วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

ผลของการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของบราวนี่ปลอดกลูเตน

The Effect of Xanthan Gum and Carboxymethyl Cellulose Addition on the Properties of Gluten-Free Brownies

สินี หนองเต่าดำ* และ จาฏุพัจน์ คำแน่น
Sinee Nongtaodum* and Jatupat Cumnan
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Received : 20 May 2022
Revised : 2 August 2022
Accepted : 4 September 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของบราวนี่ปลอดกลูเตน อัตราส่วนของการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ได้แก่ 0:1, 0.25:0.75, 0.5:0.5, 0.75:0.25 และ 1:0 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) จากการศึกษาพบว่าการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ ทำให้แบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นขณะที่ค่าความหนาแน่นลดลง ปริมาณความชื้นของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.7414-0.7579 ปริมาตรจำเพาะและความสูงของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.75:0.25 และ 0.50:0.50 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) มีค่าไม่แตกต่างจากบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทางกลับกันน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) ค่าความสว่าง (L^*) ส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 37.15-41.16 และ 30.17-32.41 ตามลำดับ ค่าความแน่นเนื้อของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) มีค่าไม่แตกต่างจากบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้แซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในการปรับปรุงสมบัติของบราวนี่ปลอดกลูเตนให้มีความใกล้เคียงกับบราวนี่สูตรปกติที่ใช้แป้งสาลีได้

คำสำคัญ : บราวนี่ ; แซนแทนกัม ; คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ; ปลอดกลูเตน ; เนื้อสัมผัส

Abstract

The objective of this research was to study the effect of xanthan gum (XG) and carboxymethyl cellulose (CMC) addition on the properties of gluten-free brownies. XG and CMC were added at ratios of 0:1, 0.25:0.75, 0.5:0.5, 0.75:0.25 and 1:0 (% flour weight basis). The study was found that adding different ratios of XG and CMC to gluten-free brownies brought about increased batter consistency while batter density decreased. Moisture content of gluten-free brownies with different ratios of XG and CMC addition were significantly higher ($p \leq 0.05$) than that of gluten-free brownie without XG and CMC addition (Control 2). Water activity (a_w) values of wheat brownie (Control 1), gluten-free brownies without XG and CMC addition (Control 2) and with different ratios of XG and CMC addition were in range of 0.7414-0.7579. Specific volume and height of gluten-free brownies with XG and CMC addition at ratios of 0.75:0.25 and 0.50:0.50 (% flour weight basis) were not significantly different ($p>0.05$) from those of wheat brownie (Control 1). In contrast, weight loss after baking of gluten-free brownies with different ratios of XG and CMC addition were significantly lower ($p \leq 0.05$) than that of gluten-free brownie without XG and CMC addition (Control 2). Crust and crumb lightness (L^*) of gluten-free brownies without XG and CMC addition (Control 2) and with different ratios of XG and CMC addition were in range of 31.15-41.16 and 30.17-32.41, respectively. Firmness values of gluten-free brownies with XG and CMC addition at ratios of 0.75:0.25 and 0.50:0.50 (% flour weight basis) were not significantly different ($p>0.05$) from that of wheat brownie (Control 1). This research indicated the possible use of XG and CMC for improving the properties of gluten-free brownies similar to the normal one with wheat flour.

Keywords : brownies ; xanthan gum ; carboxymethyl cellulose ; gluten-free ; texture

***Corresponding author**. E-mail : nongtaodum_s@su.ac.th

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้รับความนิยมรับประทานกันเป็นอาหารว่างในปัจจุบัน ได้แก่ ขนมปัง เค้ก คุกกี้ บิสกิต พาย และบราวนี่ เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ขนมอบส่วนใหญ่รวมถึงบราวนี่จะใช้แป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลัก ในแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตน ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) กลูเตนจะมีความเหนียวและยืดหยุ่นเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ขนมอบขึ้นฟู แต่เนื่องด้วยกลูเตนเป็นสารก่อภูมิแพ้ โดยมีผู้บริโภคบางกลุ่มที่เป็นโรคแพ้กลูเตน (Coeliac disease) เมื่อได้รับกลูเตนเข้าไปจะก่อให้เกิดอาการแพ้ ได้แก่ ปวดท้อง ท้องเสีย อาเจียนและส่งผลให้เนื้อเยื่อวิลไลในลำไส้เล็กโดนทำลายในที่สุด ในปัจจุบันพบผู้ที่แพ้กลูเตนคิดเป็นร้อยละ 1.4 ของประชากรในโลกและคาดว่าจะมีเพิ่มมากขึ้นในอนาคต (Dias *et al*., 2021) โดยในหลายปีที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ได้ใช้แป้งหรือสตาร์ชปลอดกลูเตน (ข้าวเจ้า ข้าวโพด มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง เป็นต้น) มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนมปังและเค้กจำนวนมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมอบปลอดกลูเตนจะให้ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสที่ไม่พึงประสงค์ และคุณค่าทางโภชนาการลดลง ดังนั้นได้มีงานวิจัยที่นำไฮโดรคอลลอยด์ เช่น กัวกัม เพกติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส คาราจีแนน อัลจิเนต แซนแทนกัม และโลคัสบีนกัม เป็นต้น มาเติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมอบปลอดกลูเตนเพื่อใช้เป็นสารทดแทนกลูเตน (Gluten substitutes) ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบปลอดกลูเตน (Lazaridou *et al*., 2007; Sciarini *et al*., 2010; Preichardt *et al*., 2011)

