วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.1) January – April 2022 บทความวิจัย

ผลของการใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนต่อคุณภาพของขนมปัง

Effect of Heat Treatment of Broken Rice Flour as Partial Substitution of Wheat Flour on the Qualities of Bread

ไผ่แดง ขวัญใจ* และ สุวลี ฟองอินทร์

Paidaeng Khwanchai* and Suwalee Fong-In

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

Division of Food Science and Technology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao

Received : 14 March 2021

Revised : 3 May 2021

Accepted : 21 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวเพื่อผลิตขนมปังโดยการนำไปทดแทนแป้งสาลีบางส่วน นำแป้งปลายข้าวไปให้ความร้อนแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิสองสภาวะ ได้แก่ 90 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนเปรียบเทียบกับขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อนและขนมปังทำจากแป้งสาลีที่เป็นตัวอย่างควบคุม พบว่าขนมปังจากแป้งปลายข้าวที่มีการให้ความร้อนมีปริมาณความชื้นสูงกว่าขนมปังจากแป้งปลายข้าวที่ไม่ให้ความร้อน การให้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้รับขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะสูงสุด (2.80 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม) และให้ค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เมื่อเทียบกับขนมปังจากแป้งสาลี ขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อนได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรต่ำก้อนขนมปังเกิดการยุบตัว และเนื้อสัมผัสด้านความยืดหยุ่นต่ำ สำหรับคะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมพบว่าขนมปังที่มีการให้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ได้รับคะแนนสูงถึง 6.67 เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่มีการให้ความร้อนกับแป้งที่ได้รับคะแนน 4.43 ดังนั้น การให้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ช่วยในการปรับปรุงปริมาตรโดยรวม โครงสร้างของเนื้อขนมปัง เนื้อสัมผัส และการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสทุกด้านของขนมปัง ผลการศึกษาที่ได้นี้ถือเป็นการปรับปรุงคุณภาพที่ดีขึ้นของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวสำหรับผู้บริโภค นอกจากนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทต่างๆ ที่มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งจากพืชชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ และจำหน่ายในตลาดผู้บริโภคที่รักสุขภาพได้ในอนาคต

คำสำคัญ : การใช้ความร้อน ; แป้งปลายข้าว ; แป้งสาลี ; ขนมปัง ; คุณภาพ

Abstract

The effects of heat treatment on broken rice flour functionality in produced bread by partial substitution of wheat flour were investigated. The broken rice flour was subjected to dry-heat by hot air oven at two temperatures (90 °C and 120 °C) for 1, 2, and 3 hr. The physicochemical and sensory properties of heat-treated, substituted broken rice flour bread were studied and compared with control of non-heated, substituted broken rice flour bread and wheat flour bread. The heat-treated broken rice flour bread was more considerably obtained in moisture content than the non-heated broken rice flour bread. Heating the broken rice flour at 120 ºC for 2 hr produced bread with the highest specific volume (2.80 cm^3/g) and no significant difference in springiness (p>0.05) was obtained when compared with wheat flour bread. The control non-heated broken rice flour bread produced breads with low volume, a weaker crumb structure which collapsed, and lower springiness. Additionally, bread made from this heat treatment of broken rice flour was more acceptable than the non-heat flour in consumer testing. The overall acceptability score for bread made with heat treated rice flour at 120 ºC for 2 hr was 6.67 compared to 4.43 for non-heated broken rice flour bread. Thus, heating the broken rice flour at 120 ºC for 2 hr enhanced in overall volume, cell structure, texture and overall consumer acceptance of bread. In conclusion, these results can assist in improving the quality of partial substitution of wheat flour with rice flour in baking products for consumers. Furthermore, it can be developed the other bakery products with partial substitution of wheat flour with other plants flour for selling on the health-conscious market in the future.

Keywords : heat treatment ; broken rice flour ; wheat flour ; bread ; quality

***Corresponding author. E-mail :** paidaeng.kh@up.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวขาวมากขึ้น ในแต่ละปีมีการผลิตข้าวทั่วโลกเป็นจำนวนมากกว่า 500 ล้านตัน ในประเทศไทย ข้าวเป็นพืชเศษฐกิจที่สำคัญ โดยประเทศไทยถูกจัดอันดับให้เป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ 1 ใน 5 ของโลก (Thai Rice Exporters Association, 2021) ชนิดของข้าวที่ส่งออกมีหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ต้นข้าว เมล็ดข้าว ปลายข้าว เป็นต้น ในขั้นตอนการสีข้าวทำให้เกิดผลพลอยได้ คือ ปลายข้าวเป็นจำนวนมากซึ่งประกอบไปด้วยเศษข้าวที่หักและส่วนของจมูกข้าว ปลายข้าวทั่วไปมีโปรตีนประมาณร้อยละ 8 มีไขมันและเยื่อใยต่ำ (Charoenphun, 2019) ปลายข้าวมีราคาขายต่ำเฉลี่ยกิโลกรัมละ 15-20 บาท ซึ่งต่ำกว่าข้าวสารปกติประมาณ 2-3 เท่า ในทำนองเดียวกัน ข้าวหอมมะลิมีส่วนของปลายข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวประมาณร้อยละ 15 ปลายข้าวหอมมะลิมีราคาขายต่ำเฉลี่ยกิโลกรัมละ 20-30 บาท ซึ่งต่ำกว่าข้าวเมล็ดเต็มประมาณ 2-3 เท่าเช่นกัน (Charoenphun, 2019) ในช่วงฤดูกาลที่มีปริมาณผลผลิตข้าวมาก ปลายข้าวจะมีราคาถูกลง การแปรรูปปลายข้าวให้อยู่ในรูปของแป้งข้าว เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารถือเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลพลอยได้ทางการเกษตร (Charoenphun, 2020)

ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมและบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย ซึ่งมีการบริโภคกันมากขึ้นอันเนื่องมาจากความต้องการความสะดวกสบาย ขนมปังมีวัตถุดิบหลักในการผลิต คือ แป้งสาลี เนื่องจากมีกลูเตน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดโครงสร้างยืดหยุ่นที่ดี อย่างไรก็ตาม คุณค่าทางโภชนาการของขนมปัง โดยเฉพาะจากแป้งขัดสียังมีไม่ครบถ้วนนัก อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความใส่ใจต่อสุขภาพและต้องการบริโภคอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น ทำให้มีหลายการศึกษาวิจัยนำแป้งชนิดต่างๆ มาใช้เพื่อทดแทนแป้งสาลี และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของขนมปัง การศึกษาของ Charoenthaikij *et al*. (2010) พบว่าขนมปังสูตรที่มีการใช้แป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 30 ให้ปริมาตรของก้อนขนมปังต่ำกว่าและมีค่าความแข็งมากกว่าขนมปังจากแป้งสาลี การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ระดับแตกต่างกันพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดง ทำให้ค่าความแข็งและค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นปริมาตรจำเพาะและค่าความยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลง (Supakot *et al*., 2020) มีการศึกษาที่นำแป้งข้าวฟ่างทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปัง พบว่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลงเมื่อปริมาณแป้งข้าวฟ่างในสูตรเพิ่มขึ้น (Man, *et al*., 2016) การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวโอ๊ตส่งผลให้ปริมาตรของขนมปังลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับการทดแทนสูงขึ้น (Chauhan, *et al*., 2018) การนำแป้งข้าวบาร์เลย์ชนิดเปลือกล่อนทดแทนแป้งสาลีบางส่วนเพื่อเป็นแหล่งเส้นใยอาหารให้กับขนมปังส่งผลให้ขนมปังมีปริมาตรลดลงขณะที่ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการทดแทนสูงขึ้น (Sterna, *et al*., 2019) จะเห็นได้ว่าขนมปังที่ใช้แป้งจากพืชเหล่านี้ทดแทนแป้งสาลีโดยทั่วไปมีปัญหาทางด้านกายภาพโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะและเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของเนื้อขนมปัง

การใช้ความร้อนกับแป้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการแปรรูปอาหารได้อย่างหลากหลาย เช่น เค้ก บิสกิต ขนมปัง เวเฟอร์ ซุป ซอส อาหารเด็ก เป็นต้น ซึ่งการใช้ความร้อนกับแป้งเป็นวิธีการที่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังและเค้กให้ดีขึ้นได้ (Marston *et al*., 2016; Neill *et al*., 2012) การใช้ความร้อนกับแป้งมีการศึกษาครั้งแรกโดย Russo & Doe (1970) ซึ่งได้ให้ความร้อนแห้งกับแป้งที่อุณหภูมิระหว่าง 100-115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยพบว่าความร้อนทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนและเอนไซม์ในแป้งในขณะที่ช่วยเพิ่มการขยายปริมาตรของแป้ง นอกจากนี้การประยุกต์ใช้แป้งข้าวฟ่าง

ที่ผ่านการให้ความร้อนแห้งด้วยตู้อบที่ 90 หรือ 125 องศาเซลเซียส นาน 15 30 และ 45 นาที เพื่อผลิตขนมปังแสดงให้เห็นว่าช่วยเพิ่มความต้านทานความหนืดและความแข็งของขนมปัง ปัจจัยเหล่านี้ได้นำไปสู่การเพิ่มความยืดหยุ่นของโดและให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังที่มีความนุ่ม ปริมาตรเพิ่มขึ้น และโครงสร้างขนมปังมีคุณลักษณะที่ดีขึ้น กา(Marston *et al*., 2016; Gélinas *et al*., 2001) กลไกที่ช่วยในการปรับปรุงแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แต่มีความเป็นไปได้ว่าในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนกับแป้ง โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติและเกิดการเจลาติไนซ์บางส่วนของเม็ดแป้งซึ่งจะช่วยเพิ่มความหนืดของแป้ง (Neill *et al*., 2012) การใช้ความร้อนแห้งด้วยตู้อบลมร้อนกับแป้งสาลีร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที ช่วยให้โดขนมปังมีความคงตัว (Bucsella *et al*., 2016) การให้ความร้อนแก่แป้งสาลีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางวิทยากระแสซึ่งมีความสำคัญต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Lagrain *et al*., 2005) งานวิจัยของ Nakamura *et al*. (2008) พบว่าเค้กมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนกับแป้งสาลีด้วยเตาอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที การใช้ความร้อนแห้งกับแป้งมันฝรั่งหวานที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ช่วยให้การกักเก็บแก๊สของโดและปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพิ่มขึ้น (Pérez *et al*., 2017) นอกจากนี้ Puncha-Arnon & Uttapap (2013) พบว่าการใช้ความร้อนแห้งกับแป้งข้าวด้วยเตาอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของการเกิดเจลาติไนซ์และความแข็งของเจลแป้ง อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาการนำแป้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำปลายข้าวหักมาผลิตเป็นแป้งปลายข้าวเนื่องจากเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งถือเป็นการใช้ประโยชน์จากข้าวอย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยนำมาทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการผลิตขนมปัง และมีการประยุกต์ใช้ความร้อนแห้งกับแป้งปลายข้าวเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งปลายข้าว โดยตรวจสอบผลของการใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่นำมาทดแทนแป้งสาลีบางส่วนต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ผลิตจากแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

ปลายข้าวจากข้าวเจ้าพันธุ์หอมมะลิ ได้รับจากโรงสีข้าวแห่งหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา โดยเป็นข้าวที่เก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2562 ส่วนวัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ แป้งสาลี น้ำตาลทราย นมผง เกลือ ยีสต์แห้งผง ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบผลิตภัณฑ์ขนมอบในจังหวัดพะเยา

2. การเตรียมแป้งจากปลายข้าว

เตรียมแป้งจากปลายข้าว โดยนำปลายข้าวมาบดละเอียดด้วยวิธีบดแห้งด้วยเครื่องบดละเอียด (Dxfill, Model DXM-500, China) จากนั้นนำแป้งที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 500 ไมครอน บรรจุแป้งปลายข้าวที่ได้ลงในถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3. การใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าว

