ผลของปริมาณพิวเร่มะม่วงต่อสมบัติรีโอโลจีของแบทเทอร์และคุณภาพของวาฟเฟิลอบกรอบ

EFFECT OF MANGO PUREE ON THE RHEOLOGY OF BATTER AND QUALITIES OF CRISPY WAFFLE

*ปรัสรา กนกบดีวณิช ปิติพร ฤทธิเรืองเดช**

***Prassara Kanokbodeevanit**, Pitiporn Ritthiruangdej**

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University.

**Corresponding author, e-mail: pitiporn@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณพิวเร่มะม่วงต่อสมบัติรีโอโลจีของแบทเทอร์และสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของวาฟเฟิลอบกรอบ ในงานวิจัยนี้ใช้พิวเร่มะม่วงทางการค้าที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงร้อยละ 11.7 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 25.3 ปริมาณความชื้นร้อยละ 69.8 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 40 องศาบริกซ์ ทำการเติมพิวเร่มะม่วงที่ปริมาณแตกต่างกัน 3 ระดับ (30, 40 และ 50 กรัม) ลงในแบทเทอร์ 100 กรัม ผลการทดสอบพบว่าสมการ Power law สามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของแบทเทอร์ได้เป็นอย่างดี (R^2>0.99) โดยค่าดัชนีการไหลของแบทเทอร์ (n) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.42-0.48 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (n<1) และการเพิ่มปริมาณพิวเร่มะม่วงมีผลทำให้ค่าดัชนีความข้นเหลวของแบทเทอร์ (K) ลดลง จึงส่งผลต่อคุณภาพของวาฟเฟิลอบกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยอัตราการแผ่ตัว ค่าสี L* a* b* ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อใส่พิวเร่มะม่วงในปริมาณที่มากขึ้น ในขณะที่ค่าความหนา ค่าความแข็ง และปริมาณไขมันลดลง จากการพิจารณาคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (nine-point hedonic sensory score) พบว่าการใส่พิวเร่มะม่วง 40 กรัมต่อแบทเทอร์ 100 กรัม ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงปานกลาง (7)

คำสำคัญ: พิวเร่มะม่วง วาฟเฟิลอบกรอบ แบทเทอร์

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of quantity of mango puree on the rheology of batter and physical, chemical and sensory properties of crispy waffle. In this study, commercial mango puree was used for the experiments. It contained 11.7% of reducing sugar, 25.3% of total sugar, 69.8% of moisture, and 40 $^{\circ}$Brix of total soluble solids. Three different levels of commercial mango puree (30g, 40g

and 50g) were added in 100 g of waffle batter. Based on the flow behavior test results, the data provided a good fit (R^2>0.99) for the power law model. The flow behavior index (*n*) ranged from 0.42 to 0.48, which showed a shear thinning behavior (*n*<1). The consistency index (*K*) of batters decreased with increasing mango puree which affected to the qualities of crispy waffles. The values of diameter, spread ratio, L*, a*, and b*, and the contents of moisture, ash, reducing and total sugar of crispy waffles increased with increasing mango puree content whereas the thickness, hardness and fat content of the sample showed a reverse trend. Considering the nine-point hedonic sensory scores, the results suggested that 40g of mango puree added to 100g of batter could be used to prepare crispy waffle with an overall liking score of about 7.

Keywords: Mango puree, Crispy waffles, Batter

บทนำ

มะม่วง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Mangifera indica* L. เป็นผลไม้เมืองร้อนที่นิยมบริโภคมากที่สุดในโลก โดยพบว่าในประเทศอินเดียมีสัดส่วนการปลูกมะม่วงมากที่สุด รองลงมาคือ ประเทศจีน ปากีสถาน เม็กซิโก และไทย [1] มะม่วงเป็นผลไม้ที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากสามารถบริโภคได้ทั้งผลดิบและผลสุก รสชาติอร่อย มีกลิ่นหอม สามารถแปรรูปเก็บไว้สำหรับจำหน่ายหรือรับประทานนอกฤดูกาลได้ เช่น น้ำผลไม้ พิวเร่ และเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ เป็นต้น [2-3]

