.0±0.0 ^d	5.0±0.0 ^d	4.8±0.4 ^c	5.2±0.4 ^f
10:90	5.0±0.0 ^c	5.8±0.4 ^c	4.6±0.5 ^e	4.4±0.5 ^{de}	5.0±0.0 ^f
0:100	3.8±0.4 ^e	4.8±0.4 ^d	4.6±0.5 ^e	3.6±0.5 ^f	4.6±0.5 ^g

หมายเหตุ : ^{a-g} ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าแป้งเกาลัดมีผลต่อการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวให้ดีขึ้น โดยอัตราส่วนของแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกาลัดที่เหมาะสมคือ 70:30 (โดยน้ำหนัก) เนื่องจากมีการพองตัวเพิ่มขึ้นสูงที่สุดและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลง ลักษณะสีปรากฏสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นและไม่เกิดการไหม้ (ภาพที่ 1-ง) รวมถึงผู้บริโภคให้คะแนนการความชอบโดยรวมสูงที่สุดด้วย (คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบมาก)

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และแป้งเกาลัดที่อัตราส่วน 70:30 (โดยน้ำหนัก) และถูกเคลือบด้วยมะละกอสุกมีปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นเท่ากับ 2.47 ± 0.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ไม่ได้แสดงผล) ลักษณะแสดงดังภาพที่ 1-จ จากนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดพบว่า ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3) โดยความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวลดลง ทั้งนี้ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเคลือบมะละกอสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 - 80 องศาเซลเซียส กลับทำให้ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านเวลาในการให้ความร้อนพบว่าความร้อนเป็นเวลา 30 นาที มีผลต่อปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนให้ความร้อน แต่เมื่อให้เวลาผลิตภัณฑ์สัมผัสความร้อนนานขึ้น ณ เวลานั้น พบว่าให้ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเคลือบมะละกอสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และปริมาณไลโคปีนกลับมามีค่าลดลงเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 120 นาที

ตารางที่ 3 ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน

ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
สภาวะอบแห้ง	50 องศาเซลเซียส	60 องศาเซลเซียส	70 องศาเซลเซียส	80 องศาเซลเซียส
30 นาที	0.76±0.26 ^{bc}	1.84±0.07 ^{ab}	1.87±0.08 ^{ab}	1.20±0.59 ^{ba}
60 นาที	0.99±0.30 ^{bc}	2.32±0.71 ^{aB}	2.56±0.18 ^{aA}	2.00±0.30 ^{aA}
90 นาที	1.50±0.48 ^{cB}	3.08±0.05 ^{aA}	2.40±0.18 ^{ba}	2.08±0.11 ^{ba}
120 นาที	1.59±0.52 ^{baB}	2.69±0.11 ^{aB}	1.94±0.23 ^{baB}	1.68±0.27 ^{ba}
150 นาที	2.25±0.13 ^{aA}	2.24±0.84 ^{aB}	1.13±0.40 ^{aC}	1.60±0.77 ^{aA}

หมายเหตุ : ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยจากปัจจัยด้านอุณหภูมิมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตัวอักษร ^{A-C} ที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยจากปัจจัยด้านเวลามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

อภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแป้งเกาลัดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

การนำแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และแป้งเกาลัดที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมาให้ความร้อน จะทำให้เม็ดแป้งสามารถจะดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดเจลลาติไนซ์ (Gelatinization) ซึ่งส่งผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยว โดยประสิทธิภาพการพองตัวของแป้งมากหรือน้อยนั้นขึ้นกับสัดส่วนของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารของแป้งนั้น ๆ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแป้งไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณใยอาหารสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีที่นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (Sirichokworrakit *et al.*, 2015, p. 1008) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้แป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงมีการพองตัวต่ำ โดยเส้นใยอาหารจะลดการดูดซึมน้ำถือเป็นการขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ส่งผลต่อการขยายตัวของแป้งลดลง (Selani *et al.*, 2014, p. 27) และจากผลการทดลองเมื่อทดแทนด้วยแป้งเกาลัดลงไปในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแป้งเกาลัดนั้นมีองค์ประกอบของโปรตีนต่ำกว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยโปรตีนนั้นจะถูกตรึงไว้ที่ผิวของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งจึงไม่สามารถจับกับน้ำได้ถืออุปสรรคต่อการพองตัวของเม็ดแป้งเมื่อให้ความร้อน (Yadav *et al.*, 2014, p. 355) อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลในแป้งเกาลัดที่มีปริมาณมากกว่าแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการดูดซึมน้ำของเม็ดแป้ง มีผลทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งลดลงมากขึ้น การเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งชนิดนี้จึงไม่สมบูรณ์ (Demirkesen, 2016, p. 271; Kan *et al.*, 2016, pp. 620-621)