นำแป้งปลายข้าวปริมาณ 1 กิโลกรัม เทกระจายลงบนถาดอะลูมิเนียมที่รองด้วยแผ่นฟรอย ให้มีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำแป้งไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, Model 100-800, Germany) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ หลังการให้ความร้อนนำแป้งมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเก็บไว้ในถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนจนกว่าจะนำมาใช้

4. กรรมวิธีการผลิตขนมปัง

แป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้เป็นส่วนผสมในสูตรขนมปัง สูตรการทำขนมปังดัดแปลงจากงานวิจัยที่มีการศึกษาการผลิตขนมปังโดยใช้แป้งข้าวฟ่าง (Marston *et al*., 2016) สูตรขนมปังสำหรับการศึกษานี้ประกอบด้วยแป้งปลายข้าว (150 กรัม) แป้งสาลี (100 กรัม) น้ำตาลไอซิ่ง (12.5 กรัม) นมผง (5 กรัม) เกลือ (3.75 กรัม) น้ำ (160 กรัม) เนยขาว (12.5 กรัม) และยีสต์แห้งผง (3.75 กรัม) โดยยีสต์แห้งผงจะถูกนำมากระตุ้นกิจกรรมและเปียกน้ำในน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ก่อนนำไปผสม ส่วนผสมที่เหลือถูกผสมเข้าด้วยกันให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงเติมยีสต์เปียกน้ำลงไป ตีผสมส่วนผสมทั้งหมดด้วยเครื่องผสมอาหาร เป็นเวลา 30 วินาที ที่ความเร็วต่ำ จากนั้นขูดส่วนผสมแล้วตีผสมต่ออีกเป็นเวลา 90 วินาที ที่ความเร็วปานกลาง หลังจากผสมเสร็จ นำส่วนผสมปริมาณ 220 กรัม ใส่ลงในแม่พิมพ์สำหรับอบขนมปัง (9 x 15 x 5.5 เซนติเมตร) แล้วนำโดขนมปังไปพักให้แป้งโดขึ้นฟูประมาณ 25 นาที จนกระทั่งส่วนผสมมีความสูงถึง 6 เซนติเมตร จึงฉีดน้ำลงบนส่วนผสมแล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที หลังจากการอบ ขนมปังจะถูกแกะออกจากแม่พิมพ์ นำไปวางไว้บนตะแกรงลวด และทำเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5. การตรวจสอบคุณภาพของขนมปัง

5.1 การตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมี

ปริมาณความชื้น วิเคราะห์ความชื้นของขนมปังตามวิธีการของ AOAC (2016) ชั่งตัวอย่างประมาณ 3±0.05 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมที่ผ่านการอบไล่ความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละความชื้นฐานเปียก

ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) วัดปริมาณน้ำอิสระของขนมปังโดยใช้เครื่องวัด a_w (AQUA LAB, Model Series 3 TE) โดยนำตัวอย่างขนมปังบดให้ละเอียด แล้วนำมาวัดค่า a_w แต่ละการวิเคราะห์ทำการวัดทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำ

5.2 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ

ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง หาโดยการชั่งน้ำหนักก้อนขนมปัง ตามด้วยวัดปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงาในภาชนะที่แน่นอนโดยวิธีการของ AACC method 10-05 (2000) จากนั้นคำนวณปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง (specific loaf volume) จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่อน้ำหนักของขนมปัง (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)

ลักษณะปรากฏเนื้อในขนมปัง ตรวจสอบลักษณะปรากฏส่วนเนื้อในขนมปัง ด้วยการพิจารณาลักษณะการเรียงตัวของเซลล์อากาศภายในโครงสร้างขนมปังโดยการตัดขนมปังตามขวาง แล้วถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล

วิเคราะห์ค่าสี วัดค่าสีของขนมปังในระบบ CIE *L* a* b** จำนวน 3 ซ้ำ ด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab, Model No. ColorQuest XE, U.S.A.) โดยค่า *L** คือค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่า 0-100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว ค่า *a** แสดงถึง สีแดง-สีเขียว ค่า *b** แสดงถึง สีเหลือง – น้ำเงิน

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปังโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Charoenthaikij *et al*. (2010) วัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Model No. TA.XT. plus, Stable Microsystems Texture Technologies Inc, UK) โดยการตัดก้อนขนมปังให้เป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาด 5 เซนติเมตร × 5 เซนติเมตร × 5 เซนติเมตร กดด้วยหัวกดทรงกระบอก (cylindrical probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) แรงในการกด 30 g ด้วยความเร็วในการกดคงที่ที่ 2 มิลลิเมตรต่อนาที ด้วยแรงกระตุ้น 5.0 กรัม ที่กดลงใจกลางของก้อนขนมปังที่ระยะร้อยละ 40 ของความหนาของชิ้นขนมปัง (2.5 เซนติเมตร) ซึ่งระยะ 1.0 เซนติเมตร ถูกใช้เพื่อกดตัวอย่างเป็นเวลา 5 วินาที ในแต่ละการทดลองทำการทดสอบจำนวนสามซ้ำ บันทึกค่าความยืดหยุ่น (springiness) จากอัตราการคืนตัวอย่างยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นเมื่อถอนแรงบีบอัดออก

5.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังด้วยวิธี 9- point hedonic scale test (9=ชอบมากที่สุด, 5=เฉยๆ และ 1= ไม่ชอบมากที่สุด) โดยทดสอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน

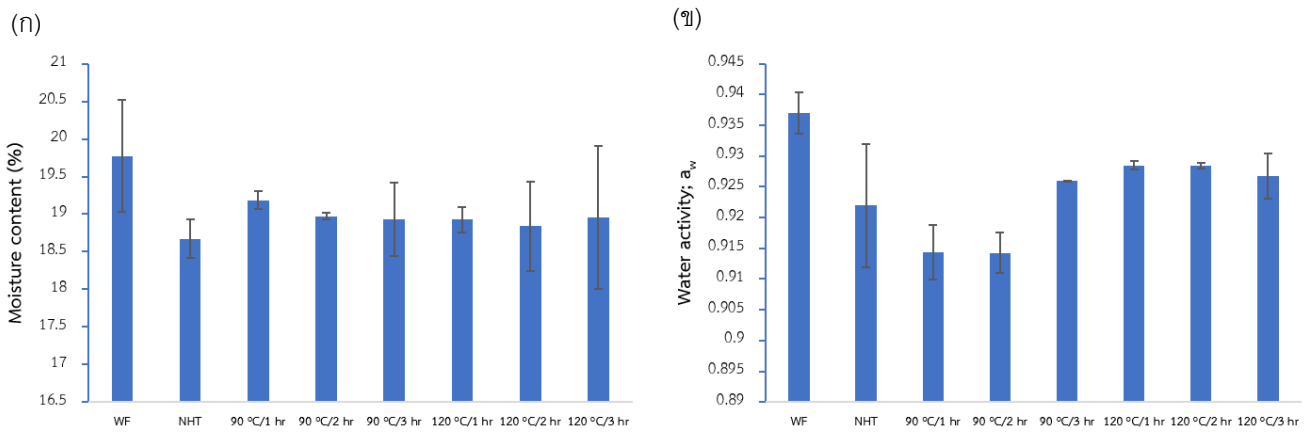
6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ในทุกแผนการทดลองวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แต่ละสิ่งทดลองทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ยกเว้นในด้านการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 27.0

ผลการวิจัย

ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เป็นขนมปังจากแป้งสาลีและขนมปังทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนแสดงดังภาพที่ 1(ก) พบว่าขนมปังจากแป้งสาลีมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดถึงร้อยละ 19.77 ในขณะที่ปริมาณความชื้นต่ำสุดพบในขนมปังแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน จะเห็นได้ว่าขนมปังแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในทุกสภาวะมีปริมาณความชื้นสูงกว่าขนมปังแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 18.84 ถึง 19.19 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนมปังแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยกัน พบว่าการใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่อุณภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นสูงสุด

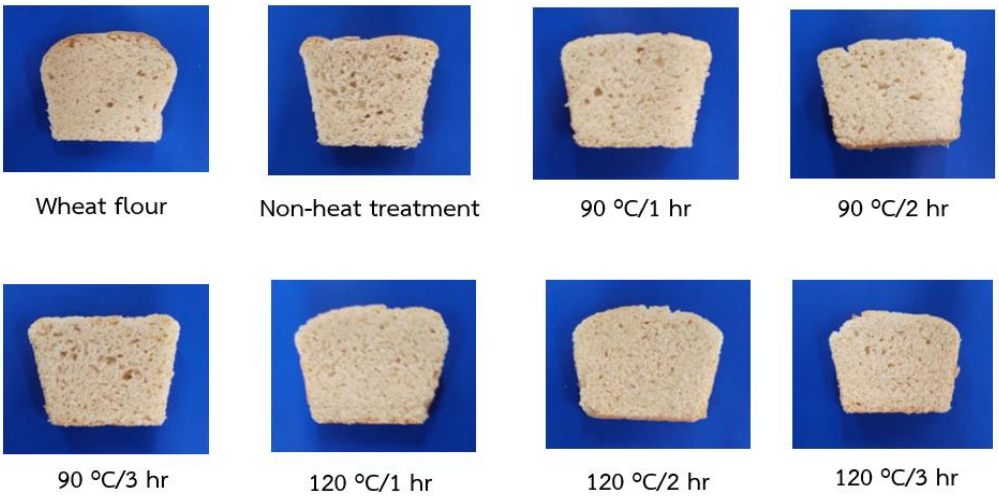


ภาพที่ 1 ปริมาณความชื้น (ก) และปริมาณน้ำอิสระ (ข) ของขนมปังทำจากแป้งสาลี; WF, ขนมปังจากแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน; NHT และขนมปังจากแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ

ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำอิสระน้อยสุด คือ 0.9143 โดยมีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านผ่านการให้ความร้อน สำหรับขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะอื่นๆ มีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.9260 ถึง 0.9285 อย่างไรก็ตาม ขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งปลายข้าวทั้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าขนมปังจากแป้งสาลีที่ซึ่งมีปริมาณน้ำอิสระสูงถึง 0.9370 (ภาพที่ 1(ข))

ลักษณะปรากฏ

ในการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ผ่านการให้ความร้อนเทียบกับขนมปังจากแป้งข้าวสาลี จะเห็นได้ว่าโครงสร้างส่วนบนของขนมปังจากแป้งสาลีจะมีความโค้งมนไม่ยุบตัว ซึ่งเป็นคุณลักษณะทั่วไปที่พึงประสงค์ของขนมปังทางการค้า อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนจะเห็นได้ว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนให้โครงสร้างส่วนบนของขนมปังที่ยุบตัวอย่างเห็นได้ชัดซึ่งถือเป็นคุณลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการ (ภาพที่ 2) เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทั้งสามสภาวะของเวลาให้ความร้อนได้ขนมปังที่มีโครงสร้างส่วนบนโค้งมนไม่ยุบตัวใกล้เคียงกับขนมปังจากแป้งข้าวสาลี



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของขนมปังทำจากแป้งสาลี ขนมปังจากแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน และขนมปังจากแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ

เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในก้อนขนมปังจากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนจะมีลักษณะของเซลล์อากาศขนาดใหญ่มากและเกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่ไม่สม่ำเสมอ เนื้อในก้อนขนมปังหยาบไม่เนียน ในขณะที่ขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนให้โครงสร้างของเซลล์อากาศที่มีขนาดสม่ำเสมอกว่า และมีเนื้อในขนมปังที่เรียบเนียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง ซึ่งมีลักษณะปรากฏเนื้อในขนมปังที่มีโพรงอากาศขนาดเล็กสม่ำเสมอ