แซนแทนกัมเป็นโพลีแซคคาไรด์ ละลายได้ในน้ำร้อนและน้ำเย็น มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความหนืด ความคงตัวในอาหาร และยังใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ส่วนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ละลายได้ดีในน้ำเย็น มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความหนืดและความคงตัวในอาหาร ช่วยรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพิ่มเนื้อหรือความรู้สึกเมื่อมีอาหารอยู่ในปาก (Mouth feel) และสามารถควบคุมการตกผลึกของน้ำแข็งและน้ำตาลในอาหาร (Kohajdová & Karovi**č**ová, 2009) สำหรับงานวิจัยที่ได้ใช้แซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในผลิตภัณฑ์ขนมอบปลอดกลูเตน เช่น Preichardt *et al*. (2011) รายงานว่า เค้กปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าและข้าวโพดที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.3 และ 0.4 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสคล้ายคลึงกับเค้กที่ทำจากแป้งสาลี Lazaridou *et al*. (2007) รายงานว่า ขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวโพดที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้งจะมีปริมาตร จำนวนเซลล์ (รูพรุน) และความยืดหยุ่นของขนมปังปลอดกลูเตนเพิ่มขึ้น และ Sciarini *et al*. (2010) รายงานว่า ขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า ข้าวโพดและถั่วเหลืองที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักแป้ง จะเพิ่มปริมาตร เพิ่มขนาดของเซลล์ (รูพรุน) และปรับปรุงเนื้อสัมผัส เป็นต้น

ในปัจจุบันนั้นยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยมากที่ได้ให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์บราวนี่ปลอดกลูเตน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้แป้งข้าวเจ้ามาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บราวนี่ปลอดกลูเตน โดยแป้งข้าวเจ้าจะมีคุณสมบัติปลอดกลูเตน รสชาตินุ่ม ไม่มีสี มีปริมาณโซเดียมต่ำ มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย และมีสารก่อภูมิแพ้ต่ำ (Marco & Rosell, 2008) แต่การใช้แป้งปลอดกลูเตนจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์บราวนี่ด้อยคุณภาพลงกว่าที่ใช้แป้งที่มีกลูเตน ทั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติของบราวนี่ปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบ ได้แก่ แป้งสาลี (แป้งอเนกประสงค์ตราว่าว) แป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) ผงโกโก้ (ตราทิวลิป) น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล) เกลือป่น (ตราปรุงทิพย์) เนยชนิดเค็ม (ตราอลาวรี่) ไข่ไก่เบอร์ 2 (ตราเคซีเอฟ) ผงฟูดับเบิลแอคติ้ง (ตราเบสท์ฟูด) เกลือป่น (ตราปรุงทิพย์) กลิ่นวนิลา (ตรา เบสท์ โอเดอร์) ไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (บริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด)

2. อัตราส่วนการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในบราวนี่ปลอดกลูเตน

ทำการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในบราวนี่ปลอดกลูเตนที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดัง Table 1

Table 1 Addition of xanthan gum and carboxymethyl cellulose at different ratios in gluten-free brownies.

Sample	Xanthan gum (% flour weight basis)	Carboxymethyl cellulose (% flour weight basis)
WF (Control 1)	-	-
RF (Control 2)	-	-
RF+XG:CMC (1:0)	1	-
RF+XG:CMC (0:1)	-	1
RF+XG:CMC (0.75:0.25)	0.75	0.25
RF+XG:CMC (0.50:0.50)	0.50	0.50
RF+XG:CMC (0.25:0.75)	0.25	0.75

WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

3. ขั้นตอนการผลิตบราวนี่

นำส่วนผสมแห้ง ได้แก่ แป้ง ผงฟู โกโก้ และไฮโดรคอลลอยด์ (แซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส) ดัง Table 1 มาร่อนให้เข้ากันด้วยตะแกรงร่อนจำนวน 2 ครั้ง และพักไว้ แล้วตีผสมไข่ไก่ น้ำตาลทราย และเกลือป่นเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสม (KitchenAid, Model 5K5SS, USA) ที่ความเร็วระดับ 6 เป็นระยะเวลา 4 นาที ปรับความเร็วเป็นระดับ 4 แล้วเติมเนยชนิดเค็มลงไป ตีผสมต่อเป็นระยะเวลา 3 นาที ค่อย ๆ เติมส่วนผสมแห้งที่ผ่านการร่อนแล้ว ตีผสมต่อที่ความเร็วระดับ 3 เป็นระยะเวลา 3 นาที นำแบทเทอร์เทลงใส่ถาด แล้วนำถาดเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 175±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 25 นาที พักบราวนี่ให้เย็นในถาดนาน 30 นาที แล้วทำการปิดพลาสติกบนถาด เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติ

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของบราวนี่ปลอดกลูเตน

4.1 ศึกษาคุณสมบัติของแบทเทอร์บราวนี่ (Batter) โดยวิเคราะห์ ดังนี้

1) ความหนืด (Consistency) วัดค่าความหนืดของแบทเทอร์บราวนี่ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบราง (Bostwick Consistometer, Endecotts, England) ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส โดยใช้แบทเทอร์บราวนี่น้ำหนัก 70±2 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ แล้วเทแบทเทอร์บราวนี่ลงในเครื่องวัดความหนืดแบบราง และบันทึกค่าระยะทางที่แบทเทอร์บราวนี่ไหล (เซนติเมตร) ที่เวลา 120 วินาที