การใช้ประโยชน์จากแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และแป้งเกาลัดในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว นั้น ถือเป็นการเพิ่มทางเลือกผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ปราศจากโปรตีนกลูเตน ดังนั้นจะมีผลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสในทอมนค่าความแข็ง (Hardness) ที่เป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวให้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งขนมขบเคี้ยวที่ดีนั้นควรมีค่าความแข็งต่ำ โดยการทดแทนสัดส่วนของแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยแป้งเกาลัดถือเป็นการชะลอการพองตัวของเม็ดแป้ง เนื่องจากแป้งเกาลัดมีองค์ประกอบน้ำตาลมากกว่าแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ น้ำตาลจะลดปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์รวมถึงส่งผลให้เกิดการชะลอการเกิดเจล โดยลดความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง (Sun *et al.*, 2014, pp. e95862 (3-4)) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์หลังได้รับความร้อนไม่มีลักษณะที่แข็ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Paciulli *et al.* (2018, p. 454) พบว่าการทดแทนแป้งข้าวด้วยแป้งเกาลัดสามารถช่วยปรับปรุงให้เนื้อสัมผัสของบิสกิตมีความแข็งที่ลดลง

ในส่วนของคุณค่าสีพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ใช้แป้งเกาลัดทดแทนสัดส่วนของแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีเข้มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบน้ำตาลของเกาลัดไปช่วยเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการให้ความร้อนมากขึ้น (Mir *et al.*, 2019, p. 91) รวมถึงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุ (Pigment) ของแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่และแป้งเกาลัด กล่าวคือเมื่อค่อยๆ เพิ่มสัดส่วนแป้งเกาลัดถือเป็นการลดปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วงจากแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลง จึงทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลง และมีความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนแป้งเกาลัดมากกว่าแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากบทบาทของรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในเกาลัด จากงานวิจัยของ Littardi *et al.* (2020, pp. 109303 (4-5)) พบว่าการเติมแป้งเกาลัดในเส้นพาสต้าที่ผลิตจากแป้งสาลี ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์แสดงไปทางโทนสีแดงและสีเหลืองที่เข้มขึ้น โดยมีค่า a^* เพิ่มขึ้นจาก -0.04 ± 0.31 เป็น 5.63 ± 0.31 และค่า b^* เพิ่มขึ้นจาก 13.42 ± 0.69 เป็น 15.59 ± 0.68 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมาทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความแข็งลดลงตามสัดส่วนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่จากการถูกทดแทนด้วยแป้งเกาลัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองค่าความแข็งที่ลดลง รวมถึงมีรสชาติหวานและกลิ่นเป็นเกาลัดเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นจากแป้งเกาลัด อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลจากแป้งเกาลัดยังมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาคาราเมล (Caramelization) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้แป้งเกาลัดในสัดส่วนที่สูงเกินไป มีลักษณะไหม้และมีรสขมขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวทุกสูตรมาทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์โดย พบว่าการใช้แป้งเกาลัดเป็นการช่วยปรับปรุงลักษณะทางเนื้อสัมผัสของตัวอย่างให้มีความแข็งลดลง รวมถึงช่วยปรับปรุงให้สี กลิ่น และรสชาติของขนมขบเคี้ยวให้ชัดเจนมากขึ้น อย่างไรก็ตามหากเพิ่มสัดส่วนแป้งเกาลัดมากเกินไปจะส่งผลให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวลดลง โดยเป็นผลมาจากปริมาณน้ำตาลที่สูงของแป้งเกาลัดไปมีผลต่อการอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งให้ช้าลงส่งผลให้ตัวอย่างบางส่วนอาจจะไม่ค่อยสุก รวมถึงไปเร่งปฏิกิริยาสีน้ำตาลให้เร็วขึ้นสีและกลิ่นของขนมขบเคี้ยวจึงไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ในธรรมชาติโครงสร้างของไลโคปีนจะอยู่ในรูปไฮโดรคาร์บอน มีพันธะคู่ 11 คู่ ดังนั้นไลโคปีนจึงเป็นสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวสูง ทำให้เกิดการเคลื่อนไหลของอิเล็กตรอน (Electron Delocalization) ภายในโครงสร้างได้สูง ง่ายต่อการถูกย่อยสลายด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น แสง ออกซิเจน และความร้อน (Engin *et al.