ปริมาตรจำเพาะ

ปริมาตรจำเพาะของขนมปังแสดงดังตารางที่ 1 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนได้รับปริมาตรจำเพาะสูงกว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ยกเว้นที่สภาวะให้ความร้อนแก่แป้งข้าวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างขนมปังจากแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปังเห็นได้อย่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 2 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าขนมปังจากแป้งสาลีมีปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 ปริมาตรจำเพาะและค่าความยืดหยุ่นของขนมปังทำจากแป้งสาลี ขนมปังจากแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน และขนมปังจากแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ

Treatments	Specific volume (cm^3/g)	Springiness (N)
Wheat flour	2.79 ± 0.03[a]	0.87 ± 0.02[a]
Non-heat treatment	2.41 ± 0.06[c]	0.62 ± 0.01[c]
90 ºC/1 hr	2.60 ± 0.02[b]	0.70 ± 0.01[b]
90 ºC/2 hr	2.62 ± 0.08[b]	0.81 ± 0.03[a]
90 ºC/3 hr	2.40 ± 0.04[c]	0.79 ± 0.00[a]
120 ºC/1 hr	2.55 ± 0.03[b]	0.83 ± 0.01[a]
120 ºC/2 hr	2.80 ± 0.03[a]	0.85 ± 0.02[a]
120 ºC/3 hr	2.78 ± 0.07[a]	0.82 ± 0.02[a]

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งปลายข้าวไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อน ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าขนมปังทำจากแป้งสาลีให้ค่าความยืดหยุ่นที่สูงสุดตามด้วยขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ขณะที่ค่าความยืดหยุ่นต่ำสุดได้รับจากขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าความยืดหยุ่นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ให้ความร้อนทุกสภาวะ ยกเว้นขนมปังจากแป้งผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

ค่าสี

ผลค่าสีของเนื้อขนมปังทำจากแป้งสาลี ขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 แม้ว่าค่าความสว่าง L^* สูงสุดพบในขนมปังแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามขนมปังสภาวะดังกล่าวมีค่าความสว่าง L^* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรอื่น ($p>0.05$) ยกเว้นขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ที่มีค่าความสว่าง L^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังจากสภาวะอื่นๆ

ตารางที่ 2 ค่าสีของขนมปังทำจากแป้งสาลี ขนมปังจากแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน และขนมปังจากแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ

Treatments	*L**	*a**	*b**
Wheat flour	76.79 ± 0.71[a]	1.24 ± 0.15[b]	15.13 ± 0.09[a]
Non-heat treatment	76.64 ± 1.40[a]	1.16 ± 0.14[b]	13.26 ± 0.06[c]
90 ºC/1 hr	76.85 ± 1.22[a]	0.93 ± 0.01[c]	13.54 ± 0.19[b]
90 ºC/2 hr	76.52 ± 1.27[a]	1.27 ± 0.03[b]	13.74 ± 0.62[b]
90 ºC/3 hr	76.33 ± 0.56[a]	1.02 ± 0.07[c]	13.92 ± 0.25[b]
120 ºC/1 hr	76.50 ± 0.50[a]	1.37 ± 0.12[a]	14.08 ± 0.05[b]
120 ºC/2 hr	76.54 ± 0.14[a]	1.35 ± 0.10[a]	13.94 ± 0.75[b]
120 ºC/3 hr	75.19 ± 0.69[b]	1.06 ± 0.03[c]	14.00 ± 0.62[b]

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ค่าความเป็นสีแดง *a** ต่ำสุดของเนื้อขนมปังพบเมื่อทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ขณะที่การให้ความร้อนกับแป้งที่อุณภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ได้รับค่า *a** ของเนื้อขนมปังสูงสุด (ตารางที่ 2) สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง *b** ของเนื้อขนมปังเป็นที่สังเกตว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนในทุกสภาวะให้ค่า *b** ต่ำกว่าขนมปังแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) อย่างไรก็ตาม ขนมปังจากแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนทุกสภาวะได้รับค่า *b** ที่สูงกว่าขนมปังจากแป้งปลายข้าวที่ไม่มีการนำไปให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกับขนมปังทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและขนมปังจากแป้งสาลีแสดงดังตารางที่ 3 คะแนนด้านลักษณะปรากฏสูงสุดได้รับจากขนมปังจากแป้งสาลี อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสในทุกสภาวะเวลาให้ความร้อนได้รับคะแนนด้านดังกล่าวสูงกว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน คะแนนการยอมรับด้านสีของขนมปังจากผู้ทดสอบชิมพบว่าการใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ได้รับคะแนนสูงสุด ขณะที่คะแนนต่ำสุดได้รับจากขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ให้ความร้อน ขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ในทุกสภาวะ ได้รับคะแนนด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) กับขนมปังทำจากแป้งสาลี

ตารางที่ 3 คะแนนการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสขนมปังทำจากแป้งสาลี ขนมปังจากแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน และขนมปังจากแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ

Treatments	Appearance	Color	Flavor	Texture	Overall acceptability
Wheat flour	5.96±2.35[a]	5.53±1.86[b]	5.43±1.94[a]	5.26±1.81[b]	5.66±2.02[b]
Non-heat treatment	4.30±2.27[c]	4.43±1.88[c]	4.08±1.87[b]	4.06±2.03[c]	4.43±1.77[c]
90 ºC/1 hr	4.78±2.30[b]	4.60±1.97[c]	4.16±2.22[b]	4.14±2.23[c]	4.46±2.17[c]
90 ºC/2 hr	4.13±2.28[c]	4.96±2.00[c]	4.30±2.38[b]	4.28±1.91[c]	4.80±1.78[c]
90 ºC/3 hr	4.00±2.22[c]	5.66±2.02[b]	5.26±1.65[a]	4.16±1.83[c]	4.86±1.90[c]
120 ºC/1 hr	4.86±1.94[b]	6.06±2.13[a]	5.76±2.48[a]	5.13±2.35[b]	6.67±1.84[a]
120 ºC/2 hr	5.46±2.04[a]	5.96±2.55[a]	5.60±1.94[a]	6.23±2.32[a]	6.62±2.37[a]
120 ºC/3 hr	5.23±2.51[a]	6.10±2.35[a]	5.40±2.49[a]	6.90±2.44[a]	6.40±2.48[a]

