

ผลของการแทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งต่อพฤติกรรมการเกิดเพสต์ สมบัติของ
ขนมปัง และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา
Effects of Substitution of Wheat Flour by Drought-Resistant Crop Flours on
Pasting Behavior, Property and Quality Changes of Bread During Storage

ธัญกร เกษมสุวรรณ¹ นาดชนก ปริมาพร¹ กิติพงษ์ อัศตรกุล¹ และ ธนจันทร์ มหาวนิช^{1,*}

Tanyakorn Kasemsuwan¹ Natchanok Paramaporn¹ Kitipong Assatarakul¹ and Thanachan Mahawanich^{1,*}

Received: October 28, 2021

Revised: January 3, 2022

Accepted: January 3, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวัวร์ผสมจากข้าวสาลีและพืชทนแล้ง ได้แก่ ลูกเดือย ข้าวฟ่างมิลเล็ท และถั่วลูกไก่ รวมถึงการพัฒนาขนมปังจากฟลาวัวร์ผสมดังกล่าว โดยแปรระดับการแทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้ง เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก สำหรับ พฤติกรรมการเกิดเพสต์ พบว่าตัวอย่างที่เติมฟลาวัวร์พืชทนแล้ง มี peak viscosity, trough viscosity และ breakdown viscosity ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (ฟลาวัวร์ข้าวสาลี) ($p \leq 0.05$) การเติม ฟลาวัวร์ลูกเดือยและฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่มีผลให้ pasting temperature, final viscosity และ setback viscosity ของฟลาวัวร์ผสมมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมฟลาวัวร์มิลเล็ทมีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม เมื่อนำฟลาวัวร์พืชทนแล้งมาใช้แทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีในสูตรขนมปัง พบว่าขนมปังที่เติมฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) การแทนที่ด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีผลต่อสีของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปัง สำหรับสมบัติด้านเนื้อสัมผัสพบว่า การเติมฟลาวัวร์พืชทนแล้งทำให้ขนมปังมีความแข็ง (hardness) และความเคี้ยวได้ (chewiness) สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งในตัวอย่างขนมปังที่เตรียมเสร็จใหม่ๆ (วันที่ 0) และตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน ในขณะที่การคืนรูป (springiness) และการเกาะติด (cohesiveness) ของขนมปังที่เติมฟลาวัวร์พืชทนแล้งที่เตรียมเสร็จใหม่ๆ มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามขนมปังที่เติมฟลาวัวร์พืชทนแล้งกลับมีค่าการคืนรูปและการเกาะติดใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา สำหรับการติดตามการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช พบว่าขนมปังที่เติม ฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม โดยปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้มีค่าลดลงเมื่อระดับการแทนที่ของฟลาวัวร์พืชทนแล้งเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: พืชทนแล้ง ลูกเดือย ข้าวฟ่าง ถั่วลูกไก่ การเกิดเพสต์ ขนมปัง

ABSTRACT

This study investigated pasting behavior of flour blends of wheat and drought-resistant crops (DRC), namely Job's tears, millet, and chickpea, as well as to develop a bread product from such flour blends. Wheat flour was substituted with DRC flours at 3 different levels (10, 20 and 30% by weight). Regarding pasting behavior, DRC flour-substituting samples demonstrated reduced peak, trough, and breakdown viscosities as compared to the all-wheat control ($p \leq 0.05$). Adding Job's tears or chickpea flour resulted in a decrease in pasting temperature as well as final and setback viscosities as compared to the control. Meanwhile, millet flour substitution did not affect such pasting properties. Upon substituting wheat flour in a bread recipe with DRC flour, the bread exhibited lower specific loaf volume than the control ($p \leq 0.05$). DRC flour substitution was shown to pose an effect on color of bread crust and crumb. Pertaining to textural properties, DRC flour addition caused an increase in hardness and chewiness of either freshly baked (Day 0) or stored bread samples. On the other hand, freshly baked DRC flour-containing breads exhibited lower springiness and cohesiveness than the control. However, upon storage, springiness and cohesiveness of the DRC flour-containing breads were similar to those of the control. Based on monitoring starch retrogradation, it was found that the breads with DRC flour had lower water-soluble starch content than the control for which the content became reducing with increasing substitution level.

Keywords: Drought-resistant crop, Job's tears, millet, chickpea, pasting, bread

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

บทนำ

ในอนาคตอันใกล้นี้ปัญหาภาวะโลกร้อนมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งมนุษย์ สัตว์ และพืช และจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างสำคัญต่อการผลิตอาหารอย่างไม่มีทางเลือกเลย ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในศตวรรษที่ 21 ได้ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้งในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก ได้แก่ แอฟริกา ยุโรปตอนใต้ ตะวันออกกลาง อเมริกา ออสเตรเลีย รวมถึงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนสหรัฐอเมริกาแม้ว่าจะยังไม่พบปัญหาภัยแล้งต่อเนื่อง (persistent drought) ในระยะ 50 ปีที่ผ่านมา แต่มีความเป็นไปได้ว่าจะพบปัญหาดังกล่าวใน 20-50 ปีข้างหน้า [1]

คณะกรรมการความมั่นคงด้านอาหารโลกแห่งสหประชาชาติ (United Nations' Committee on World Food Security) ศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่อาจมีต่อพืชผลการเกษตรจำนวน 22 ชนิด และรายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศอาจส่งผลให้พืชผลการเกษตรมีปริมาณผลผลิตลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชอาหารหลักของมนุษย์ ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าว และข้าวโพด [2] ผลผลิตอาหารที่ลดลงนี้จะสวนทางกับความต้องการอาหารของจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น โดยนักวิทยาศาสตร์ได้ประมาณการว่าโลกจำเป็นต้องเพิ่มผลผลิตอาหารให้ได้มากถึงร้อยละ 60-100 ของปัจจุบัน เพื่อรองรับกับความต้องการอาหารของประชากรโลกที่จะเพิ่มขึ้นเป็น 9-10 พันล้านคน ในปี ค.ศ. 2050 [3-5]

ข้าวสาลีเป็นเมล็ดธัญพืชที่ใช้บริโภคในวัฒนธรรมต่างๆ ทั่วโลกมาอย่างยาวนาน ในปีเพาะปลูก 2020/2021 ข้าวสาลีมีปริมาณการผลิตทั่วโลก 775.8 ล้านตัน นับเป็นเมล็ดธัญพืชที่มีปริมาณการผลิตสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากข้าวโพด (1,125 ล้านตัน) [6] ในการศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตข้าวสาลีของสหรัฐอเมริกา มีรายงานว่าข้าวสาลีสายพันธุ์ที่เพาะปลูกในปัจจุบันมีความเสี่ยงต่ออุณหภูมิที่สูง โดยอุณหภูมิที่สูงกว่า 34 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยเพียง 2 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลผลิตข้าวสาลีลดลงร้อยละ 15

และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ย 4 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลผลิตข้าวสาลีลดลงได้มากถึงร้อยละ 40 [7]

พืชที่มนุษย์ใช้เป็นพืชอาหารหลัก ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าว รวมทั้งข้าวโพดสายพันธุ์ที่บริโภคในปัจจุบันมีความต้องการน้ำในการเจริญเติบโตสูง จากภาวะคุกคามความมั่นคงด้านอาหารนี้ นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกจึงมีความพยายามในการลดความเสี่ยงต่อปัญหาการขาดแคลนอาหารในอนาคตโดยการพัฒนาพันธุ์พืชที่ทนร้อนทนแล้ง (drought-and-heat resistant crop) ทั้งการพัฒนาพันธุ์พืชอาหารหลักในปัจจุบันผ่านการปรับปรุงพันธุ์พืช (conventional plant breeding) ไปจนถึงการใช้เทคโนโลยีด้านอณูชีววิทยา (molecular biology) รวมถึงการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากพันธุ์พืชทนร้อนทนแล้งที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน ทั้งนี้มีรายงานว่าพืชทนร้อนทนแล้งที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นอาหารมนุษย์ ได้แก่ ข้าวฟ่างมิลเล็ทและข้าวฟ่างซอร์กัม ถั่ว รวมทั้งบาร์เลย์และข้าวโพดที่ปรับปรุงพันธุ์ให้ทนร้อนทนแล้ง [8] งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาพฤติกรรมและการเกิดเพสต์ของฟลาวร์พืชทนแล้ง ได้แก่ ลูกเดือย ข้าวฟ่างมิลเล็ท และถั่วลูกไก่ และพฤติกรรมและการเกิดเพสต์ของฟลาวร์ผสมจากข้าวสาลีและพืชทนแล้ง รวมทั้งการประยุกต์ฟลาวร์ผสมดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

ฟลาวร์ข้าวสาลี ตราหงส์ขาว (โปรตีนร้อยละ 14) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ยูไนเต็ท ฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน) (กรุงเทพมหานคร) ลูกเดือย ตราเทสโก้ เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ตะวันพืชผล จำกัด (สมุทรปราการ) ข้าวฟ่างมิลเล็ท ตราดีออกเตอร์กรีน เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ดาริชกรีน จำกัด (กรุงเทพมหานคร) และถั่วลูกไก่ ตราแม็กกาเรต เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท คอนติเนนตัลฟูด จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

2. การเตรียมฟลาวร์

ฟลาวร์ข้าวสาลีเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า ส่วนฟลาวร์ลูกเดือย (JT) ฟลาวร์มิลเล็ท (ML) และฟลาวร์ถั่ว

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

ลูกไก่ (CP) เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ สำหรับฟลาวาร์ ลูกเต๋อยและฟลาวาร์มิลเล็ท เตรียมโดยนำลูกเต๋อยและ มิลเล็ทดิบมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร (รุ่น HR2118, ฟิลิปส์, กรุงเทพมหานคร) แล้วร่อนผ่าน ตะแกรงขนาด 40 ยูเอสเมช (400 ไมโครเมตร) สำหรับ ฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ นำถั่วลูกไก่ดิบมาแช่น้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำถั่วที่แช่น้ำแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ผสมอาหาร (รุ่น HR2118, ฟิลิปส์, กรุงเทพมหานคร) แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน (รุ่น YH-003, เหยี่ยวเฮง, กรุงเทพมหานคร) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 ชั่วโมง นำฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ที่อบแล้วมาบดด้วยเครื่อง ปั่นผสมอาหารอีกครั้งเพื่อทำให้ส่วนที่จับตัวกันเป็นก้อน แยกออก แล้วจึงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 ยูเอสเมช (400 ไมโครเมตร) ฟลาวาร์ทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้มี ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 14 โดยน้ำหนักเปียก

สำหรับตัวอย่างฟลาวาร์ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้ ฟลาวาร์ลูกเต๋อย ฟลาวาร์มิลเล็ท และฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ แทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลี โดยแปรรูปการแทนที่เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งได้แก่ฟลาวาร์ข้าวสาลี

3. การวิเคราะห์พฤติกรรมกการเกิดเฟสของฟลาวาร์

ศึกษาพฤติกรรมกการเกิดเฟสของฟลาวาร์เดี่ยว และฟลาวาร์ผสมด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (rapid visco analyzer, RVA) (รุ่น RVA-4, Newport Scientific, Warriewood, NSW, Australia) โดยดัดแปลงจากวิธี ของ Bao [9]

การศึกษาทำโดยชั่งน้ำกลั่น 25 กรัม บรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง (RVA canister) จากนั้นชั่งตัวอย่าง ฟลาวาร์ปริมาณ 3 กรัม บรรจุลงในถ้วยตัวอย่าง ใช้ใบพัด ของเครื่อง RVA กวนด้วยมืออย่างแรงเพื่อให้ฟลาวาร์ไม่ จับตัวกันเป็นก้อน นำถ้วยตัวอย่างพร้อมใบพัดติดตั้งเข้ากับเครื่อง RVA ให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยฟลาวาร์ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้น เพิ่มอุณหภูมิจาก 50 ไปเป็น 95 องศาเซลเซียส ในเวลา 3.45 นาที คงอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.30 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส

ในเวลา 4.90 นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 1.24 นาที บันทึกพารามิเตอร์ที่ เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดจาก กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด ได้แก่ pasting temperature, peak viscosity, trough viscosity, breakdown viscosity (ผลต่างระหว่าง peak viscosity และ trough viscosity), final viscosity และ setback viscosity (ผลต่างระหว่าง final viscosity และ trough viscosity) โดยใช้โปรแกรม ThermoLine for Windows (Newport Scientific, Warriewood, NSW, Australia)

4. การศึกษาผลของการแทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลีด้วย ฟลาวาร์พืชทนแล้งต่อคุณภาพของขนมปังในระหว่าง การเก็บรักษา

สำหรับขนมปังสูตรควบคุมเตรียมตามวิธีของ Khunta [10] โดยโดขนมปังสูตรควบคุมประกอบด้วย ฟลาวาร์ข้าวสาลี 675.0 กรัม ยีสต์ 7.0 กรัม น้ำตาล 110.0 กรัม เกลือ 4.4 กรัม เนยขาว 125.0 กรัม และ น้ำอุ่น 500.0 กรัม โดยเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต 4.2 กรัม (หรือร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด) เพื่อป้องกันการ เจริญของรา ส่วนขนมปังที่เติมฟลาวาร์พืชทนแล้ง ใช้ฟลาวาร์ลูกเต๋อย ฟลาวาร์มิลเล็ท และฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ แทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลี โดยแปรรูปการแทนที่เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