พิวเร่ (puree) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำได้จากผลไม้หลากหลายชนิด เช่น พีช แอปเปิ้ล แพร์ กล้วย ส้ม สับปะรด มะม่วง และฝรั่ง เป็นต้น [4] ขั้นตอนการเตรียมผลไม้พิวเร่ เริ่มจากการปอกเปลือกผลไม้ การลดขนาด การให้ความร้อนเพื่อทำให้ผลไม้มีความนุ่มขึ้นและยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase) จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ [5] มีการปรับกรดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อนนำพิวเร่ไปลดอุณหภูมิลงและปิดผนึกเพื่อป้องกันออกซิเจน [6] ในการผลิตพิวเร่มักมีการเติมวัตถุเจือปนในอาหารเพื่อช่วยในการปรับแต่งกลิ่น รส และเนื้อสัมผัส เช่น น้ำตาล กรด แป้ง เพคติน น้ำ และอื่น ๆ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของพิวเร่ เช่น เนื้อสัมผัส pH Water activity ค่าสี รวมถึงคุณสมบัติด้านการไหลของพิวเร่ โดยคุณภาพเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้สำหรับการออกแบบกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ [7-8] เนื่องจากคุณภาพดังกล่าวมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี และกิจกรรมทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ [9]

จากการรวบรวมงานวิจัย พบว่า มีการศึกษาผลของการใช้พิวเร่ผลไม้ต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์เบเกอรีหลายชนิด เช่น งานวิจัยของ Ramírez-Maganda และคณะ [10] ได้ศึกษาการนำพิวเร่มะม่วงมาใช้แทนที่แป้งสาลีและน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มัฟฟิน จำนวน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 50 และ 75 พบว่า การแทนที่พิวเร่มะม่วงในระดับที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ไขมันมีค่าลดลง เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนของเส้นใยมีการจับกับน้ำ จึงทำให้ความสามารถในการจับกับไขมันลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Asefa และคณะ [11] ที่ได้ศึกษาการนำพิวเร่มะม่วงมาแทนที่แป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ จำนวน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 50 พบว่า เมื่อใช้พิวเร่มะม่วงแทนที่แป้งสาลีมากขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index) และค่าความชื้นเพิ่มขึ้นตามลำดับ และในงานวิจัยของ Hussien [12] ได้ศึกษาการนำพิวเร่แคนตาลูปมาแทนที่ไขมันในผลิตภัณฑ์เค้ก จำนวน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 พบว่าการใช้พิวเร่แคนตาลูปในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของเค้กลดลง และเพิ่มความแน่นเนื้อมากขึ้น แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่นำพิวเร่มะม่วงมาใช้ในการทำวาฟเฟิลอบกรอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของปริมาณพิว

เร่มะม่วงต่อสมบัติด้านรีโอโลจีของแบทเทอร์และคุณภาพของวาฟเฟิลอบกรอบในด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์วาฟเฟิลอบกรอบรสมะม่วงให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของปริมาณพิวเร่มะม่วงต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลจีของแบทเทอร์และคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของวาฟเฟิลอบกรอบ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. มะม่วงพิวเร่

ในงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนพิวเร่มะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้นจาก บริษัท ฐิตินันท์ ฟู้ด จำกัด โดยเมื่อนำพิวเร่มะม่วงที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids) ด้วยเครื่อง Digital refractometer (MA781, Milwaukee Instrument, United states) ที่อุณหภูมิ 25 ± 1°C องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Lane and Eynon และปริมาณความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000) [13] และคุณภาพด้านสีด้วยระบบ CIE L*a*b* ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (CM-3500d, Konica Minolta Sensing Americas, USA) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมองในการวัด 10° ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพพิวเร่มะม่วงที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าคุณภาพ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$Brix)	40.03 ± 0.03
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (%)	11.65 ± 0.07
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%)	25.28 ± 0.14
ปริมาณความชื้น (%)	69.76 ± 0.09
ค่าสี L*	54.13 ± 0.03
ค่าสี a*	17.49 ± 0.03
ค่าสี b*	74.28 ± 0.10

2. การวางแผนการทดลอง

ทำการแปรผันปริมาณพิวเร่มะม่วงจำนวน 3 ระดับ คือ 30, 40 และ 50 กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมสูตรพื้นฐานทั้งหมด 100 กรัม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ได้สูตรของวาฟเฟิลอบกรอบทั้ง 3 สูตร แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรวาฟเฟิลอบกรอบ จำนวน 3 สูตร