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ในส่วนคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสต่ำสุดได้รับจากขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายไม่ให้ความร้อน ขณะที่ขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 2 ชั่วโมง ได้รับคะแนนด้านเนื้อสัมผัสสูงสุดและรองลงมาตามลำดับ โดยได้รับคะแนนด้านดังกล่าวสูงกว่าขนมปังจากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) สำหรับคะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังจากผู้ทดสอบชิมพบว่าการให้ความร้อนกับแป้งข้าวที่อุณภูมิ 120 องศาเซลเซียส ในทุกสภาวะได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยได้รับคะแนนสูงกว่าขนมปังจากแป้งสาลี ขนมปังให้ความร้อนแป้งปลายข้าวที่ 90 องศาเซลเซียส ในทุกสภาวะ และขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ให้ความร้อนตามลำดับ (ตารางที่ 3) คะแนนการยอมรับที่สูงกว่าในทุกๆ ด้านของขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนถือได้ว่าเป็นการปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวผ่านการให้ความร้อนมีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพที่ดีของขนมปังที่มีการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

วิจารณ์ผลการวิจัย

เพื่อที่จะประเมินศักยภาพของการใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวต่อการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวที่มีการประยุกต์ใช้ความร้อนกับแป้ง จึงทำการผลิตและประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ของขนมปัง สำหรับการตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีของขนมปัง ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งข้าวที่สภาวะต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระสูงกว่าขนมปังทำจากแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Purhagen *et al*. (2011) ที่มีการให้ความร้อนแห้งกับแป้งข้าวบาร์เลย์ก่อนนำไปผลิตขนมปังซึ่งพบว่าส่งผลทำให้ปริมาณน้ำของขนมปังเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการให้ความร้อนกับแป้ง ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากการใช้ความร้อนกับแป้งที่ส่งผลให้แป้งเกิดการพองตัวและอุ้มน้ำได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เป็นที่สังเกตว่าขนมปังทำจากแป้งปลายข้าวไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าขนมปังทำจากแป้งสาลี แสดงให้เห็นว่าแป้งสาลีมีความสามารถในการกักเก็บน้ำระหว่างการอบไว้ได้ดีกว่าแป้งข้าว โดย Alivola & Monterde (2018) รายงานว่าแป้งสาลีมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งข้าวทำให้แป้งสาลีดูดซับและจับกับน้ำได้ดีกว่าแป้งข้าวจึงเป็นเหตุผลที่ว่าขนมปังทำจากแป้งสาลีมีการสูญเสียน้ำระหว่างการอบขนมปังต่ำกว่าและให้ขนมปังที่มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระสูงกว่าขนมปังที่มีการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลี

ลักษณะปรากฏของขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนจะเห็นได้ว่าส่วนด้านบนของขนมปังมีการพองตัวที่มีลักษณะโค้งมน ขณะที่ขนมปังจากการทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อนเป็นที่สังเกตว่าส่วนด้านบนขนมปังเกิดการยุบตัว Attenburrow *et al*. (1990) และ Kim *et al*. (2004) แนะนำว่าการใช้ความร้อนกับแป้งทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง (cross-linkage reactions) ที่ส่งผลให้ความหนืดของกลูเตนเพิ่มขึ้นเนื่องจากเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวและเกิดเจลาติไนซ์ซึ่งเป็นปัจจัยหลักต่อการเกิดความหนืดของแป้ง นอกจากนี้ทั้งการพองตัวของสตาร์ช การเกิดเจลาติไนซ์ และการเสียสภาพโปรตีนจากการใช้ความร้อนกับแป้งส่งผลให้แป้งมีความหนืดที่สูงกว่า (Neill *et al*., 2012) สอดคล้องกับการศึกษาของ Marston *et al*. (2016) ที่พบว่าความหนืดของแป้งข้าวฟ่างเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาให้ความร้อนกับแป้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากเม็ดสตาร์ชมีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น การที่คุณสมบัติในการพองตัวของสตาร์ชเพิ่มขึ้นจึงช่วยป้องกันการยุบตัวของขนมปังในระหว่างทิ้งไว้ให้เย็น โดยการรักษาโพรงอากาศภายในโครงสร้างของขนมปังเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงและความดันในเซลล์อากาศลดลง

การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพที่ถือเป็นคุณลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งของขนมปัง นั่นคือปริมาตรจำเพาะของขนมปัง โดยทั่วไปการนำแป้งจากพืชชนิดอื่นมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังจะส่งผลกระทบต่อปริมาณกลูเตนที่พบในแป้งสาลีซึ่งกลูเตนมีลักษณะเป็นยาง เหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้จะเป็นตัวกักเก็บแก๊สไว้ทำให้เกิดโครงร่างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ขนมอบและจะเป็นโครงร่างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ ซึ่งการที่ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่มีการใช้แป้งข้าวในสูตรมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณกลูเตนที่มีในแป้งสาลีลดลงจากการนำแป้งข้าวทดแทนแป้งสาลี ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการซึมออกของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างกระบวนการหมักและการอบขนมปัง (Kadan *et al*., 2001) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของโด ซึ่งส่งผลให้โดมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้น้อยลง ทำให้โดมีความสามารถในการกักเก็บแก๊สไว้ในโครงสร้างของขนมปังได้น้อยลง (Mandala *et al*., 2009; Mohamed *et al*., 2010) ส่งผลให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าการใช้ความร้อนกับแป้งข้าวช่วยปรับปรุงให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังทดแทนด้วยแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งได้รับขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะต่ำกว่าที่ถือเป็นคุณลักษณะที่ไม่ต้องการของขนมปังซึ่งจะมีขนาดเล็กไม่ขึ้นฟูทำให้มีรูพรุนน้อยและเนื้อสัมผัสไม่ยืดหยุ่น การศึกษานี้พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาให้ความร้อนกับแป้งข้าวสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาตรจำเพาะดังกล่าวนี้เป็นผลเนื่องมาจากการดัดแปรสภาพของโปรตีนในแป้งข้าวโดยการออกซิไดซ์กลุ่มซัลไฮดริลอิสระ Gujral & Rosell (2004) ได้ตรวจสอบผลของการออกซิเดชันต่อคุณภาพของขนมปังที่ทำ