ในการเตรียมโด เตรียมส่วนผสมเหลวโดยผสม น้ำอุ่น น้ำตาล และยีสต์เข้าด้วยกัน พักไว้ 10 นาที ระหว่างนั้นร่อนฟลาวาร์และเกลือเข้าด้วยกัน บรรจุลง อ่างของเครื่องผสมอาหาร (รุ่น K5SS, KitchenAid, St. Joseph, MI, USA) ใช้หัวผสมรูปทรงตะขอ เปิดเครื่อง ผสม เติมส่วนผสมเหลวอย่างช้าๆ ลงในฟลาวาร์จนของ ผสมที่ได้ไม่ติดข้างอ่างผสม หยุดเครื่อง เติมเนยขาวลง ไป แล้วผสมต่ออีกประมาณ 10 นาที จากนั้นนำโดที่ได้ ออกมาคลึงด้วยมือให้เป็นทรงกลม บรรจุลงในซามผสม อาหารสแตนเลสสตีล คลุมฟิล์มพลาสติกห่อหุ้มอาหาร แล้วบ่มไว้เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำโดออกมาคลึง เป็นแผ่น ม้วนแล้วบรรจุลงในพิมพ์ขนมปัง นำไปบ่มต่อ อีกเป็นเวลา 30 นาที นำโดที่ได้เข้าอบในเตาอบ (รุ่น

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

TFL-6, Teba, Kayseri, Turkey) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำขนมปังที่อบเสร็จแล้วออกจากพิมพ์ วางทิ้งไว้ให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง บรรจุในถุงพลาสติกชนิดไนลอน ปิดผนึก แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 9 วัน วิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

ปริมาณความชื้น วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC section 32.1.03 [11]

วอเตอร์แอกทิวิตี วัดด้วยเครื่อง Aqua Lab® water activity meter (รุ่น 3TE, Decagon Devices, Pullman, WA, USA) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

คุณภาพการอบ (baking quality) วัดความสูงของก้อนขนมปัง โดยวัดจากฐานถึงจุดที่สูงที่สุดของก้อนขนมปัง ชั่งน้ำหนักของก้อนขนมปัง และวัดปริมาตรของก้อนขนมปังโดยวิธีแทนที่ด้วยเรพซีด (rapeseed displacement method) [12] คำนวณปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังจากปริมาตรของก้อนขนมปังหารด้วยน้ำหนักของก้อนขนมปัง

สี วัดสีของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปังในระบบ CIELAB ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น CR400, Minolta, Tokyo, Japan) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 มุมมอง 10 องศา

ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ วิเคราะห์ตามวิธีของ Shaikh et al. [13] นำตัวอย่างขนมปังปริมาณ 200 มิลลิกรัม มาเติมด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร สกัดสตาร์ชจากตัวอย่างขนมปังโดยนำของผสมไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 20 นาที นำสเลอรีที่ได้ไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 5000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนใสซึ่งมีสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชโดยใช้ปฏิกิริยาการเกิดสีกับไอโอดีนเทียบกับการเทียบมาตรฐานที่เตรียมโดยใช้สารละลายสตาร์ชมาตรฐาน

เนื้อสัมผัส วิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) ของขนมปัง ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA.XT2i, Stable Micro System, Surrey, UK) โดยใช้หัววัด 100 mm-diameter aluminum compression platen (รุ่น P100, Stable Micro System,

Surrey, UK) กดด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตร/วินาที โดยให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างขนมปังเป็นระยะทางร้อยละ 30 ของความสูงของตัวอย่าง คำนวณค่าความแข็ง การคืนรูป การเกาะติด และความเคี้ยวได้ จากกราฟ TPA โดยใช้โปรแกรม Exponent Lite Express (Stable Micro System, Surrey, UK)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. พฤติกรรมการเกิดเพสต์ของฟลาวาร์

Table 1 แสดงสมบัติการเกิดเพสต์ของฟลาวาร์เดี่ยวและฟลาวาร์ผสมที่แทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวาร์ลูกเดือย ฟลาวาร์มิลเล็ท และฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ สมบัติการเกิดเพสต์เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ โดยปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความยาวของสายโซ่เอมิโลสรวมทั้งขนาดและโครงสร้างของโมเลกุลเอมิโลเพกทิน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติการไหลของเพสต์ฟลาวาร์ [14]

จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพสต์ (Table 1) พบว่าฟลาวาร์ข้าวสาลี (ตัวอย่างควบคุม) มี peak viscosity และ breakdown viscosity สูงกว่าฟลาวาร์ลูกเดือย ฟลาวาร์มิลเล็ท ฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ และฟลาวาร์ผสมที่แทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวาร์จากพืชทนแล้งทุกชนิด อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าเพสต์ฟลาวาร์ข้าวสาลีมีความหนืดขณะให้ความร้อนที่สูงกว่าฟลาวาร์ชนิดอื่น อย่างไรก็ตามพบว่าเพสต์ฟลาวาร์ข้าวสาลีไม่เสถียรต่อภาวะที่มีความร้อนและแรงเฉือน สำหรับ final viscosity, setback viscosity และ pasting temperature พบว่าฟลาวาร์ข้าวสาลีมีค่าสูงกว่าฟลาวาร์ผสมที่มีการแทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลีด้วย ฟลาวาร์ลูกเดือยหรือฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Gómez

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

et al. [15] ที่ศึกษาการแทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่ โดย final viscosity แสดงความหนืดสุดท้ายของเพสต์หลังจากการให้ความร้อนและการทำให้เย็น ส่วน setback viscosity เป็นดัชนีของการคืนตัวของเพสต์ฟลาวัวร์ โดยเพสต์ฟลาวัวร์ที่มี setback viscosity สูงมีแนวโน้มที่จะให้เจลที่แข็ง สำหรับตัวอย่างฟลาวัวร์ผสมที่แทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์

มิลเล็ตพบว่า final viscosity, setback viscosity และ pasting temperature ไม่ต่างจากฟลาวัวร์ข้าวสาลี สำหรับสมบัติการเกิดเพสต์ที่ต่างกันของฟลาวัวร์ผสมจากพืชต่างชนิดนี้เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะเฉพาะของฟลาวัวร์แต่ละชนิดที่ประกอบด้วยองค์ประกอบที่ต่างกัน อัตราส่วนของฟลาวัวร์แต่ละชนิด รวมถึงขนาดของสตาร์ชแกรนูลที่มีความแตกต่างเฉพาะตัว [16-17]

Table 1 Pasting properties of wheat flour (control), Job's tear flour (JT 100%), millet flour (ML 100%), chickpea flour (CP 100%), and flour blends substituting wheat flour with either Job's tear, millet, or chickpea flour at 10, 20, and 30% levels