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
พิวเร่มะม่วง (g)	30	40	50
แป้งสาลี (g)	33.40	33.40	33.40
ไข่ขาว (g)	25.97	25.97	25.97
น้ำตาลทราย (g)	18.55	18.55	18.55
เนยเค็ม (g)	16.70	16.70	16.70
ไข่แดง (g)	3.71	3.71	3.71
กลิ่นวานิลลา (g)	1.48	1.48	1.48
เกลือ (g)	0.19	0.19	0.19

วิธีการทำวาฟเฟิลอบกรอบจากพิวเร่มะม่วง ทำได้โดยเทไข่แดง ไข่ขาว และน้ำตาลทราย ลงในโถผสมของเครื่อง Kitchen aid (Kenwood, KMX51, Kenwood Limited, Havant, UK) ปั่นด้วยความเร็วปานกลาง (เบอร์ 3) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นใส่เกลือ กลิ่นวานิลลา และพิวเร่มะม่วงลงในโถผสม ปั่นด้วยความเร็วต่ำ (เบอร์ 2) เป็นเวลา 1 นาที ใส่แป้งสาลีลงไปปั่นต่อด้วยความเร็วต่ำ (เบอร์ 2) เป็นเวลา 1 นาที ใส่เนยเค็มละลายลงไปปั่นต่อด้วยความเร็วต่ำ (เบอร์ 2) เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเทส่วนผสมประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในเครื่องทำวาฟเฟิล (SEVERIN, SEV-2082, SEVERIN Elektrogeräte GmbH, Sundern, Germany) ใช้อุณหภูมิต่ำ (เบอร์ 1) อบวาฟเฟิลเป็นเวลาประมาณ 1 นาที จนวาฟเฟิลมีสีเหลืองอ่อน

3. การวิเคราะห์คุณภาพของแบทเทอร์และวาฟเฟิลอบกรอบ

3.1 การวิเคราะห์ความหนืดของแบทเทอร์

ทำการวัดค่าความหนืดของแป้งแบทเทอร์ โดยดัดแปลงวิธีการของ Gómez และคณะ [14] ใช้เครื่อง Brookfield (DV-III ULTRA PROGRAMMABLE RHEOMETER, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Stoughton, Massachusetts, USA) ใช้หัววัดเบอร์ 29 ความเร็วรอบในการหมุนอยู่ในช่วง 10-100 rpm ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างที่ 25 ± 1°C วัดค่า shear stress (τ) และ shear rate ($\dot{\gamma}$) เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า τ และ $\dot{\gamma}$ และอธิบายด้วยสมการ Power law ($\tau = K\dot{\gamma}^n$) เพื่อหาค่าดัชนีความข้นเหลว (consistency index; K) และค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของแบทเทอร์

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพด้านความหนา และเส้นผ่านศูนย์กลางของวาฟเฟิลอบกรอบ

วิเคราะห์คุณภาพด้านความหนา (thickness) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ของตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบ โดยดัดแปลงวิธีการของ Kaur และคณะ [15] ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (series 530, Mitutoyo, Japan) วัดความหนา (cm) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm) ของตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบ นำมาคำนวณหาอัตราการแผ่ตัว (spread ratio) จากสูตร spread ratio = เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm) / ความหนา (cm)

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพด้านสีของวาฟเฟิลอบกรอบ

วิเคราะห์คุณภาพด้านสีของตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบ โดยดัดแปลงวิธีการของ Paciulli และคณะ [16] ทำการบดตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบแล้วบรรจุลงใน Petri dish (CM-A128, Konica Minolta Sensing Americas, United States) จนเต็ม จากนั้นเกลี่ยตัวอย่างให้เรียบ แล้ววัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (CM-3500d, Konica Minolta Sensing Americas, USA) ในระบบ CIE L*a*b* ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมองในการวัด 10°

ค่าสีที่วัด ได้แก่ L* (แสดงค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 0 (มืด) ถึง 100 (สว่าง)), a* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีแดง และเครื่องหมาย – หมายถึงสีเขียว) และ b* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีเหลือง และเครื่องหมาย – หมายถึงสีน้ำเงิน)