*, 2013, p. 172) ผ่านกลไกการสลายตัวของไลโคปีน 2 รูปแบบ เริ่มจากเมื่อนำผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไลโคปีนเป็นองค์ประกอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการสลายตัวของไลโคปีนผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณพันธะคู่ (Boskovic, 1979 as cited in Engin *et al.*, 2013, p. 172) นอกจากนี้เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น ณ เวลาหนึ่ง ความร้อนจะไปกระตุ้นให้ผนังเซลล์พืช (Cell wall) เกิดการแตกออก ส่งผลให้ไลโคปีนซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ไหลออกมากระจายในเนื้อเยื่อพืชมากขึ้น (Przybylska, 2020, pp. 11-26) จึงตรวจพบไลโคปีนมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อน อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงหรือใช้เวลาดำเนินการให้ความร้อนนานเกินไป จะไปกระตุ้นให้อัตราการสลายตัวของไลโคปีนเพิ่มขึ้นผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) ซึ่งโดยทั่วไปโครงสร้างของไลโคปีนประกอบด้วย 2 ไอโซเมอร์ ได้แก่ ทรานส์ไลโคปีน (*Trans*-lycopene) และซิสไลโคปีน (*Cis*-lycopene) โดยทรานส์ไลโคปีนพบในธรรมชาติ เช่นอาหาร พืช และผลไม้เป็นต้น ส่วนซิสไลโคปีนพบในเลือด เนื้อเยื่อของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งโครงสร้างของไลโคปีนแบบทรานส์มีความเสถียรกว่าโครงสร้างแบบซิส การให้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากทรานส์ไลโคปีนไปเป็นซิสไลโคปีน ส่งผลให้โครงสร้างมีความเสถียรลดลงทำให้เกิดอัตราการสลายของไลโคปีนมากขึ้น โดย Engin *et al.* (2013, p. 174) พบว่าไลโคปีนในมะเขือเทศเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการสลายตัวน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส รวมถึง Cooperstone *et al.* (2016, p. 469) ได้ศึกษาปริมาณไลโคปีนในกระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 30, 60, 120 และ 180 นาที พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้นส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนลดลง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไลโคปีนจากกระบวนการให้ความร้อนอาจมาจากปฏิกิริยาอื่นในผักและผลไม้ร่วมด้วย โดย Tanongkankit *et al.* (2016, pp. 51-52) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งสูงเกินไปส่งผลให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเห็ดหุ้มเมล็ดผักข่ามีค่าน้อยลง สาเหตุจากการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ตามธรรมชาติในผักและผลไม้ และเป็นเอนไซม์ที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา Oxidative degradation ของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน ซึ่งจะเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนให้อยู่ในรูปอื่น ๆ ที่ไม่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยเอนไซม์นี้ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเสียสภาพที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเพิ่มสัดส่วนแบ่งเกล็ดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีการพองตัวที่ดีขึ้น เนื้อสัมผัสแห้งลดลง รวมถึงมีสีเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ปริมาณร้อยละ 100 (โดยน้ำหนัก) โดยอัตราส่วนของแป้งปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อแบ่งเกล็ดที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวคือ 70:30 (โดยน้ำหนัก) ซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคในระดับชอบมาก สำหรับการเพิ่มคุณสมบัติของไลโคปีนจากมะละกอสุกพบว่าการนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเคลือบมะละกอสุกเข้มข้นแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที สามารถรักษาปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาณสูง จากงานวิจัยนี้ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวให้มีคุณสมบัติต่อสุขภาพของผู้บริโภค รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบท้องถิ่น อย่างไรก็ตามการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอาจต้องศึกษาต้นทุนในการผลิตเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว รวมถึงปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีลักษณะการพองตัวที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ขายตามท้องตลาดเพื่อให้เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- Cooperstone, J. L., Francis, D. M. & Schwartz, S.J.(2016). Thermal Processing Differentially Affects Lycopene and Other Carotenoids in *Cis*-Lycopene Containing, *Tangerine* Tomatoes. *Food Chemistry*.210,466-472.
- Dall'Asta, C., Cirlini, M., Morini, E., Rinaldi, M., Ganino, T. & Chiavaro, E. (2013). Effect of Chestnut Flour Supplementation on Physico-chemical Properties and Volatiles in Bread Making. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 233–239.