จากแป้งข้าว โดยพบว่าการออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริลส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ของกรดแอมิโน ซึ่งส่งผลให้โดมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้านทานต่อแรงกลได้มากกว่า ช่วยปรับปรุงความยืดหยุ่นหลังอบ และให้ปริมาณก้อนขนมปังที่ใหญ่กว่า (Marston *et al*., 2016) การศึกษาของ Pérez *et al*. (2017) ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีความสัมพันธ์กับการเกิดโด การกักเก็บแก๊ส ขนาดอนุภาคเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยปริมาตร และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยพื้นที่ นอกจากนี้ การใช้ความร้อนกับแป้งทำให้ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ชได้มากกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนกับแป้งทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน ส่งผลให้โปรตีนที่อยู่บนผิวของเม็ดสตาร์ชมีความเป็น hydrophobicity เพิ่มขึ้น (Seguchi, 1984) การดัดแปรสภาพของโปรตีนดังที่กล่าวมาส่งผลให้เม็ดสตาร์ชดูดซับน้ำได้มากกว่า (Neill *et al*., 2012) จะเห็นได้ว่าการใช้ความร้อนกับแป้งส่งผลในการปรับปรุงคุณภาพที่ดีของขนมปัง โดยที่ความหนืดเป็นปัจจัยควบคุมปริมาตรสุดท้ายของขนมปัง ที่ส่งผลให้โครงสร้างด้านส่วนบนของขนมปังไม่ยุบตัว ทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงกว่า

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกซื้อขนมปังของผู้บริโภค เนื้อสัมผัสของขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนแสดงด้วยค่าความยืดหยุ่น ซึ่งนิยามว่าเป็นความเร็วที่ซึ่งทำให้วัสดุที่เสียรูปกลับคืนสู่สภาวะเริ่มต้นหลังจากขจัดแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปออกไป ซึ่งได้รับผลกระทบอย่างมากจากปริมาณความชื้น การกระจายความชื้น และการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง (Pérez *et al*., 2017; Lazaridou & Biliaderis, 2009; Osella *et al*., 2005) จะเห็นได้ว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ได้รับค่าความยืดหยุ่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังทำจากแป้งสาลี ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนกับแป้งข้าวสามารถช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างที่แข็งแรงและได้รับปริมาตรขนมปังที่ดีขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความหนืดที่เพิ่มขึ้นของแป้ง ซึ่งความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมากจากคุณสมบัติการพองตัวของเม็ดแป้งและการเกิดเจลาติไนซ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนมปังมีความยืดหยุ่นดีขึ้น (Marston *et al*., 2016) โดยทั่วไป ขนมปังที่มีคุณภาพสูงด้วยระดับความสดใหม่ที่ดีนั้นสัมพันธ์กับค่าความยืดหยุ่นที่สูง ขณะที่ขนมปังที่มีค่าความยืดหยุ่นต่ำมีแนวโน้มที่ก้อนขนมปังจะเปื่อยยุ่ยเมื่อหั่นเป็นชิ้น (McCarthy *et al*., 2005)

ค่าความสว่าง L^* ของขนมปังแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่สภาวะอื่นๆ ผลที่ได้ดังกล่าวนี้ถือได้ว่าเป็นข้อเสียที่สำคัญประการหนึ่งในการใช้ความร้อนกับแป้งนั่นคือการเกิดกระบวนการออกซิเดชันในรูปแบบต่างๆ โดย Fesler (2003) ได้อภิปรายผลของการให้ความร้อนกับแป้งที่ส่งผลให้แป้งมีสีเข้มขึ้น โดยได้รายงานว่าแป้งที่ผ่านการนำไปผ่านการให้ความร้อนมักจะให้สีของเนื้อขนมปังที่สว่างน้อยกว่าเนื่องจากสีแรกเริ่มของแป้งมีลักษณะปรากฏที่สว่างน้อยกว่าจากการใช้ความร้อนกับแป้งนั่นเอง กลไกดังกล่าวเกิดจากการที่แป้งมีออกซิเจน ความชื้น และได้รับอุณหภูมิสูงร่วมกันซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แป้งมีสีเข้มขึ้นระหว่างการให้ความร้อน โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นแรกที่เป็นสาเหตุสำหรับการเกิดหมู่ฟังก์ชันที่ทำให้เกิดสี (chromophore) ระหว่างการให้ความร้อนกับแป้ง ขณะที่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสโดยทั่วไปที่ทำให้แป้งมีความสว่างลดลงเกิดขึ้นเมื่อมีความชื้นอยู่ในแป้ง (Chen *et al*., 2012)

สรุปผลการวิจัย

การใช้แป้งปลายข้าวทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์ขนมปังส่งผลให้ขนมปังมีปริมาณความชื้นและน้ำอิสระต่ำกว่าเมื่อเทียบกับขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี การใช้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวส่งผลกระทบในเชิงบวกต่อคุณภาพของขนมปัง โดยขนมปังทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งปลายข้าวผ่านการให้ความร้อนมีปริมาตรจำเพาะและค่าความยืดหยุ่นสูงกว่าขนมปังทดแทนด้วยแป้งปลายข้าวไม่ผ่านการให้ความร้อน การศึกษานี้พบว่าการให้ความร้อนกับแป้งปลายข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ช่วยในการปรับปรุงปริมาตรโดยรวม โครงสร้างของเนื้อขนมปัง เนื้อสัมผัส และการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสทุกด้าน ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับขนมปังจากแป้งปลายข้าวให้ความร้อนที่สภาวะอื่นๆ ผลที่ได้จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนกับแป้งข้าวถือเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณสมบัติที่ดีขึ้นของแป้งข้าว นอกจากนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพที่ดีขึ้นสำหรับขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งจากแหล่งพืชชนิดอื่นสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการขนมปังที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

AACC. (2000). *Approved Methods of Analysis: Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement*. 11th ed. St. Paul, Minnesota.