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของวาฟเฟิลอบกรอบ

วิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบ โดยดัดแปลงวิธีการของ Mudgil และคณะ [17] ใช้เครื่อง Texture analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., UK) วัดค่าความแข็ง (N) โดยใช้วิธีการทดสอบแรงดัดโค้งงอแบบ 3 จุด (3- Point Bending Test) ใช้หัววัดแบบ 3-point bending rig กำหนดสภาวะในการวัดดังนี้ trigger force 25 g, load cell 50 kg, pre-test speed 1.5 mm/s, test speed 2.0 mm/s, post-test speed 10 mm/s ระยะห่างระหว่างตัวค้ำด้านล่าง 2 จุด เท่ากับ 30 มิลลิเมตร และกดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 20 มิลลิเมตร

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของวาฟเฟิลอบกรอบ

ทำการบดตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบให้ละเอียด ก่อนนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) ตามวิธีการของ AOAC (2000) [13] ได้แก่ ความชื้น ไขมัน ใยอาหาร เถ้า และโปรตีน (6.25 x ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบ ตามวิธีการของ Lane and Eynon (AOAC, 2000) [13]

3.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของวาฟเฟิลอบกรอบ

ทำการประเมินความชอบตัวอย่างวาฟเฟิลอบกรอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scaling Test (คะแนนเท่ากับ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนนเท่ากับ 9 คือ ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะด้านสี รสหวาน กลิ่นรสมะม่วง ความกรอบ และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน เสิร์ฟตัวอย่างพร้อมกันโดยจัดลำดับการเสิร์ฟแบบสุ่ม วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) และกำหนดให้ผู้ชิมเป็นบล็อค (Block)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำค่าคุณภาพของวาฟเฟิลอบกรอบที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิจัย

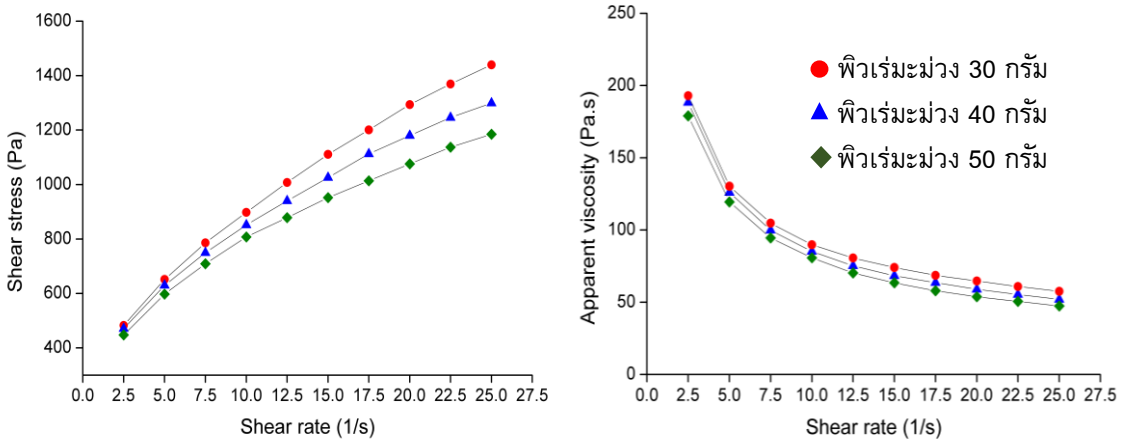
1. ผลการวิเคราะห์ความหนืดของแบทเทอร์

ภาพที่ 1(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของแบทเทอร์ เมื่ออธิบายรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยสมการ Power law ได้ค่าดัชนีความข้นเหลว (consistency index; *K*) และค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; *n*) ของแบทเทอร์แสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่า ค่าดัชนีการไหลของแบทเทอร์ (*n*) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.42-0.48 แสดงให้เห็นว่า แบทเทอร์ทุกสิ่งทดลองมีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (shear thinning) เนื่องจากมีค่า $n<1$ [18-19] นั่นคือพฤติกรรมความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) ของแบทเทอร์ลดลงเมื่ออัตราเฉือน (shear rate) เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1(ข) ซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีความข้นเหลว (*K*) ในตารางที่ 3 มีค่าลดลงเมื่อใส่พิวเร่มะม่วงในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้อธิบายได้จากการเพิ่มปริมาณพิวเร่มะม่วงเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปในส่วนผสมจึงส่งผลให้แบทเทอร์มีความหนืดลดลง [20]