2) ความหนาแน่น วัดค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่ (AACC, 2000) โดยเทแบทเทอร์บราวนี่ในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ใส่ให้ถึงขีดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งน้ำหนักของแบทเทอร์บราวนี่ (กรัม) และบันทึกน้ำหนักโดยความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่ (กรัมต่อมิลลิลิตร) เท่ากับน้ำหนักของแบทเทอร์บราวนี่ (กรัม)/ ปริมาตรของแบทเทอร์บราวนี่ (มิลลิลิตร)

4.2 ศึกษาคุณสมบัติของบราวนี่โดยวิเคราะห์ ดังนี้

1) ความสูง วัดค่าความสูงชิ้นบราวนี่ด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์ (Digital vernier caliper; Mitutoyo, Tokyo, Japan)

2) ปริมาตรจำเพาะ วัดปริมาตรจำเพาะของบราวนี่โดยการแทนที่งา ตามวิธี AACC (2000)

3) เนื้อสัมผัส ทำการตัดชิ้นตัวอย่างบราวนี่ให้มีขนาดเท่ากับ 1×1×1 นิ้ว แล้วนำไปวัดค่าเนื้อสัมผัส Texture Profile Analyzer (TPA) โดยเครื่อง Texture analyser (TAXT2i, Stable Micro Systems, Surrey, UK) ใช้หัววัด Cylindrical probe ขนาด 50 มิลลิเมตร (P/50) สภาวะของการวัด คือ Pre-test speed (1 mm/sec), Test speed (5 mm/sec), Post-test speed (10 mm/sec) และ Trigger-force (60% Strain) ดัดแปลงจาก Lu *et al*. (2010) บันทึกค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ความยืดหยุ่น (Springiness) ความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) ความเหนียวเป็นยางหรือกาว (Gumminess) และความทนต่อการเคี้ยว (Chewiness)

4) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) นำตัวอย่างบราวนี่มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปวัดค่า a_w ด้วยเครื่อง Water activity (Aqualab Series 4TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, Washington, USA) ควบคุมอุณหภูมิการวัดที่ 25 องศาเซลเซียส

5) ร้อยละน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบ (%Weight Loss; %WL) ชั่งน้ำหนักของแบทเทอร์บราวนี่ก่อนอบ (W1) และน้ำหนักของบราวนี่หลังอบ (W2) (ทิ้งไว้ให้เย็น 30 นาทีก่อนชั่ง) นำมาคำนวณน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบดังสมการที่ 1

$$\%WL = \left[(W1-W2)/W1\right]\times 100 \quad (1)$$

6) ค่าสี วัดค่าสีของส่วนเปลือก (Crust) และส่วนเนื้อ (Crumb) บราวนี่ โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter, Genesys20, Thermo Scientific, USA) โดยค่า L^* (ความสว่าง) มีค่า 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) ค่า a^* ($-a^*$ คือ สีเขียว; $+a^*$ คือ สีแดง) ค่า b^* ($-b^*$ คือ สีน้ำเงิน; $+b^*$ คือ สีเหลือง) และคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) ดังสมการที่ 2

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2\right]^{1/2} \quad (2)$$

7) ปริมาณความชื้น นำตัวอย่างบราวนี่มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยวิธีอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot-Air Oven, Binder, USA) ที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส ตามวิธี AOAC (2000)

5. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS V. 10 statistical software package (SPSS (Thailand) Co., Ltd.)

ผลการวิจัย

ผลของการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อคุณสมบัติของบราวนี่ปลอดกลูเตน

1. คุณสมบัติของแบทเทอร์บราวนี่

ค่าความหนืดจะแปรผกผันกับค่า Bostwick number (เซนติเมตร) โดยแบทเทอร์บราวนี่ที่ให้ค่าความหนืดสูง จะไหลได้ช้า ดังนั้นระยะทางของการไหลจะน้อย (ค่า Bostwick number ต่ำ) จาก Table 2 พบว่า ค่า Bostwick number ของแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 3.52-4.02 เซนติเมตร โดยมีค่าต่ำกว่า (ความหนืดสูงกว่า) แบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2 เท่ากับ 6.63 เซนติเมตร) และแบทเทอร์บราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1 เท่ากับ 4.30 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยการเติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง ส่งผลให้แบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนมีค่า Bostwick number ต่ำสุด (ความหนืดสูงสุด) สำหรับค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.77-0.82 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2 เท่ากับ 0.87 กรัมต่อมิลลิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) มีค่าไม่แตกต่างกับแบทเทอร์บราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

Table 2 Consistency (Bostwick number) and density of brownie batters.

Sample	Bostwick number (cm)	Density (g/ml)
WF (Control 1)	4.30 ± 0.26^{b}	0.79 ± 0.01^{c}
RF (Control 2)	6.63 ± 0.28^{a}	0.87 ± 0.02^{a}
RF+XG:CMC (1:0)	3.52 ± 0.13^{e}	0.77 ± 0.02^{d}
RF+XG:CMC (0:1)	4.02 ± 0.15^{c}	0.82 ± 0.02^{b}
RF+XG:CMC (0.75:0.25)	3.63 ± 0.18^{e}	0.82 ± 0.01^{b}
RF+XG:CMC (0.50:0.50)	3.72 ± 0.12^{de}	0.80 ± 0.01^{c}
RF+XG:CMC (0.25:0.75)	3.90 ± 0.09^{cd}	0.79 ± 0.02^{cd}

Values with different superscripts within a column indicate significant differences ($p\leq0.05$).

WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

2. คุณสมบัติของบราวนี่

- ปริมาณความชื้น ค่า a_w และน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของบราวนี่

จาก Table 3 พบว่า ปริมาณความชื้นของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 13.72-15.53) สูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2 เท่ากับร้อยละ 12.01) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง จะมีปริมาณความชื้นสูงสุด (ร้อยละ 15.53) ส่วนค่า a_w ของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) บราวนี่ปลอดกลูเตนทั้งที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.7414-0.7579 สำหรับน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.24-6.33 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2 เท่ากับร้อยละ 7.13) และบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1 เท่ากับร้อยละ 6.50) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.24

Table 3 Moisture content, water activity (a_w) and weight loss after baking of brownies.

Sample	Moisture content (%)	Water activity (a_w)	Weight loss after baking (%)
WF (Control 1)	14.18±1.19^{b}	0.7579±0.0083^{a}	6.50±0.05^{b}
RF (Control 2)	12.01±1.19^{c}	0.7435±0.0074^{bc}	7.13±0.12^{a}
RF+XG:CMC (1:0)	15.53±0.47^{a}	0.7414±0.0077^{c}	5.24±0.23^{e}
RF+XG:CMC (0:1)	13.72±0.48^{b}	0.7508±0.0031^{b}	6.26±0.05^{c}
RF+XG:CMC (0.75:0.25)	14.71±0.38^{ab}	0.7459±0.0052^{bc}	5.85±0.04^{d}
RF+XG:CMC (0.50:0.50)	14.18±0.99^{b}	0.7495±0.0046^{b}	5.98±0.08^{d}
RF+XG:CMC (0.25:0.75)	13.80±0.22^{b}	0.7503±0.0027^{b}	6.33±0.09^{c}

Values with different superscripts within a column indicate significant differences ($p\leq0.05$).

WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

- ปริมาตรจำเพาะและความสูงของบราวนี่

จาก Table 4 พบว่า ปริมาตรจำเพาะของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และปริมาตรจำเพาะของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบควบคุม 1) มีค่าไม่แตกต่างจากบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและ

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.75:0.25 และ 0.50: 0.50 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนความสูงของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และความสูงของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) มีค่าไม่แตกต่างจากบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.75:0.25 และ 0.50:0.50 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกันกับปริมาตรจำเพาะ

Table 4 Specific volume and height of brownies.

Sample	Specific volume (ml/g)	Height (mm)
WF (Control 1)	1.65±0.04^{b}	35.50±0.74^{b}
RF (Control 2)	1.56±0.02^{d}	32.63±0.81^{d}
RF+XG:CMC (1:0)	1.69±0.04^{a}	37.48±0.86^{a}
RF+XG:CMC (0:1)	1.60±0.03^{c}	34.43±0.72^{c}
RF+XG:CMC (0.75:0.25)	1.68±0.05^{ab}	36.04±0.65^{b}
RF+XG:CMC (0.50:0.50)	1.65±0.03^{b}	35.41±0.97^{b}
RF+XG:CMC (0.25:0.75)	1.60±0.04^{c}	34.52±0.88^{c}

Values with different superscripts within a column indicate significant differences ($p\leq0.05$).

WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

- ลักษณะปรากฏของบราวนี่

บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีการขึ้นฟูที่สูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) โดยบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติมจะมีการขึ้นฟูต่ำและมีลักษณะเนื้อแห้งไม่เกาะตัวกัน สำหรับบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง จะขึ้นฟูมากที่สุด (ค่าความสูงมากที่สุด) แต่มีลักษณะของเนื้อที่ไม่สม่ำเสมอ พบเซลล์ขนาดใหญ่ (รูพรุน) เป็นจำนวนมาก และมีลักษณะเนื้อที่นิ่มและฉ่ำ (ปริมาณความชื้นสูง) สำหรับบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะมีลักษณะของเนื้อที่สม่ำเสมอ เซลล์ขนาดเล็ก (รูพรุน) จำนวนมากและมีลักษณะเนื้อที่เกาะตัวกัน โดยบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะแสดงลักษณะเนื้อคล้ายกับบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) แต่จะขึ้นฟูที่ต่ำกว่า บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.75:0.25, 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) แสดงลักษณะของเนื้อที่มีเซลล์สม่ำเสมอ และมีการขึ้นฟูที่ดีขึ้น (Figure 1)

