

ข้าวหอมบอน: องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการประยุกต์ใช้ในขนมปังเพื่อทดแทนแป้งสาลี

Hom-Bon rice: Chemical composition, phytochemicals and its application in wheat bread substitution

สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์*, นิภาพร มีพันธุ์ และ สุกัญญา ไหมเครือแก้ว

Supaporn Apirattananusorn*, Nipaporn Meepun and Sukanya Maicaurkaew

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวหอมบอน รวมถึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมบอนที่เหมาะสมในการผลิตขนมปัง ตัวอย่างข้าวหอมบอน 3 รูปแบบ ได้แก่ ข้าวกล้อง ข้าวขัดสี และข้าวหัก นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณไขมัน เถ้า และใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังมีวิตามินอี แอนโทไซยานิน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าสอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น การศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมบอนในขนมปังในระดับร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 (ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด) พบว่าแป้งข้าวหอมบอนที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เนื้อขนมปังมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ปริมาตรจำเพาะลดลง ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสพบว่าขนมปังมีความแข็งเพิ่มขึ้น ขณะที่ความยืดหยุ่นลดลงตามระดับการทดแทนแป้งข้าวหอมบอน ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบรวมลดลงเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน ระดับที่เหมาะสมคือ การทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 15 ได้คะแนนความชอบรวมใกล้เคียงสูตรควบคุมมากที่สุด ผลการศึกษาด้านอายุการเก็บรักษาพบว่า การเติมวัตถุกันเสีย (แคลเซียมโพรพิโอเนต) สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังได้นานประมาณ 6 วัน

คำสำคัญ: ข้าวหอมบอน, แป้งข้าว, ขนมปัง, การทดแทนแป้งสาลี, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ, อายุการเก็บรักษา

Abstract

This study aimed to investigate the chemical composition, phytochemicals, and antioxidant activity of Hom-Bon rice, as well as to determine the optimal level of wheat flour substitution with Hom-Bon rice flour in bread. Three characteristic forms of Hom-Bon rice, namely brown rice, polished rice, and broken rice, were analyzed for their chemical composition, phytochemicals, and antioxidant activity. The results showed that the fat, ash, and total dietary fiber of brown rice contained significantly higher levels than the other samples ($p < 0.05$). In addition, brown rice exhibited the highest contents of vitamin E, anthocyanin, and total phenolic content, which were consistent with its greater antioxidant activity. The substitution of wheat flour with Hom-Bon rice flour at levels of 0, 15, 30 and 45% (total weight of flour) was evaluated. Increasing the proportion of Hom-Bon rice flour resulted in higher bread density, lower specific volume, decreased lightness (L^*), and increased redness (a^*). Texture analysis revealed that at higher substitution levels, the bread exhibited an increase in hardness and a decrease in springiness. Sensory evaluation indicated that overall liking decreased as the substitution level increased. The optimal level was found at 15% substitution, showing overall liking comparable to the control. A shelf-life study demonstrated that the addition of a preservative (calcium propionate) effectively inhibited microbial growth and extended the shelf-life of bread up to approximately 6 days.

Keywords: Hom-Bon rice, rice flour, bread, wheat flour substitution, phytochemicals, antioxidant activity, shelf-life

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

Faculty of Science and Technology, Surat Thani Rajabhat University, Mueang Surat Thani District, Surat Thani 84100, Thailand

* Corresponding author. E-mail: supaporn@sru.ac.th

Received: April 29, 2026; Revised: July 17, 2026; Accepted: September 30, 2026

บทนำ

ข้าวหอมบอนหรือข้าวหอมหับบอนจัดเป็นข้าวไรซ์ชนิดหนึ่ง นิยมเพาะปลูกในบริเวณพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทย เช่น จังหวัดกระบี่ และจังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นต้น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนเกษตบ้านห้วยลึก ตำบลพ่วงพมคร อำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนหนึ่งที่มีการเพาะปลูกข้าวไร่พื้นเมืองหลายชนิดโดยเฉพาะข้าวหอมบอน มีการสืบทอดกันมาโดยส่งต่อองค์ความรู้การปลูกข้าวจากรุ่นสู่รุ่นด้วยวิถีชีวิตแบบดั้งเดิม เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่สมบูรณ์ ปลูกข้าวโดยใช้วิธีดั้งเดิมที่เรียกว่า "การหน้าข้าว" ซึ่งเป็นการปลูกข้าวไร่โดยอาศัยแรงงานคนและความรู้ท้องถิ่นในการหยอดเมล็ดลงหลุมปลูก สะท้อนถึงภูมิปัญญาการจัดการเกษตรที่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ในภาคใต้ของประเทศไทย ทั้งนี้การเพาะปลูกข้าวไร่เป็นการปลูกข้าวในพื้นที่โดยอาศัยแหล่งน้ำจากน้ำฝนเป็นหลัก (Chairperson of Ban Huai Luek Agricultural Community Enterprise, 2025; Division of Rice Research and Development, 2025)