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณพิวเร่มะม่วงต่อดัชนีความข้นเหลว (consistency index; *K*) และดัชนีการไหล (flow behavior index; *n*) ของแบทเทอร์

ปริมาณพิวเร่มะม่วง (กรัม) ต่อแบทเทอร์ 100 กรัม	ดัชนีความข้นเหลว (*K*) (Pa s^n)	ดัชนีการไหล (*n*)	R^2
30	470.32 ± 4.05a	0.4811 ± 0.003a	0.9983
40	463.89 ± 3.79a	0.4457 ± 0.003b	0.9993
50	446.26 ± 2.56b	0.4231 ± 0.001c	0.9999

หมายเหตุ: $^{a-c}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



(ก) **(ข)**

ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate (ก) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง apparent viscosity และ shear rate (ข) ของแบทเทอร์ที่เติมพิวเร่มะม่วงในระดับแตกต่างกัน

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพของวาฟเฟิลอบกรอบ

ตารางที่ 4 แสดงผลของปริมาณพิวเร่มะม่วงที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของวาฟเฟิลอบกรอบ เมื่อพิจารณาค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) และอัตราการแผ่ตัว (spread ratio) ของวาฟเฟิลอบกรอบพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพิวเร่มะม่วงมากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของแบทเทอร์ที่ลดลงดังแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้เมื่อการแผ่ตัวของวาฟเฟิลมากขึ้นจึงส่งผลให้ค่าความหนาและค่าความแข็งของวาฟเฟิลอบกรอบลดลงตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gurung และคณะ [21] ที่ได้นำพิวเร่ฟักทองมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บิสกิตและพบว่า การใส่พิวเร่ฟักทองในปริมาณที่มากขึ้น มีแนวโน้มทำให้อัตราการแผ่ตัวของบิสกิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากพิวเร่ฟักทองที่นำมาใช้ทดแทนแป้งสาลีมีปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 92.1 ส่งผลให้ค่าความหนาของบิสกิตลดลง ทั้งนี้ในงานวิจัยของ Mohan และคณะ [22] ให้ผลการทดลองที่ขัดแย้งโดยเมื่อนำพิวเร่อะโวคาโดมาใช้แทนที่เนยในผลิตภัณฑ์คุกกี้ช็อกโกแลตพบว่า การใส่พิวเร่อะโวคาโดในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้อัตราการแผ่ตัวของโดลดลง เนื่องจากปริมาณอะโวคาโดที่มากขึ้นทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความหนาของคุกกี้เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าคุณสมบัติด้านสีจากตารางที่ 4 พบว่า การใส่พิวเร่มะม่วงในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น เนื่องจากพิวเร่มะม่วงที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นมะม่วงสุก ซึ่งมีรายงานพบว่าในมะม่วงสุกประกอบด้วยเบต้าแคโรทีนที่เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง โดยทั่วไปมีปริมาณ 1,768 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมของ

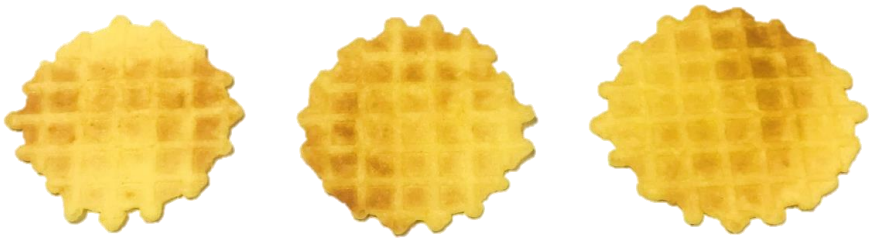
เนื้อมะม่วง [23] อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของ Selvakumaran และคณะ [24] ได้นำพิวเร่จากมันหวานสีส้มซึ่งมีแคโรทีนสูงมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บราวนี่และพบว่า การใส่พิวเร่จากมันหวานสีส้มในปริมาณที่มากขึ้นกลับส่งผลให้ค่า L*, a* และ b* ของบราวนี่ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่สูงในการอบทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนและเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้มากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4 ผลของการเติมพิวเร่มะม่วงที่ระดับแตกต่างกันในแบทเทอร์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวาฟเฟิลอบกรอบ

คุณสมบัติทางกายภาพ	ปริมาณพิวเร่มะม่วง (กรัม) ต่อแบทเทอร์ 100 กรัม		
	30	40	50
Diameter (cm)	5.70 ± 0.04^{c}	5.82 ± 0.03^{b}	6.06 ± 0.02^{a}
Thickness (cm)	0.19 ± 0.01^{a}	0.18 ± 0.00^{b}	0.15 ± 0.01^{c}
Spread ratio	29.35 ± 1.37^{c}	31.66 ± 0.68^{b}	39.28 ± 2.11^{a}
Hardness (N)	7.75 ± 0.41^{a}	6.84 ± 0.21^{b}	5.85 ± 0.15^{c}
L*	74.62 ± 0.20^{b}	74.76 ± 0.27^{b}	75.15 ± 0.23^{a}
a*^{ns}	7.38 ± 0.03	7.50 ± 0.19	7.52 ± 0.18
b*	40.13 ± 0.25^{c}	42.16 ± 0.57^{b}	43.96 ± 0.38^{a}

หมายเหตุ: $^{a-c}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} แสดงถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



พิวเร่มะม่วง 30 กรัม พิวเร่มะม่วง 40 กรัม พิวเร่มะม่วง 50 กรัม

ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของวาฟเฟิลอบกรอบที่เติมพิวเร่มะม่วงในระดับแตกต่างกันในแบทเทอร์

3. ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีของวาฟเฟิลอบกรอบ

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5 เมื่อเพิ่มปริมาณพิวเร่มะม่วงในวาฟเฟิลอบกรอบมากขึ้น พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากพิวเร่มะม่วงที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 69.76) และมีน้ำตาลรีดิวซิงและน้ำตาลทั้งหมดในปริมาณที่สูง (ร้อยละ 11.65 และ 25.28 ตามลำดับ) อีกทั้งยังมีรายงานพบว่าในมะม่วงสุกประกอบด้วยโพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และสังกะสี [25] จึงส่งผลให้มีปริมาณเถ้าในวาฟเฟิลอบกรอบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณเส้นใยหยาบในวาฟเฟิลอบกรอบพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพิวเร่มะม่วงมากขึ้น ทั้งนี้มีรายงานพบว่าในมะม่วงสุกประกอบด้วยใยอาหารปริมาณ 1.6 กรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อมะม่วง [23] ในขณะที่ปริมาณไขมันในวาฟเฟิลอบกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณพิวเร่มะม่วงมากขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณ

เส้นใยที่เพิ่มมากขึ้นสามารถอุ้มน้ำในรูพรุนของโครงสร้าง microstructure ได้เป็นอย่างดี จึงไปลดความสามารถในการจับกับน้ำมัน (oil-binding capacity) ของส่วนผสม จึงส่งผลให้ปริมาณไขมันรวมของผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง [10, 26]

ตารางที่ 5 ผลของการเติมพิวเร่มะม่วงที่ระดับแตกต่างกันในแบทเทอร์ต่อคุณภาพทางเคมีของวาฟเฟิลอบกรอบ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณพิวเร่มะม่วง (กรัม) ต่อแบทเทอร์ 100 กรัม		
	30	40	50
ความชื้น (%)	2.97 ± 0.02^{c}	3.41 ± 0.02^{b}	4.69 ± 0.00^{a}
ไขมัน (%)	21.29 ± 1.03^{a}	18.75 ± 2.10^{ab}	16.45 ± 0.09^{b}
โปรตีน (%) ^{ns}	9.39 ± 0.40	9.22 ± 0.03	9.23 ± 0.08
เถ้า (%)	0.85 ± 0.02^{b}	0.84 ± 0.05^{b}	1.36 ± 0.01^{a}
เส้นใยหยาบ (%) ^{ns}	1.47 ± 0.19	1.50 ± 0.08	1.58 ± 0.08
น้ำตาลน้ำตาลรีดิวซิง (%)	5.32 ± 0.03^{c}	6.85 ± 0.02^{b}	8.45 ± 0.11^{a}
น้ำตาลทั้งหมด (%)	37.15 ± 0.29^{c}	38.72 ± 0.57^{b}	42.44 ± 0.56^{a}