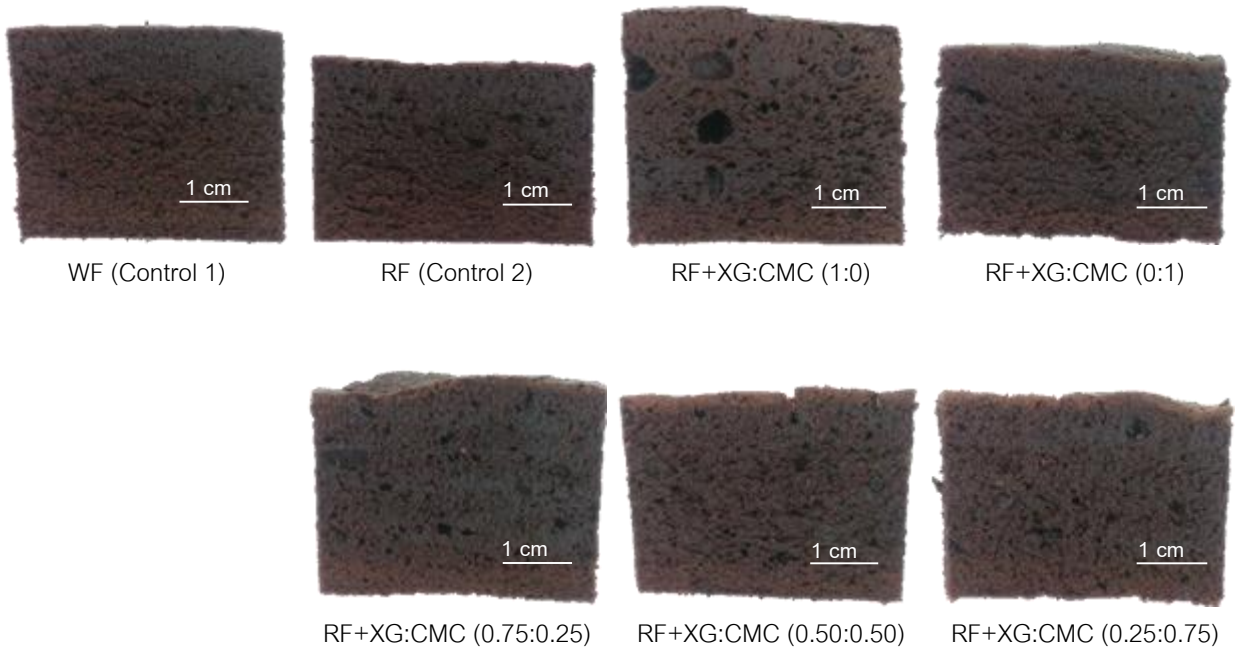

Figure 1 Cross section views of wheat brownie (Control 1), gluten-free brownie without XG and CMC (Control 2) and gluten-free brownies with different ratios of XG and CMC addition.
WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

- ค่าสีของส่วนเปลือก และส่วนเนื้อบราวนี่

จาก Table 5 และ 6 พบว่า ค่าสี L^* ของส่วนเปลือกและส่วนเนื้อบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 37.15-41.16 และ 30.17-32.41 ตามลำดับ โดยบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง จะมีค่าสี L^* ของส่วนเปลือกสูงที่สุด (41.16) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่าสี a^* และ b^* ไม่พบความแตกต่าง ($p > 0.05$) ทั้งส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ ส่วนค่า ΔE^* ของส่วนเปลือกและส่วนเนื้อ พบว่าทั้งบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าไม่เกิน 3 ยกเว้น ส่วนเปลือกของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีค่ามากกว่า 3

Table 5 Crust colour of brownies.

Sample	*L**	*a**	*b**	*ΔE**
WF (Control 1)	38.52±1.72^{c}	7.42±0.13^{a}	2.22±0.23^{a}	-
RF (Control 2)	37.61±1.04^{c}	7.53±0.30^{a}	2.34±0.53^{a}	0.42
RF+XG:CMC (1:0)	41.16±1.58^{a}	7.54±0.46^{a}	2.28±0.43^{a}	3.50
RF+XG:CMC (0:1)	37.32±0.90^{c}	7.52±0.54^{a}	2.24±0.12^{a}	0.72
RF+XG:CMC (0.75:0.25)	39.82±0.09^{b}	7.56±0.39^{a}	2.25±0.41^{a}	0.86
RF+XG:CMC (0.50:0.50)	37.20±2.36^{c}	7.50±0.30^{a}	2.21±0.41^{a}	0.88
RF+XG:CMC (0.25:0.75)	37.15±1.91^{c}	7.52±0.46^{a}	2.24±0.17^{a}	0.94

Values with different superscripts within a column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

Table 6 Crumb colour of brownies.

Sample	*L**	*a**	*b**	*ΔE**
WF (Control 1)	31.23±1.71^{ab}	6.34±0.41^{a}	0.85±0.31^{a}	-
RF (Control 2)	30.17±1.36^{b}	6.16±0.29^{a}	0.84±0.21^{a}	0.57
RF+XG:CMC (1:0)	32.41±1.77^{a}	6.22±0.36^{a}	0.83±0.10^{a}	0.70
RF+XG:CMC (0:1)	30.47±1.48^{b}	6.37±0.40^{a}	0.81±0.20^{a}	0.29
RF+XG:CMC (0.75:0.25)	31.59±1.48^{ab}	6.24±0.29^{a}	0.84±0.27^{a}	0.07
RF+XG:CMC (0.50:0.50)	32.33±2.22^{a}	6.34±0.24^{a}	0.82±0.21^{a}	0.60
RF+XG:CMC (0.25:0.75)	31.33±1.71^{ab}	6.10±0.34^{a}	0.85±0.20^{a}	0.03

Values with different superscripts within a column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

- ค่าเนื้อสัมผัสของบราวนี่

จาก Table 7 พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.50: 0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) มีค่าเท่ากับ 2,432.13 และ 2,537.88 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับค่าความแน่นเนื้อของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1 เท่ากับ 2,386.17 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าความยืดหยุ่นของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยบราวนี่แป้งสาลีจะให้ค่า

ความยืดหยุ่นสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 0.66 ส่วนค่าความสามารถเกาะรวมตัวกันของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.25-0.28 โดยบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) มีค่าความสามารถเกาะรวมตัวกันสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 0.37 ส่วนค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาว และความทนต่อการเคี้ยวของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) มีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 874.18 และ 572.96 กรัม ตามลำดับ และการเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ จะทำให้ค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาว และความทนต่อการเคี้ยวมีแนวโน้มสูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่ได้เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม 2)

Table 7 Texture parameters of brownies.