ข้าวหอมบอนเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีเมล็ดข้าวสีแดงปนขาวเมื่อผ่านการขัดสี มีความหอมคล้ายหัวเผือกหรือหับบอนขณะหุงสุก (ทางใต้จะเรียกเผือกว่า บอนหรือหับบอน) เมื่อหุงสุกมีเมล็ดข้าวที่อ่อนนุ่มน่ารับประทาน โดยทั่วไปปลูกแซมในร่องสวนปาล์มและสวนยาง ที่มีอายุไม่เกิน 3-4 ปี เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ทางการเกษตรระหว่างรอให้ต้นปาล์มหรือต้นยางพาราเติบโต ปัจจุบันทางกลุ่มฯ มีสมาชิกประมาณ 20 ครัวเรือน มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 70-80 ไร่ สามารถเพาะปลูกและผลิตข้าวหอมบอนขายได้ทุกปี โดยเริ่มเพาะปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน เมล็ดข้าวหอมบอนที่เก็บเกี่ยวได้จะผ่านการขัดสี ส่วนใหญ่จัดจำหน่ายเป็นข้าวสารเพื่อบริโภคทั่วไป

ข้าวที่มีสี (ข้าวมีสี) และข้าวพื้นเมืองหลายชนิดเป็นแหล่งสำคัญของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น แครโธทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะแอนโทไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงิน เป็นรงควัตถุตามธรรมชาติที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (Slavin, 2004; Juliano & Tuaño, 2019) โดยแอนโทไซยานิน เช่น cyanidin-3-O-glucoside สามารถกำจัดอนุมูลอิสระ และช่วยลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคเมะเร็ง (Yawadio et al., 2007; Shao et al., 2014a) มีรายงานที่ข้าวมีสีมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณแอนโทไซยานินกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Goufo & Trindade, 2014; Shao et al., 2014b; Srisorn et al., 2020) รวมถึงมีการศึกษาข้าวพื้นเมืองในประเทศไทยที่พบว่ามีศักยภาพในการพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณสารฟีนอลิกและแอนโทไซยานินสูง (Poopaka, 2016; Tolumdab et al., 2024) นอกจากนี้ยังมีการนำข้าวมีสีไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และขนมขบเคี้ยว ซึ่งสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ได้ (Evangelista & Schönlechner, 2025) เมื่อข้าวผ่านการขัดสีจะเกิดผลพลอยได้คือข้าวหักซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำและมักจำหน่ายในราคาถูกหรือนำไปเป็นอาหารสัตว์ การนำข้าวหักมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน อีกทั้งข้าวหอมบอนเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีเอกลักษณ์ด้านกลิ่นหอมและคุณค่าทางโภชนาการ (Songkrait et al., 2024) แต่ก็มีข้อมูลเกี่ยวกับข้าวหอมบอนไม่มากนัก

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่โดยเฉพาะขนมปังเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยทั่วไปใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งมีโปรตีนกลูเตนที่ช่วยสร้างโครงสร้างและความขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามแนวโน้มการบริโภคของกลุ่มคนรักสุขภาพในปัจจุบันให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบท้องถิ่นและผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตนมากขึ้น การนำแป้งจากข้าวมาทดแทนแป้งสาลีจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ แต่การลดปริมาณกลูเตนอาจทำให้คุณภาพของขนมปังเปลี่ยนแปลงไป เช่น ทำให้ปริมาตรลดลงและเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น (Onyango et al., 2011; Houben et al., 2012) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะสารแอนโทไซยานิน และกิจกรรม

การด้านอนุมูลอิสระของข้าวหอมบอน รวมถึงศึกษาศักยภาพในการนำแป้งข้าวหอมบอนมาทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวหัก และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากข้าวหอมบอน ซึ่งเป็นผลผลิตที่เพาะปลูกได้ในท้องถิ่นอย่างเหมาะสม และสามารถนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์สร้างรายได้เสริมให้ชุมชนต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมตัวอย่างข้าวหอมบอน

ข้าวหอมบอนเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน ได้รับมาจากเกษตรกรในบริเวณพื้นที่ตำบลพ่วงพรมคร อำเภอกะเนียง จ.จังหวัดสุราษฎร์ธานี ทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ ข้าวกล้อง ข้าวขัดสี และข้าวหัก (เป็นข้าวที่ผ่านการขัดสี มีข้าวเมล็ดเต็มไม่เกินร้อยละ 5) (Figure 1) สุ่มตัวอย่างจำนวนอย่างละ 1 กิโลกรัม นำมาล้างน้ำ 1 ครั้ง จากนั้นนำมาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-11 (dry basis) แล้วนำมาบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35 mesh (จะได้เป็นแป้งข้าวหอมบอน) เก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิทเพื่อรอการวิเคราะห์



Figure 1 Characteristic forms of Hom-Bon rice.