หมายเหตุ: $^{a-c}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} แสดงถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

4. ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของวาฟเฟิลอบกรอบ

จากตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบความชอบของวาฟเฟิลอบกรอบ ประเมินโดยผู้ทดสอบ 30 คน พบว่าวาฟเฟิลอบกรอบทั้ง 3 สูตร มีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านสี รสหวาน กลิ่นรสมะม่วง และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบส่วนใหญ่อยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก ส่วนคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านความกรอบของวาฟเฟิลอบกรอบทั้ง 3 สูตรแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าวาฟเฟิลอบกรอบสูตรที่ใส่พิวเร่มะม่วง 30 และ 40 กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด 100 กรัม เป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมากที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 6 ผลค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่าง ๆ ของวาฟเฟิลอบกรอบจากการเติมพิวเร่มะม่วงที่ระดับแตกต่างกันในแบทเทอร์ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale tests

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณพิวเร่มะม่วง (กรัม) ต่อแบทเทอร์ 100 กรัม		
	30	40	50
สี ^{ns}	6.9 ± 1.2	6.9 ± 1.0	7.0 ± 1.4
รสหวาน^{ns}	7.3 ± 1.0	7.0 ± 0.9	7.0 ± 1.2
กลิ่นรสมะม่วง^{ns}	6.4 ± 1.3	6.6 ± 1.0	6.7 ± 1.3
ความกรอบ	7.6 ± 0.9^{a}	7.1 ± 1.0^{ab}	6.8 ± 1.3^{b}
ความชอบโดยรวม^{ns}	7.2 ± 0.9	7.0 ± 0.9	6.9 ± 1.2

หมายเหตุ: $^{a-b}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} แสดงถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุปและอภิปรายผล

การใส่พิวเร่มะม่วงในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพของแบทเทอร์และวาฟเฟิลอบกรอบทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส เมื่อพิจารณาความหนืดของแบทเทอร์พบว่า แบทเทอร์ทุกสูตรมีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก การใส่พิวเร่มะม่วงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แบทเทอร์มีความหนืดลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากขึ้น เมื่อพิจารณาคุณภาพของวาฟเฟิลอบกรอบพบว่า การใส่พิวเร่มะม่วงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าความหนา ค่าความแข็ง และปริมาณไขมันลดลง ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลาง อัตราการแผ่ตัว (spread ratio) ค่าความเป็นสีเหลือง ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของวาฟเฟิลอบกรอบพบว่าวาฟเฟิลอบกรอบสูตรที่ใส่พิวเร่มะม่วง 30 และ 40 กรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด 100 กรัม เป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมากที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารอ้างอิง

[1] Gundurao, A.; Ramaswamy, H.S.; and Ahmed, J. (2011, August). Effect of soluble solids concentration and temperature on thermo-physical and rheological properties of mango puree. *International journal of food properties*. 14(5): 1018-1036.

[2] Montri Nantasit. (2013). *Mango Planting*. Bangkok: Kaset Siam.

[3] Singh, N.I.; and Eipeson, W.E. (2007, January). Rheological behaviour of clarified mango juice concentrates. *Journal of Texture Studies*. 31(3): 287-295.

[4] Alvarez, E.; Cancela, M.A.; Delgado-Bastidas, N.; and Maceiras, R. (2008, April). Rheological Characterization of Commercial Baby Fruit Purees. *International Journal of Food Properties*. 11(2): 321-329.

[5] Rao, M.A.; Cooley, H.J.; Nogueira, J.N.; and McLellan, M.R. (1986, January). Rheology of Apple Sauce: Effect of Apple Cultivar, Firmness, and Processing parameters. *Journal of Food Science*. 51(1): 176-179.

[6] Yap, M.; Fernando, W.M.; Brennan, C.S.; Jayasena, V.; and Coorey, R. (2017, July). The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. *LWT - Food Science and Technology*. 80: 10-18.

[7] Tansakul, A.; Kantrong, H.; Saengrayup, R.; and Sura, P. (2012, August). Thermophysical properties of papaya puree. *International Journal of Food Properties*. 15: 1086–1100.