Sample	Firmness (g)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
WF (Control 1)	2,386.17±173.18^{b}	0.66±0.02^{a}	0.37±0.02^{a}	874.18±78.67^{a}	572.96±49.76^{a}
RF (Control 2)	2,167.17±201.07^{c}	0.34±0.03^{c}	0.25±0.02^{b}	543.30±83.01^{d}	184.21±27.81^{d}
RF+XG:CMC (1:0)	2,118.42±206.34^{c}	0.41±0.05^{b}	0.26±0.02^{b}	558.30±49.87^{cd}	227.69±35.28^{cd}
RF+XG:CMC (0:1)	2,669.53±180.47^{a}	0.40±0.05^{b}	0.27±0.04^{b}	713.73±105.18^{b}	285.85±49.63^{b}
RF+XG:CMC (0.75:0.25)	2,177.55±151.45^{c}	0.41±0.08^{b}	0.28±0.04^{b}	602.70±63.35^{cd}	250.53±72.70^{bc}
RF+XG:CMC (0.50:0.50)	2,432.13±233.99^{b}	0.42±0.03^{b}	0.25±0.02^{b}	612.32±60.56^{cd}	258.74±37.48^{bc}
RF+XG:CMC (0.25:0.75)	2,537.88±201.92^{ab}	0.43±0.08^{b}	0.25±0.04^{b}	628.29±76.93^{c}	260.36±62.94^{bc}

Values with different superscripts within a column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

WF, wheat flour; RF, rice flour; XG, xanthan gum and CMC, carboxymethyl cellulose.

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติของแบทเทอร์บราวนี่

ค่าความหนืดของแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าความหนืดสูงกว่าแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) โดยแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง จะมีค่าความหนืดสูงสุด การเติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสช่วยเพิ่มความหนืดให้กับแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตน ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะของโพลิเมอร์สายยาวและการเกิดปฏิกิริยากันระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์เมื่อมีการละลายหรือกระจายตัวในน้ำ (Salehi, 2019) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Poonnakasem *et al.* (2015) รายงานว่า การเติมไฮโดรคอลลอยด์ (ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส โซเดียมอัลจิเนต และแซนแทนกัม) ทำให้แบทเทอร์สปันจ์เค้กมีค่าความหนืดสูงกว่าที่ไม่ได้เติม โดยแบทเทอร์สปันจ์เค้กที่เติมแซนแทนกัมจะให้ค่าความหนืดที่สูงกว่าที่เติมโซเดียมอัลจิเนตและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

สำหรับค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yildiz & Dogan (2014) รายงานว่า การเติมแซนแทนกัมทำให้ค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์เค้กปลอดกลูเตนจากแป้งเกาลัดและแป้งมันฝรั่งต่ำกว่าที่ไม่ได้เติมแซนแทนกัม กล่าวได้ว่าค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์ที่ต่ำจะบ่งบอกถึงการมีก๊าซ (อากาศ) มากภายในแบทเทอร์ในระหว่างการตีผสม แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนืดของแบทเทอร์จะมีความสำคัญต่อปริมาตรหรือปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์ขนมอบมากกว่าค่าความหนาแน่นของแบทเทอร์ โดยหากแบทเทอร์ที่มีความหนืดสูงจะไปชะลออัตราการแพร่ออกของก๊าซได้ดีกว่าแบทเทอร์ที่มีความหนืดต่ำ และสามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ในระหว่างการอบ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีปริมาตรหรือปริมาตรจำเพาะสูง และทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทเค้กและขนมปังขึ้นฟู (Gómez *et al.*, 2007; Preichardt *et al.*, 2011)

2. คุณสมบัติของบราวนี่

ปริมาณความชื้นของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีปริมาณสูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) โดยบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้งจะมีปริมาณความชื้นสูงสุด ทั้งนี้เนื่องมาจากไฮโดรคอลลอยด์มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างจึงมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้ปริมาณความชื้นของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีปริมาณสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Poonnakasem *et al.* (2015) รายงานว่า สปันจ์เค้กที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส โซเดียมอัลจิเนต และแซนแทนกัม) มีปริมาณความชื้นสูงกว่าสปันจ์เค้กที่ไม่ได้เติม โดยสปันจ์เค้กที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง จะมีปริมาณความชื้นสูงสุด

แต่เมื่อวิเคราะห์ค่า a_w ของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0:1, 0.75:0.25, 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosell *et al.* (2001) รายงานว่า ค่า a_w ของขนมปังที่เติม

ไฮโดรคอลลอยด์ (โซเดียมอัลจิเนต แคปป้าคาราจีแนน แซนแทนกัม และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนมปังที่ไม่ได้เติม