Sample	Peak viscosity (cP)	Trough viscosity (cP)	Breakdown viscosity (cP)	Final viscosity (cP)	Setback viscosity (cP)	Pasting temperature (°C)
Control	1526.00 ^a ±28.28	855.00 ^b ±9.90	671.00 ^a ±18.38	1873.50 ^{ab} ±26.16	1018.50 ^{cd} ±16.26	85.63 ^{cd} ±0.04
JT 10%	1303.50 ^c ±45.96	772.00 ^{de} ±25.46	531.50 ^{bc} ±20.51	1755.50 ^c ±45.96	983.50 ^{de} ±20.51	84.95 ^d ±0.00
JT 20%	1296.50 ^c ±26.16	790.00 ^{cde} ±14.14	506.50 ^c ±12.02	1755.50 ^c ±21.92	965.50 ^e ±7.78	83.20 ^e ±0.07
JT 30%	1172.00 ^d ±8.49	738.50 ^{ef} ±12.02	433.50 ^{de} ±3.54	1721.00 ^{cd} ±16.97	982.50 ^{de} ±4.95	80.08 ^f ±0.04
JT 100%	1079.50 ^e ±23.33	1034.00 ^a ±25.46	45.50 ^s ±2.12	1395.00 ^f ±43.84	361.00 ⁱ ±18.38	77.95 ^s ±0.64
ML 10%	1375.50 ^b ±14.85	814.00 ^{bcd} ±14.14	561.50 ^b ±0.71	1836.50 ^b ±6.36	1022.50 ^c ±20.51	86.13 ^c ±0.53
ML 20%	1298.50 ^c ±9.19	839.00 ^{bc} ±32.53	459.50 ^d ±23.23	1912.50 ^a ±6.36	1073.50 ^b ±26.16	86.13 ^c ±0.60
ML 30%	1191.50 ^d ±33.23	778.50 ^{de} ±37.48	413.00 ^e ±4.24	1908.50 ^a ±64.35	1130.00 ^a ±26.87	85.33 ^{cd} ±0.60
ML 100%	822.00 ^f ±19.80	784.00 ^{de} ±28.28	36.50 ^s ±6.36	1750.00 ^c ±21.21	964.50 ^e ±4.95	87.40 ^b ±0.00
CP 10%	1308.50 ^c ±19.09	779.00 ^{de} ±14.14	529.50 ^{bc} ±33.23	1663.50 ^d ±49.5	884.50 ^f ±19.09	85.25 ^{cd} ±0.71
CP 20%	1165.50 ^d ±27.58	715.00 ^f ±21.21	450.50 ^d ±6.36	1480.00 ^e ±35.36	765.00 ^s ±14.14	83.70 ^e ±0.57
CP 30%	1069.50 ^e ±9.19	695.50 ^f ±19.09	374.00 ^f ±9.90	1385.00 ^f ±31.11	689.50 ^h ±12.02	83.23 ^e ±0.04
CP 100%	372.00 ^s ±5.66	354.00 ^s ±7.07	18.00 ^s ±1.41	509.50 ^s ±4.95	155.50 ^t ±2.12	91.85 ^a ±0.64

Mean±SD of three replicates

Means in the column with different superscript letters differ significantly at p=0.05.

2. ผลของการแทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งต่อคุณภาพของขนมปัง

ปริมาณความชื้น วอเตอร์แอกทิวิตี และคุณภาพการอบของตัวอย่างขนมปังแสดงดัง Table 2 ส่วน Figure 1 เปรียบเทียบลักษณะปรากฏของตัวอย่างขนมปัง สำหรับปริมาณความชื้น พบว่าขนมปังทุกตัวอย่างมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 37-40 ในด้านวอเตอร์แอกทิวิตีพบว่าขนมปังทุกตัวอย่างมีวอเตอร์แอกทิวิตีใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.93-0.95 เนื่องจากวอเตอร์แอกทิวิตีใช้เป็นดัชนีชี้ความ

เสถียรทั้งด้านเคมี ชีวเคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นการแทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีในขนมปังด้วยฟลาวัวร์ลูกเดือย ฟลาวัวร์มิลเล็ต หรือ ฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่ จึงไม่มีผลสำคัญต่อความเสถียรของขนมปัง

สำหรับคุณภาพการอบ พบว่าขนมปังสูตรควบคุมมีความสูง ปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังมากที่สุด ในขณะที่มีน้ำหนักของก้อนขนมปังต่ำที่สุด การเติมฟลาวัวร์จากพืชทนแล้งมีความสูง ปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังมีค่าลดลงตามปริมาณฟลาวัวร์ทดแทนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

เนื่องมาจากการแทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์พีชทนแล้งมีผลให้ปริมาณของกลูเตนในโดลดลง (gluten dilution effect) โดยกลูเตนเป็นโปรตีนในข้าวสาลีที่มีลักษณะหยุ่นหนืด (viscoelastic) ซึ่งช่วยในการกักเก็บแก๊สและให้โครงสร้างที่จำเป็นกับขนมปัง [18] อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าการเติมฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่ในปริมาณที่ต่างกัน (ร้อยละ 10-30) ไม่มีผลต่อความสูง ปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง ($p>0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากโปรตีนในถั่วลูกไก่สามารถให้ความเสถียรกับโดได้บ้าง โดยโมเลกุลโปรตีนสามารถเกิดพันธะ

และอันตรกิริยานีออน-ไอออนิกระหว่างกัน เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่โด แม้จะไม่ได้เท่ากลูเตนในข้าวสาลี โดยขนมปังที่เติมฟลาวัวร์ถั่วลูกไกร้อยละ 30 มีปริมาตรจำเพาะที่สูงกว่าขนมปังที่เติมฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่และขนมปังที่เติมฟลาวัวร์มิลเล็ตในปริมาณที่เท่ากัน ในปัจจุบันในบางท้องถิ่น เช่น แอลเบเนีย และตุรกี นิยมบริโภคขนมปังจากฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่ โดยอาจใช้ฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่ทั้งหมดของฟลาวัวร์ในสูตรก็ได้ ขนมปังจากฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่ที่เป็นที่นิยม ได้แก่ *Nohut ekmeği* [19]

Table 2 Moisture content, water activity (a_w), and baking quality of freshly-prepared (Day 0) bread made from wheat flour (control) and those made from flour blends substituting wheat flour with either Job's tear, millet, or chickpea flour at 10, 20, and 30% levels