- Demirkesen, I. (2016). Formulation of Chestnut Cookies and their Rheological and Quality Characteristics. *Journal of Food Quality*, 39(4), 264-273.
- Engin, D., Yahya, T. & Yusuf Y. (2013). Degradation Kinetics of Lycopene, Beta-carotene and Ascorbic Acid in Tomatoes during Hot Air Drying. *Journal of food science and technology*. 50(1), 172-176.
- Kan, L., Li, Q., Xie, S., Hu, J., Wu, Y. & Ouyang, J. (2016). Effect of Thermal Processing on the Physicochemical Properties of Chestnut Starch and Textural Profile of Chestnut Kernel. *Carbohydrate Polymers*, 151, 614-623.
- Littardi, P., Paciulli, M., Carini, E., Rinaldi, M., Rodolfi, M. & Chiavaro, E. (2020). Quality Evaluation of Chestnut Flour Addition on Fresh Pasta. *LWT- Food Science and Technology*, 126, 109303.
- Mir, S., Bosco S. & Shah, M. (2019). Technological and Nutritional Properties of Gluten-free snacks Based on Brown Rice and Chestnut Flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), 89-94.
- Mozos, I., Stoian, D., Caraba, A., Malainer, C., Horbanczuk, J. O. & Atanasov, A. G. (2018). Lycopene and Vascular Health. *Frontiers in pharmacology*, 9, 1-16.
- Nguyen, T. T., Le, T. Q. & Songsermpong, S. (2013). Shrimp Cassava Cracker Puffed by Microwave Technique: Effect of Moisture and Oil Content on Some Physical Characteristics. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 47, 434-446.
- Paciulli, M., Rinaldi, M., Cavazza, A., Ganino, T., Rodolfi, M., Chiancone, B., et al. (2018). Effect of Chestnut Flour Supplementation on Physico-chemical Properties and Oxidative Stability of Gluten-free Biscuits During Storage. *LWT - Food Science and Technology*, 98, 451-457.
- Przybylska, S. (2020). Lycopene-a Bioactive Carotenoid Offering Multiple Health Benefits: A Review. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 11-32.
- Schweiggert, R. M., Kopec, R. E., Villalobos-Gutierrez, M. G., Högel, J., Quesada, S., Esquivel, P., et al. (2014). Carotenoids are more Bioavailable from Papaya than from Tomato and Carrot in Humans: A Randomised Cross-over Study. *British Journal of Nutrition*. 111(3), 490-498.
- Selani, M. M., Canniattibrazaca, S. G., Dias, C. T., Ratnayake, W. S., Flores, R. A. & Bianchini, A. (2014). Characterization and Potential Application of Pineapple Pomace in an Extruded Product for Fiber Enhancement, *Food Chemistry*, 163, 23-30.
- Sirichokworakit, S., Phetkhut, J. & Khommoon, A. (2015). Effect of Partial Substitution of Wheat flour with Riceberry Flour on quality of noodles, *Social and Behavioral Sciences*, 197(25), 1006-1012.
- Sun, Q., Xing, Y., Qiu, C., & Xiong, L. (2014). The Pasting and Gel Textural Properties of Corn Starch in Glucose, Fructose and Maltose syrup. *PLoS One*, 9(4), e95862.
- Suwanaruang, T. (2016). Analyzing Lycopene Content in Fruits. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 11, 46-48.
- Tanongkankit, Y., Narkprasom K. & Narkprasom, N. (2016). Effect of Processing on Physical Property and Carotenoid Content in Natural Food Colorant from Gac aril. *Journal of Food Technology, Siam University*, 11(1), 47-57. (in Thai)
- Wiriawattana, P., Suwonsichon, S. & Suwonsichon, T. (2018). Effects of Drum Drying on Physical and Antioxidant Properties of Riceberry Flour. *Agriculture and Natural Resources*, 52(5), 445-450.
- Yadav, B. S., Yadav, R. B., Kumari, M. & Khathcar, B. S. (2014). Studies on Suitability of Wheat Flour blends with Sweet Potato, Colocasia and Water Chestnut Flours for Noodle Making. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 352-358.