น้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าต่ำว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) โดยน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมที่มีอัตราส่วนในการเติมที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้น้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของบราวนี่ปลอดกลูเตนยิ่งน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gómez *et al*. (2007) รายงานว่า น้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของเค้กที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (คาราจีแนน อัลจิเนต โลคัสบีนกัม เพกติน และแซนแทนกัม) มีค่าต่ำกว่าเค้กที่ไม่ได้เติม (ยกเว้น ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส) และ Shao *et al*. (2015) รายงานว่า เค้กไร้ไข่ (Eggless cake) ที่เติมแซนแทนกัมจะมีน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบต่ำกว่าที่ไม่ได้เติม ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างของไฮโดรคอลลอยด์มีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้ จึงทำให้น้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ ลดลง โดยความสามารถของไฮโดรคอลลอยด์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไปและส่วนผสมของอาหารนั้น ๆ (Gómez *et al*., 2007)

ค่าปริมาตรจำเพาะและความสูงของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) โดยบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง จะมีค่าความสูงมากสุดซึ่งสอดคล้องกับปริมาตรจำเพาะที่มีค่าสูงเช่นกัน ค่าปริมาตรจำเพาะที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากไฮโดรคอลลอยด์ไปเพิ่มความหนืดให้กับแบทเทอร์บราวนี่ปลอดกลูเตน โดยแบทเทอร์ที่มีความหนืดสูงจะไปชะลออัตราการแพร่ออกของก๊าซ (อากาศ) ได้ดีกว่าแบทเทอร์ที่มีความหนืดต่ำ และสามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ในระหว่างการอบ ส่งผลทำให้มีปริมาตรจำเพาะที่เพิ่มขึ้น (Gómez *et al*., 2007; Preichardt *et al*., 2011) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turabi *et al*. (2008) รายงานว่า เค้กปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าที่เติมแซนแทนกัมจะมีค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่าที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ๆ หรือไฮโดรคอลลอยด์แบบผสม (กัวกัม โลคัสบีนกัม แคปป้าคาราจีแนน แซนแทนกัม-กัวกัม แซนแทนกัม-คาราจีแนน และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส) และ Sciarini *et al*. (2010) รายงานว่า การเติมไฮโดรคอลลอยด์ (คาราจีแนน อัลจิเนต แซนแทนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และเจลาติน) ในขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า ข้าวโพดและถั่วเหลืองจะทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่าที่ไม่ได้เติม โดยขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า ข้าวโพดและถั่วเหลืองที่เติมแซนแทนกัมจะให้ค่าปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด

ค่าสี L^* ของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าเข้าใกล้ 0 (สีดำ) ซึ่งเป็นปกติของสีบราวนี่ที่มีความเข้มมาจากการใช้ผงโกโก้เป็นส่วนผสม โดยค่าสี L^* ของส่วนเปลือกและส่วนเนื้อบราวนี่ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีค่าที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohammadi *et al*. (2014) รายงานว่า ขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวโพดที่เติมไฮโดรคอลลอยด์จะมีค่าสี L^* ของส่วนเปลือกสูงกว่าที่ไม่ได้เติม โดยขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวโพดที่เติมแซนแทนกัมจะมีค่าสี L^* ของส่วนเปลือกสูงกว่าที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติม

ไฮโดรคอลลอยด์ทำให้น้ำกระจายตัวได้ดีขึ้นและช่วยกักเก็บน้ำ ทำให้มีปริมาณน้ำในสูตรมาก เกิดการเจือจางวัตถุดิบอื่น ๆ ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard browning reaction) และปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction) เป็นผลให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lazaridou *et al*. (2007) รายงานว่า ขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวโพดที่เติมแซนแทนกัม จะแสดงค่าสี L^* ของส่วนเนื้อเพิ่มสูงขึ้นกว่าขนมปังปลอดกลูเตนที่ไม่ได้เติมและเติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น (เพกติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เบต้า-กลูแคน และอะกาโรส) สำหรับค่าสี a^* และ b^* ไม่พบความแตกต่างของส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) บราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lazaridou *et al*. (2007) รายงานว่า ขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวโพดที่เติมเพกติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แซนแทนกัม และอะกาโรส ที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง แสดงค่าสี a^* ของส่วนเนื้อ และค่าสี b^* ของส่วนเปลือกไม่แตกต่างกับขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวโพดที่ไม่ได้เติม ส่วนค่า ΔE^* แสดงความแตกต่างของสีในส่วนเปลือกของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีค่ามากกว่า 3 แสดงว่าตามนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของสีออกจากส่วนเปลือกของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) ได้ และค่า ΔE^* ของส่วนเนื้อบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าตามนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีออกจากส่วนเนื้อของบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) ได้ (Rodriguez-Garcia *et al*., 2012)