Sample	Moisture content (% wet basis)	a_w	Baking quality			
			Loaf height (cm)	Loaf weight (g)	Loaf volume (cm ³)	Specific loaf volume (cm ³ /g)
Control	39.13 ^{ab} ±0.05	0.938 ^{abcd} ±0.011	8.60 ^a ±0.28	167.98 ^b ±3.36	652.50 ^a ±24.75	3.89 ^a ±0.23
JT 10%	36.77 ^e ±0.27	0.946 ^{ab} ±0.011	8.00 ^{abc} ±0.00	191.10 ^a ±3.04	552.50 ^{bc} ±45.96	2.89 ^{bc} ±0.29
JT 20%	38.37 ^{cd} ±0.32	0.950 ^a ±0.001	7.25 ^d ±0.35	194.34 ^a ±9.52	507.50 ^c ±10.61	2.62 ^c ±0.18
JT 30%	39.19 ^{ab} ±0.16	0.948 ^a ±0.004	6.35 ^e ±0.21	191.30 ^a ±2.44	405.00 ^d ±7.07	2.12 ^d ±0.01
ML 10%	38.34 ^{cd} ±0.21	0.950 ^a ±0.000	8.05 ^{ab} ±0.35	188.88 ^a ±3.20	595.00 ^{ab} ±42.43	3.15 ^b ±0.17
ML 20%	38.90 ^{abc} ±0.51	0.944 ^{abc} ±0.003	7.75 ^{bcd} ±0.35	186.13 ^a ±3.47	510.00 ^c ±35.36	2.74 ^c ±0.24
ML 30%	39.53 ^a ±0.35	0.949 ^a ±0.001	7.25 ^d ±0.35	187.95 ^a ±4.78	500.00 ^c ±28.28	2.66 ^c ±0.08
CP 10%	38.08 ^d ±0.22	0.934 ^{bcd} ±0.002	7.35 ^{cd} ±0.28	189.66 ^a ±2.30	487.50 ^c ±3.54	2.57 ^c ±0.01
CP 20%	38.84 ^{bc} ±0.29	0.933 ^{cd} ±0.004	7.53 ^{bcd} ±0.32	188.05 ^a ±2.41	535.00 ^{bc} ±14.14	2.85 ^{bc} ±0.11
CP 30%	38.24 ^{cd} ±0.08	0.927 ^d ±0.001	7.75 ^{bcd} ±0.00	190.46 ^a ±2.25	525.00 ^c ±21.21	2.76 ^{bc} ±0.08

Mean±SD of three replicates

Means in the column with different superscript letters differ significantly at $p=0.05$.

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

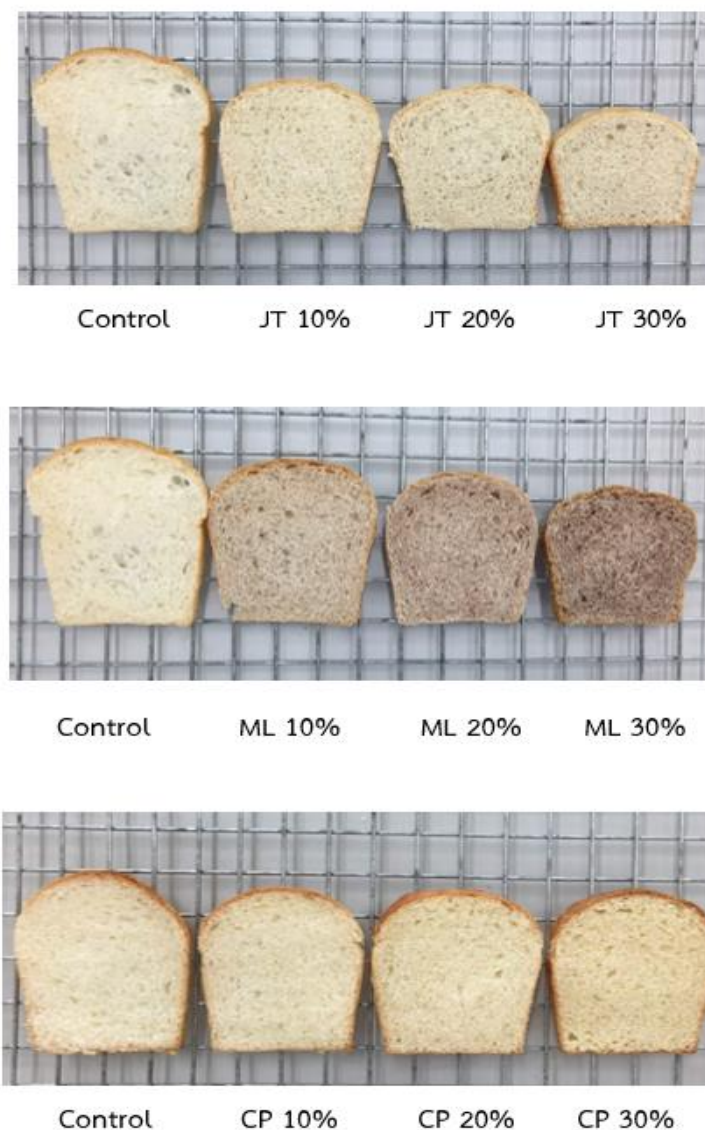


Figure 1 Appearance of freshly-prepared (Day 0) bread made from wheat flour (control) and those made from flour blends substituting wheat flour with either Job's tear, millet, or chickpea flour at 10, 20, and 30% levels

Table 3 แสดงพารามิเตอร์ด้านสีในระบบ CIELAB ของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมกับสูตรที่มีการเติมฟลาวร์พืชชนแล้ง โดยทั่วไปพบว่าการเติมฟลาวร์ลูกเดือยหรือฟลาวร์มิลเล็ตไม่มีผลต่อค่า L^* (ความสว่าง) และ $+a^*$ (สีแดง) ของเปลือกนอกของขนมปังมากนัก การเติมฟลาวร์มิลเล็ตที่ระดับสูง (ร้อยละ 20 และ 30) มีผลทำให้ $+b^*$ (สีเหลือง) มีค่าลดลง ในขณะที่การเติมฟลาวร์ถั่วลูกไก่ทำให้เปลือกนอกของขนมปังมีค่า L^*

และ $+b^*$ ลดลง แต่ $+a^*$ มีค่าเพิ่มขึ้น สีน้ำตาลของเปลือกนอกของขนมปังเกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลและปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลรีดิวซิงกับกรดอะมิโนอิสระหรือหมู่อะมิโนของโปรตีน [20] การที่การเติมฟลาวร์ถั่วลูกไก่ทำให้ L^* ของเปลือกนอกของขนมปังมีค่าลดลง ในขณะที่ $+a^*$ มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการที่ถั่วลูกไก่อมีปริมาณน้ำตาลสูง (ร้อยละ 10.85) เมื่อเทียบกับมิลเล็ตและลูกเดือย (ร้อยละ 1.66 และ 0.41 ตามลำดับ) ทั้งยังมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่า