[8] Tonon, R.V.; Alexandre, D.; Hubinger, M.D.; and Cunha, R.L. (2009, June). Steady and dynamic shear rheological properties of acai pulp (Euterpe oleraceae Mart.). *Journal of Food Engineering*. 92: 425-431.

[9] Tansakul, A.; Kantrong, H.; Saengrayup, R.; and Sura, P. (2012, August). Thermophysical properties of papaya puree. *International Journal of Food Properties*. 15: 1086–1100.

[10] Ramírez-Maganda, J.; Blancas-Benítez, F.J.; Zamora-Gasga, V.M.; García-Magaña, M.D.L.; Bello-Perez, L.A.; Tovar, J.; and Sáyago-Ayerdi, S.G. (2015, July). Nutritional properties and phenolic content of a bakery product substituted with a mango (Mangifera indica) 'Ataulfo'processing by-product. *Food Research International*. 73: 117-123.

[11] Asefa, B.; Assefa, H.; Girma, G.; Tsehanew, H.; and Shemsadin F. (2017). The Physicochemical and Sensory Characteristic of Cookies Baked from Wheat Flour and Mango Pulp. *Food Science and Quality Management*. 65: 16-21.

[12] Hussien, H.A. (2016, July). Using vegetable purée as a fat substitute in cakes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 5: 284-92.

[13] Association of Official Analytical Chemists. (2000). *Official Method of Analysis of AOAC International.* 17th ed. Gaithersburg: Maryland.

[14] Gómez, M.; Ruiz, E.; and Oliete, B. (2011, May). Effect of batter freezing conditions and resting time on cake quality. *LWT-Food Science and Technology*. 44(4): 911-916.

[15] Kaur, M.; Singh, V.; and Kaur, R. (2017, January). Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 9: 14-20.

[16] Paciulli, M.; Rinaldi, M.; Cavazza, A.; Ganino, T.; Rodolfi, M.; Chiancone, B.; and Chiavaro, E. (2018, December). 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.

[17] Mudgil, D.; Barak, S.; and Khatkar, B.S. (2017, March). Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT-Food Science and Technology*. 80: 537-542.

[18] Ronda, F.; Oliete, B.; Gómez, M.; Caballero, P.A.; and Pando, V. (2011, February). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*. 102(3): 272-277.

[19] Baixauli, R.; Sanz, T.; Salvador, A.; and Fiszman, S.M. (2003, August). Effect of the addition of dextrin or dried egg on the rheological and textural properties of batters for fried foods. *Food Hydrocolloids*. 17(3): 305-310.

[20] Ketan, M.R.; and Pagote, C.N. (2017, October). Effect of moisture level on the rheological properties of khoa jalebi batter and its modelling. *International Food Research Journal*. 24(5): 2064-2070.

[21] Gurung, B.; Ojha, P.; and Subba, D. (2016, October). Effect of mixing pumpkin puree with wheat flour on physical, nutritional and sensory characteristics of biscuit. *Journal of Food Science and Technology Nepal*. 9: 85-89.

[22] Mohan, P.; Mukherjee, I.; and Jain, S. (2018, January). Study on the physico-chemical and sensory characteristics of cookies made using avocado as a fat (Butter) substitute. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 3(1): 68-72.

[23] Department of Health. (2001). *Nutritive Values of Thai Foods*. Bangkok: The War Veterans Organization of Thailand under Royal Patronage of His Majesty the King.

[24] Selvakumaran, L.; Shukri, R.; Ramli, N.S.; Dek, M.S.P.; and Ibadullah, W.Z.W. (2019, July). Orange sweet potato (Ipomoea batatas) puree improved physicochemical properties and sensory acceptance of brownies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 18: 332-336.

[25] Meena, N.K.; and Asrey, R. (2018, March). Tree Age Affects Postharvest Attributes and Mineral Content in Amrapali Mango (Mangifera indica) Fruits. *Horticultural Plant Journal*. 4(2): 55-61.

[26] Jeddou, K.B.; Bouaziz, F.; Zouari-Ellouzi, S.; Chaari, F.; Ellouz-Chaabouni, S.; Ellouz-Ghorbel, R.; and Nouri-Ellouz, O. (2017, February). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food chemistry*. 217: 668-677.