ค่าเนื้อสัมผัสของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ตัวอย่างควบคุม 2) จะมีลักษณะเนื้อที่แห้งร่อนไม่เกาะตัวกันเนื่องจากในแป้งข้าวไม่มีโครงสร้างกลูเตนจึงส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อมีค่าต่ำกว่าบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง และที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) กล่าวได้ว่าการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะทำให้บราวนี่ปลอดกลูเตนมีการเกาะตัวกันมากขึ้น ส่วนการเติมแซนแทนกัมที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง (ปริมาณความชื้นสูง) ส่งผลให้ลักษณะของเนื้อฟู นิ่มและฉ่ำ จึงทำให้ค่าความแน่นเนื้อต่ำ การเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) มีค่าความแน่นเนื้อไม่ต่างจากบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) จึงกล่าวได้ว่าไฮโดรคอลลอยด์จัดเป็นสารทดแทนกลูเตนได้ (Gluten substitutes) และความสามารถของไฮโดรคอลลอยด์ขึ้นกับชนิด โครงสร้างและปริมาณที่ใช้รวมถึงการเข้าทำปฏิกิริยาในอาหารแต่ละชนิด (Gómez *et al*., 2007) การเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ ส่งผลให้บราวนี่ปลอดกลูเตนมีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่าที่ไม่ได้เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Demirkesen *et al*. (2014) รายงานว่า การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดแซนแทนกัม อะการ์ กัวกัม โลคัสบีนกัม เมทิลเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ในขนมปังปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องจะช่วยเพิ่มค่าความยืดหยุ่นได้ ส่วนค่าความสามารถเกาะรวมตัวกันของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม (ตัวอย่างควบคุม 2) และเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วนต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าต่ำกว่าบราวนี่แป้งสาลี (ตัวอย่างควบคุม 1) กล่าวได้ว่า การเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไม่สามารถเพิ่มค่า

ความสามารถเกาะรวมตัวกันของบราวนี่ปลอดกลูเตนได้ นอกจากนี้การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีแนวโน้มในการเพิ่มค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาว และความทนต่อการเคี้ยวของบราวนี่ปลอดกลูเตนได้ดีกว่าที่เติมแซนแทนกัม โดยบราวนี่ปลอดกลูเตนที่มีการเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะช่วยเพิ่มค่าดังกล่าวให้มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ความสามารถของไฮโดรคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับชนิด โครงสร้างและปริมาณที่เติมในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ (Gómez *et al*., 2007)

สรุปผลการวิจัย

การเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทำให้แบทเทอร์ของบราวนี่ปลอดกลูเตนมีค่าความหนืดสูงขึ้น แต่จะทำให้มีค่าความหนาแน่นลดลงกว่าแบทเทอร์ปลอดกลูเตนที่ไม่เติม การเติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะ ความสูง และปริมาณความชื้นของบราวนี่ปลอดกลูเตนสูงขึ้น ส่วนน้ำหนักที่สูญเสียหลังการอบจะลดลง ค่าสี L^* ของส่วนเปลือกบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีค่าสูงที่สุด ค่าความแน่นเนื้อของบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) จะมีค่าไม่แตกต่างกับบราวนี่แป้งสาลี ดังนั้นบราวนี่ปลอดกลูเตนที่เติมแซนแทนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทดแทนบราวนี่จากแป้งสาลี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

American Association of Cereal Chemist (AACC). (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*, 10th ed. St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemist.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2002). *Official methods of analysis*. 17th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Demirkesen, I., Kelkar, S., Campanella, O.H., Sumnu, G., Sahin, S., & Okos, M. (2014). Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography. *Food Hydrocolloids, 36,* 37-44.

Dias, R., Pereira, C.B., Pérez -Gregorio, R., Mateus, N., & Freitas, V. (2021). Recent advances on dietary polyphenol's potential roles in Celiac Disease. *Trends in Food Science & Technology*, *107,* 213-225.

Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P.A., Blanco, C.A., & Rosell, C.M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, *21*, 167-173.

Kohajdová, Z., & Karovičová, J. (2009). Application of hydrocolloids as baking improvers: review. *Chemical Papers*, *63*(1), 26-38.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, G.C. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, *79*, 1033-1047.

Lu, T.M., Lee, C.C., Maud, J.L., & Lin, S.D. (2010). Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food Chemistry*, *119,* 1090-1095.

Marco, C., & Rosell, C.M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, *227*, 1205-1213.

Mohammadi, M., Sadeghnia, N., Azizi, M.H., Neyestani, T.R., & Mortazavian, A.M. (2014). Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *20*, 1812-1818.

Poonnakasem, N., Laohasongkram, K., & Chaiwanichs, S. (2015). Influence of hydrocolloids on batter properties and textural kinetics of sponge cake during storage. *Journal of Food Quality*, *38*(6), 441-449.

Preichardt, L.D., Vendruscolo, C.T., Gularte, M.A., & Moreira, A.D.S. (2011). The role of xanthan gum in the quality of gluten free cakes: improved bakery products for coeliac patients. *International Journal of Food Science and Technology, 46*(12), 2591-2597.

Rodriguez-Garcia, J., Puig, A., Salvador, A., & Hernando, I. (2012). Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties. *Journal of Food Science*, *77*, 189-197.

Rosell, C.M., Rojas, J.A., & De Barber, C.B. (2001). Infuence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, *15,* 75-81.

Salehi, F. (2019). Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. *Food Science & Nutrition*, *7*, 3391-3402.

Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., León, A.E., & Pérez, G.T. (2010). Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, *45*, 2306-2312.

Shao, Y.Y., Lin, K.H., & Chen, Y.H. (2015). Batter and product quality of eggless cakes made of different types of flours and gums. *Journal of Food Processing and Preservation, 39*, 2959-2968.

Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, *22*, 305-312.

Yildiz, Ö., & Dogan, I.S. (2014). Optimization of gluten-free cake prepared from chestnut flour and transglutaminase: response surface methodology approach. *International Journal of Food Engineering*, *10*(4), 737-746.