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

(ร้อยละ 22.39) เมื่อเทียบกับมิลเล็ตและลูกเดือย (ร้อยละ 8.43 และ 10.75 ตามลำดับ) [21] จึงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากกว่า สำหรับสมบัติด้านสีเนื้อในของขนมปัง (Table 3) โดยทั่วไปพบว่า การเติมฟลาวาร์มิลเล็ตมีผลต่อสีเนื้อในของขนมปังมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า L^* และ $+a^*$ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่ขนมปังที่เติมฟลาวาร์มิลเล็ตมีสีน้ำตาลแดง (Figure 1) โดยการเติมฟลาวาร์มิลเล็ตทำให้เนื้อในของขนมปังมีค่า L^* ลดลง ในขณะที่ $+a^*$ และ $+b^*$ มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมฟลาวาร์ลูกเดือยทำให้เนื้อในของขนมปังมีค่า L^* ลดลงเล็กน้อย และ $+b^*$ มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วน $-a^*$ (สีเขียว) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนการเติมฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ไม่มีผลสำคัญต่อค่า L^* และ $-a^*$ แต่ทำให้ค่า $+b^*$ ของเนื้อในของขนมปังมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสีของเนื้อในของขนมปังได้รับอิทธิพลจากสีของวัตถุดิบเป็นหลัก

ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชในขนมปัง โดยเมื่อสตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชันจะเกิดอันตรกิริยาเพิ่มขึ้นระหว่างโมเลกุลสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจนที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซีของแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน เกิดการจับ

โมเลกุลน้ำ และเกิดโครงสร้างแบบผลึกของสตาร์ชที่มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบและละลายน้ำได้ลดลง Figure 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 9 วัน ณ วันที่ผลิตขนมปัง (วันที่ 0) พบว่าขนมปังสูตรควบคุมมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 0.145 ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างขนมปังที่ทดแทนฟลาวาร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวาร์พีชทนแล้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟลาวาร์ข้าวสาลีมีปริมาณสตาร์ช (ร้อยละ 75) สูงกว่าฟลาวาร์ลูกเดือย (ร้อยละ 57) ฟลาวาร์มิลเล็ต (ร้อยละ 70) และฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ (ร้อยละ 33-44) [22-24] ในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าขนมปังสูตรควบคุมมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรก ส่วนตัวอย่างที่ทดแทนฟลาวาร์ข้าวสาลีด้วย ฟลาวาร์พีชทนแล้ง มีการลดลงของปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชที่ต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากธรรมชาติที่ต่างกันของสตาร์ชแต่ละชนิด โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันได้แก่ โครงสร้างของโมเลกุลสตาร์ช และอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน

Table 3 Color of freshly-prepared (Day 0) bread made from wheat flour (control) and those made from flour blends substituting wheat flour with either Job's tear, millet, or chickpea flour at 10, 20, and 30% levels

Sample	Bread crust			Bread crumb		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
Control	57.90 ^{bc} ±1.82	12.98 ^b ±0.84	33.58 ^a ±0.11	78.51 ^a ±0.31	-0.80 ^d ±0.10	9.51 ^e ±0.18
JT 10%	64.74 ^a ±0.84	9.12 ^c ±0.28	31.11 ^b ±0.52	78.61 ^a ±0.73	-0.70 ^d ±0.02	10.09 ^{de} ±0.30
JT 20%	61.68 ^{ab} ±0.71	10.60 ^{bc} ±0.03	32.69 ^{ab} ±0.99	74.41 ^{bc} ±1.99	-0.53 ^d ±0.01	10.88 ^{cd} ±0.02
JT 30%	59.23 ^{bc} ±2.49	10.89 ^{bc} ±0.96	32.78 ^{ab} ±0.29	73.40 ^c ±0.94	-0.66 ^d ±0.06	11.33 ^c ±0.80
ML 10%	56.80 ^c ±1.43	12.80 ^b ±0.89	32.31 ^{ab} ±0.74	73.22 ^c ±1.39	1.79 ^c ±0.00	10.01 ^{de} ±0.02
ML 20%	55.48 ^c ±1.70	11.49 ^{bc} ±1.36	28.15 ^c ±1.03	63.46 ^d ±1.17	4.22 ^b ±0.78	11.17 ^c ±0.57
ML 30%	51.71 ^d ±2.70	12.47 ^b ±1.97	26.82 ^c ±1.51	60.62 ^e ±1.15	5.21 ^a ±0.25	11.33 ^c ±0.18
CP 10%	51.03 ^d ±1.00	16.79 ^a ±0.19	33.49 ^a ±1.32	77.72 ^a ±0.19	-0.57 ^d ±0.08	12.60 ^b ±0.60
CP 20%	49.49 ^{de} ±1.59	16.25 ^a ±1.36	30.78 ^b ±1.20	77.70 ^a ±1.16	-0.68 ^d ±0.04	13.20 ^b ±0.20
CP 30%	46.98 ^e ±0.47	16.54 ^a ±0.18	28.70 ^c ±0.49	76.80 ^{ab} ±1.53	-0.35 ^d ±0.13	15.62 ^a ±0.38

Mean±SD of three replicates

Means in the column with different superscript letters differ significantly at p=0.05.

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

สำหรับสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังแสดงดัง Figure 3 พบว่าขนมปังที่มีการทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีความแข็งแรงสูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมทั้งในตัวอย่างที่เตรียมเสร็จใหม่ๆ (วันที่ 0) และในระหว่างการเก็บรักษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 3 วันแรก ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามหลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างควบคุมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับตัวอย่างที่เติมฟลาวัวร์ลูกเดือยและฟลาวัวร์มิลเล็ท พบว่าความแข็งแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างที่แทนที่ด้วยฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่ในปริมาณต่างกันมีความ

แข็งแรงใกล้เคียงกัน การทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์จากพืชชนิดอื่นที่ไม่มีกลูเตนมีผลทำให้ปริมาณกลูเตนลดลง ส่งผลให้ขนมปังมีการขึ้นฟูน้อยลง ซึ่งเกิดจากความยืดหยุ่นของโดและความสามารถในการกักเก็บแก๊สที่ลดลง ขนมปังจึงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาเป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่าการเกิดความไม่สด (staling) ของขนมปัง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงหลายๆ ด้านร่วมกัน เช่น การเกิดริ้วรอยแตกของสตาร์ช และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน

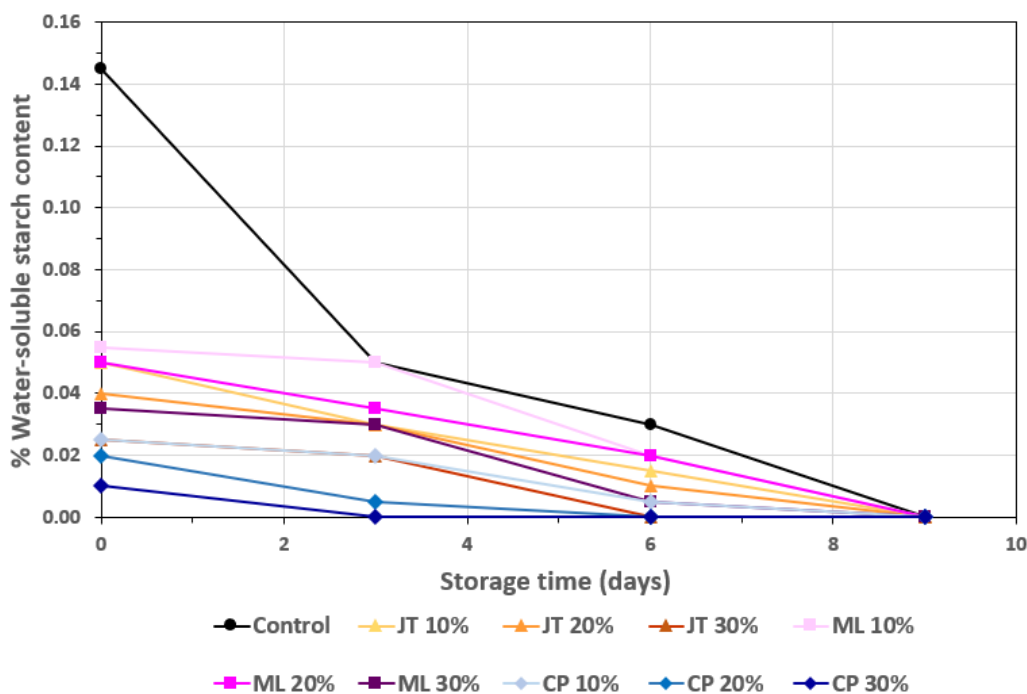


Figure 2 Water-soluble starch content of bread made from wheat flour (control) and those made from flour blends substituting wheat flour with either Job's tear, millet, or chickpea flour at 10, 20, and 30% levels during storage at room temperature for 9 days

ในทำนองเดียวกันผลของการลดลงของปริมาณกลูเตนอันเนื่องมาจากการทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งยังส่งผลให้การคืนรูปและการเกาะติดมีค่าลดลง (Figure 3) อย่างไรก็ตามพบว่าระดับการแทนที่ที่ไม่มีผลต่อการคืนรูปและการเกาะติดอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การคืนรูปและ

การเกาะติดมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับความเคี้ยวได้ซึ่งบ่งบอกถึงความต้านทานการเคี้ยว (Figure 3) พบว่าตัวอย่างที่มีการแทนที่ด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีความเคี้ยวได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมสำหรับตัวอย่างขนมปังที่เตรียม

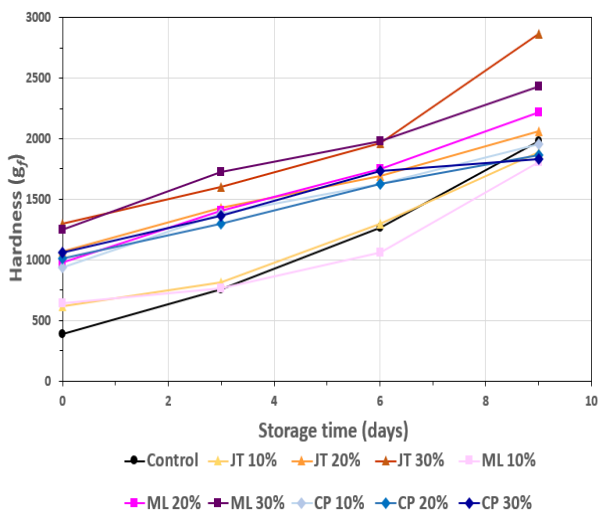
*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

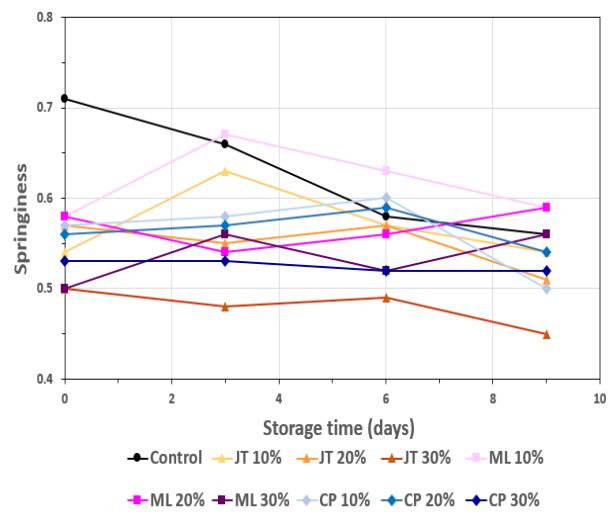
¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

เสร็จใหม่ๆ (วันที่ 0) ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 3 วัน ตัวอย่างควบคุมกลับมามีค่าความ

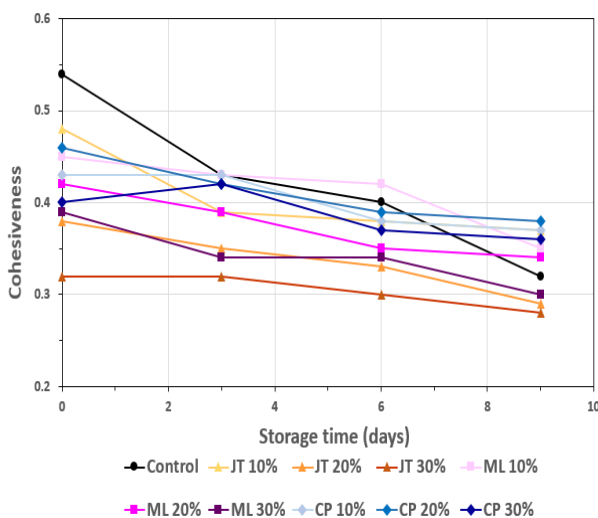
เคี้ยวได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยค่าความเคี้ยวได้ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



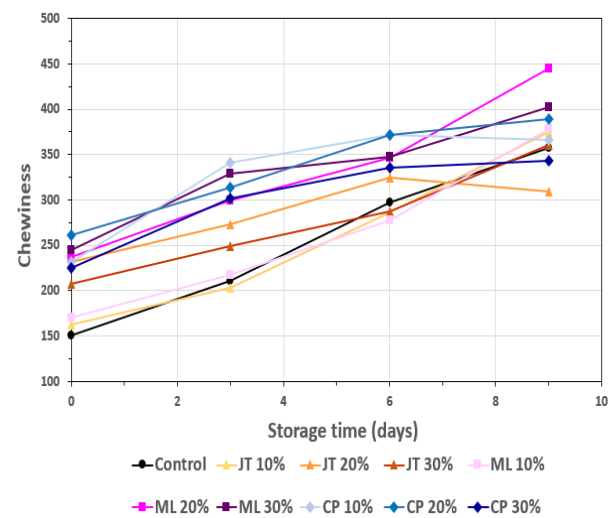
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3 Textural properties, i.e., (a) hardness, (b) springiness, (c) cohesiveness, and (d) chewiness, of bread made from wheat flour (control) and those made from flour blends substituting wheat flour with either Job's tear, millet, or chickpea flour at 10, 20, and 30% levels during storage at room temperature for 9 days