Alviola, J. N. A., & Monterde, V.G. (2018). Physicochemical and functional properties of wheat (*Triticum aestivum*) and selected local flours in the Philippines. *Philippine Journal of Science, 147*(3), 419-430.

AOAC. (2016). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. Washington D.C., USA.

Attenburrow, G., Barnes, D.J., Davies, A.P., & Ingman, S.J. (1990). Rheology properties of wheat gluten. *Journal of Cereal Science, 12,* 1-14.

Bucsella, B., Takacs, A., Vizer, V., Schwendener, U., & Tomoskozi, S. (2016). Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. *Food Chemistry, 190,* 990–996.

Charoenthaikij, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Prinyawiwatkul, W., & Tungtrakul, P. (2010). Germination conditions affect selected quality of composite wheat-germinated brown rice flour and bread formulations. *Journal of Food Science, 75*(6), 312-318.

Charoenphun, N. (2019). Production of "Look Choub" cake from broken Thai jasmine rice flour. *Thai Science and Technology Journal, 27*(5), 915-923. (in Thai)

Charoenphun, N. (2020). Utilization of broken rice flour for herbal Khanom Phing recipes production. *Thai Science and Technology Journal, 28*(9), 1596-1607. (in Thai)

Chauhan, D., Kumar, K., Kumar, S., & Kumar, H. (2018). Effect of incorporation of oat flour on nutritional and organoleptic characteristics of bread and noodles. *Current Research in Nutrition and Food Science*, *6*(1), 148-156.

Chen, Y., Fan, Y., Gao, J., & Stark, N.M. (2012). The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood flour. *Bioresources, 7*(1), 1157-1170.

Fesler, R. (2003). Soft wheats and their flours. *AIB Technical Bulletin, 25*(9), 1-12.

Gélinas, P., Mckinnon, C.M., Rodrigue, N., & Montpetit, D. (2001). Heating conditions and bread-making potential of substandard flour. *Journal of Food Science, 66*(4), 627-632.

Gujral, H.S., & Rosell, C.M. (2004). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International, 37*(1), 75-81.

Kadan, R.S., Robinson, M.G., Thibodeaux, D.P.Jr., & Pepperman, A.B. (2001). Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *Journal of Food Science 66*(7), 940–944.

Kim, W., Choi, S.G., Kerr, W.L., Johnson, J.W., & Gaines, C.S. (2004). Effect of heating temperature on particle size distribution in hard and soft wheat flour. *Journal of Cereal Science, 40*(1), 9-16.

Lagrain, B., Brijs, K., Veraverbeke, W.S., & Delcour, J.A. (2005). The impact of heating and cooling on the physico-chemical properties of wheat gluten-water suspensions. *Journal of Cereal Science, 21*, 87–92.

Lazaridou, A., & Biliaderis, C.G. (2009). Gluten free dough: Rheological properties, testing procedures, methods and potential problem. In E. Gallagher, (Ed.), Gluten Free Food Science and Technology. (pp. 52–82). Iowa: Wile-Blackwell.

Man, S., Paucean, A., Muste, S., Pop, A., & Muresan, E.A. (2016). Quality evaluation of bread supplemented with millet (*Panicum Miliaceum* L.) flour. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, *73*(1), 161-162.

Mandala, I., Polaki, A., & Yanniotis, S. (2009). Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients. *Journal of Food Engineering, 92*(2),137-145.

Marston, K., Khouryieh, H., & Aramouni, F. (2016). Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT - Food Science and Technology, 65*, 637-644.

McCarthy, D.F., Gallagher, E., Gormley, T.R., Schoeber, T.J., & Arendt, E.K. (2005). Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry, 82*, 609–615.

Mohamed, A., Xu, J., & Singh M. (2010). Yeast leavened banana-bread: Formulation, processing, colour and texture analysis. *Food Chemistry, 118,* 620-626.

Nakamura, C., Koshikawa, Y., & Seguchi, M. (2008). Increased volume of Kasutera cake (Japanese sponge cake) by dry heating of wheat flour. *Food Science and Technology Research, 14*, 431–436.

Neill, G., Al-Muhtaseb, A.H., & Magee, T.R.A. (2012). Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering, 113*, 422-426.

Osella, A., Sanchez, H.D., Carrara, C.R., De la Torre, M.A., & Buera, M.P. (2005). Water redistribution and structural changes of starch during storage of gluten free bread. *Starch/Starke, 57*, 208–216.

Pérez, I.C., Mu, T.H., Zhang, M., and Ji, L.L. (2017). Effect of heat treatment to sweet potato flour on dough properties and characteristics of sweet potato-wheat bread. *Food Science and Technology International, 23*(8), 708-715.

Puncha-Arnon, S., & Uttapap, D. (2013). Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydrate Polymers, 91*, 85–91.

Purhagen, J.K., Sjöö, M.E., & Eliasson, A. (2011). The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as anti-staling agents in laboratory and industrial baking processes. *Journal of Food Engineering, 104*, 414–421.

Russo, J.V., & Doe, C.A. (1970). Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *Journal of Food Technology, 5*, 363–374.

Seguchi, M. (1984). Oil binding ability of heat treated wheat starch. *Cereal Chemistry, 61,* 248–250.

Sterna, V., Kunkulberga, D., Straumite, E. & Bernande, K. (2019). Naked barley influence on wheat bread quality. In *13th Baltic Conference on Food Science FoodBalt 2019*. (pp. 98-102). Latvia: Jelgava.

Supakot, P., Saelao, S. & Bisila, O. (2020). Replacement of wheat flour with red jasmine brown rice Flour in bread product. *Pawarun Agriculture Journal*, *17*(2), 273-287. (in Thai)

Thai Rice Exporters Association. (2021). *Thai Rice Export Situation*. Retrieved May 4, 2021, from http://www.thairiceexporters.or.th/Frameset-information.htm (in Thai)