สรุปผล

ฟลาวาร์จากพืชทนแล้ง ได้แก่ ฟลาวาร์ลูกเดือย ฟลาวาร์มิลเล็ท และฟลาวาร์ถั่วลูกไก่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลีบางส่วนได้ การใช้ฟลาวาร์

จากพืชทนแล้งมีผลต่อสมบัติการเกิดเพสต์ โดยทำให้ peak viscosity, trough viscosity และ breakdown viscosity ลดต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมฟลาวาร์ลูกเดือยและฟลาวาร์ถั่วลูกไก่ทำให้ฟลาวาร์ผสมมีค่า final

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

viscosity, setback viscosity และ pasting temperature ต่ำกว่าฟลาวัวร์ข้าวสาลี สำหรับผลของการแทนที่ฟลาวัวร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งในสูตรขนมปัง พบว่าการแทนที่ด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตี อย่างไรก็ตามในด้านคุณภาพการอบพบว่า การเติมฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีผลสำคัญต่อความสูงและปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง โดยสมบัติดังกล่าวมีค่าลดต่ำลงเมื่อปริมาณฟลาวัวร์ทดแทนเพิ่มขึ้น โดยเห็นได้ชัดเจนในตัวอย่างขนมปังที่เติมฟลาวัวร์ลูกเดือยหรือฟลาวัวร์มิลเล็ต สำหรับตัวอย่างที่เติมฟลาวัวร์ถั่วลูกไก่พบว่ายังคงรักษาความสูงและปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังไว้ได้ค่อนข้างดี ในด้านสีของขนมปังพบว่าการเติมฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีผลต่อสีของขนมปัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมฟลาวัวร์มิลเล็ตสำหรับการเกิดรีโทเกรเดชันของสตาร์ชในขนมปังซึ่งติดตามโดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาขนมปังที่อุณหภูมิห้อง ขนมปังที่เติมฟลาวัวร์พืชทนแล้งเกิดรีโทเกรเดชันในอัตราที่ต่ำกว่าขนมปังสูตรควบคุมในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าขนมปังที่ทดแทนด้วยฟลาวัวร์พืชทนแล้งมีความแข็งและความเคี้ยวได้สูงกว่าขนมปังสูตรควบคุม ในขณะที่การคืนรูปและการเกาะติดมีค่าต่ำกว่าและเมื่อเก็บรักษาขนมปังที่อุณหภูมิห้อง พบว่าความแข็งและความเคี้ยวได้ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนการคืนรูปและการเกาะติดมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจจำเป็นต้องศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *WIREs Climate Change*. 2(1): 45-65.
- [2] McGrath, M. (2012). Bananas could replace potatoes in warming world. *BBC News*. [Online] Available from <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-20126452>. [Accessed September 3, 2021].
- [3] Alexandratos, N. (2006). *World agriculture: towards 2030/2050, Interim report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [4] Tilman, D. and Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*. 515, 518-522.
- [5] Smith, P. and Gregory, P.J. (2013). Climate change and sustainable food production. *Proceedings of the Nutrition Society*. 72(1): 21-28.
- [6] Shahbandeh, M. (2021). Grain production worldwide 2020/21, by type. *Statista*. [Online] Available from <https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>. [Accessed October 23, 2021].
- [7] Tack, J., Barkley, A. and Nalley, L.L. (2015). Effect of warming temperatures on US wheat yields. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. 112(22): 6931-6936.
- [8] CGIAR. (2015). Drought-tolerant crops for drylands. *CGIAR*. [Online] Available from http://www.cgiar.org/www-archive/www.cgiar.org/pdf/drought_tolerant_crops_for_drylands.pdf. [Accessed October 12, 2019].
- [9] Bao, J.S. (2008). Accurate measurement of pasting temperature by the rapid visco-

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

- analyser: A case study using rice flour. *Rice Science*. 15(1): 69-72.
- [10] Khunta, F. (2009). Effects of hydroxypropylmethyl cellulose and carboxymethyl cellulose on staling and keeping quality of wheat bread. Master's thesis, Chulalongkorn University, Bangkok (in Thai).
- [11] AOAC. (2005). Official methods of analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- [12] Bárcenas, M.E. and Rosell, C.M. (2006). Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: Low temperatures and HPMC addition. *Journal of Food Engineering*. 72(1): 92-99.
- [13] Shaikh, I.M., Ghodke, S.K. and Ananthanarayan, L. (2007). Staling of chapatti (Indian unleavened flat bread). *Food Chemistry*. 101(1): 113-119.
- [14] Blazek, J. and Copeland, L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers*. 71(3): 380-387.
- [15] Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C.M., Pando, V. and Fernández-Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT*. 41(9): 1701-1709.
- [16] Ragaei, S. and Abdel-Aal, E.M. (2006). Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry*. 95(1): 9-18.
- [17] Ahmed, J. and Thomas, L. (2007). Pasting properties of starch: Effect of particle size, hydrocolloids and high pressure. In J. Ahmed (ed.), *Glass transition and phase transitions in food and biological materials* (pp. 427-451). John Wiley & Sons, West Sussex.
- [18] Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. and Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 79(3): 1033-1047.
- [19] Wikipedia. (2020). Chickpea bread. [Online] Available from https://en.wikipedia.org/wiki/Chickpea_bread. [Accessed December 24, 2021].
- [20] Rattanapanone, N. (2014). *Food chemistry*. Odeon Store, Bangkok (in Thai).
- [21] USDA. (2021). Food Data Central. USDA. [Online] Available from <https://fdc.nal.usda.gov/>. [Accessed January 18, 2021].
- [22] Li, W., Gao, J., Wu, G., Zheng, J., Ouyang, S., Luo, Q. and Zhang, G. (2016). Physicochemical and structural properties of A- and B-starch isolated from normal and waxy wheat: Effects of lipids removal. *Food Hydrocolloids*. 60: 364-373. doi:10.1016/J.FOODHYD.2016.04.011
- [23] Naivikul, O. and Pornkitprasan, T. (1987). Comparison of chemical and physical properties of Job's tears flour and starch. *Kasetsart Journal, Natural Science*. 21(4): 371-377. (in Thai).
- [24] Mahajan, P., Bera, M.B., Panesar, P.S. and Chauhan, A. (2021). Millet starch: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 180(3): 61-79.

*Corresponding author e-mail: thanachan.m@gmail.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 10330

¹Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330