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีข้าวหอมบอน

นำตัวอย่างข้าวที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ตามวิธี AOAC (2000) ได้แก่ ไขมัน เถ้า ความชื้น โยอาหารที่ละลายน้ำ และโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจากผลต่าง : คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 - [โปรตีน (%) + ไขมัน (%) + เถ้า (%) + ความชื้น (%)] โยอาหารทั้งหมดคำนวณจากผลรวม : โยอาหารทั้งหมด = โยอาหารที่ละลายน้ำ + โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และปริมาณแอมิโลสวิเคราะห์ตามวิธีของ Juliano (1971) โดยชั่งตัวอย่าง 100 มิลลิกรัม ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมนีโอทานอล (95%) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล จากนั้นให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดนาน 10 นาที เพื่อให้แป้งละลาย ทำใหเย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร ดูดสารละลายแบ่ง 5 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับกรดแอสติค 1 นอร์มอล และสารละลายไอโอดีน จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Lambda 365 ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร แล้วคำนวณปริมาณแอมิโลสโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (standard curve)

3. การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (phytochemicals)

วิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ วิตามินอี โดยวิธี In-house method วิเคราะห์ด้วยเครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน α -Tocopherol ใช้เมทานอลและแอซีโทไนไตรล์ในอัตราส่วน 50:50 (v/v) เป็นตัวทำละลายในการชะหรือแยกตัวอย่างด้วยอัตราการใช้ 1 มิลลิลิตรต่อนาที และรายงานผลเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง แอนโทไซยานินเตรียมตัวอย่างวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูปของ Cyanidin-3-O-glucoside equivalent (in-house method; Adapted from Lee et al., (2005)) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ดัดแปลงจาก Singleton et al., (1999) โดยชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 10 กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอล (80%) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นกรองส่วนผสมผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 แล้วนำส่วนของเหลวที่กรองได้ไประเหยตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนแห้ง เก็บส่วนของแข็งนั้นไปวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และรายงานผลในรูปสมมูลกรดแกลลิก (gallic acid equivalents: GAE)

4. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีการของ Hatano et al., (1988) เตรียมสารสกัดให้มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง และผสมกับสารละลาย DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl ความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ในเมทานอล) ปริมาตร 3.90 มิลลิลิตร แล้วเก็บส่วนผสมไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และนำผลที่ได้ไปคำนวณ

5. การศึกษาปริมาณของแป้งข้าวหอมบอนที่เหมาะสมในการผลิตขนมปัง

นำแป้งข้าวหอมบอนที่ได้จากข้าวหักมาศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีโดยทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด โดยร้อยละ 0 คือ สูตรควบคุม (ใช้แป้งสาลีล้วน) สูตรการทดลองทั้งหมด 4 สูตร ดัง (Table 1) โดยมีขั้นตอนการเริ่มจากร่อนผสมแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมบอนเข้าด้วยกัน ใส่ส่วนผสมทั้งหมดลงในเครื่องนวดผสม (ยี่ห้อ KitchenAid รุ่น 5K5SSWH ประเทศสหรัฐอเมริกา) ใช้หัวตีแบบตะขอนวดผสมเป็นเวลา 15 นาที จนได้ก้อนโด นำไปบ่มด้วยตู้บ่มโด (ยี่ห้อ Semon รุ่น Si-PF15 ประเทศจีน) ที่อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 75-85 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แบ่งก้อนโดให้มีน้ำหนักก้อนละ 90 กรัม จำนวน 4 ก้อน คลึงแป้งเป็นแผ่นแล้วม้วนเป็นก้อนกลมใส่ลงในพิมพ์เบอร์ 7 ขนาด $9.50 \times 18.50 \times 7.50$ เซนติเมตร จนได้จำนวน 4 ก้อน แล้วบ่มต่ออีกครั้งเป็นเวลา 30 นาที จนก้อนโดขึ้นฟู ทาหน้าด้วยไข่ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 นำเข้าอบในตู้อบ (ยี่ห้อ Semon รุ่น Si-CO12E ประเทศจีน) ที่อุณหภูมิ 180 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จนสุกมีสีเหลืองทอง จากนั้นนำขนมปังออกจากตู้อบ แล้วพักไว้ให้เย็น บรรจุในถุงพลาสติก ปิดสนิทเพื่อรอการวิเคราะห์

6. การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพขนมปัง

6.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธีการ AOAC (2000) โดยชั่งตัวอย่างจำนวน 1 กรัม ลงในถ้วยออลูมิเนียม ที่ผ่านการอบไล่ความชื้นจนทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้น

Table 1 Ingredients used to produce one loaf of bread.

ingredients	percentage of Hom-Bon rice flour replacement			
	0% (control)	15%	30%	45%
wheat flour (g)	200	170	140	110
Hom-Bon rice flour (g)	0	30	60	90
dry yeast (g)	4	4	4	4
sugar (g)	30	30	30	30
margarine (g)	16	16	16	16
salt (g)	2	2	2	2
milk powder (g)	10	10	10	10
egg (g)	10	10	10	10
water (g)	130	130	130	130

source: adapted from Sungin & Pongtong (2022).

6.2 วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, a_w)

วิเคราะห์ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (water activity meter; ยี่ห้อ Aqualab รุ่น Series 3TE ประเทศสหรัฐอเมริกา) เตรียมตัวอย่างโดยหั่นขนมปังให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วใส่ให้เต็มตามรอยขีดขอบของภาชนะ ใส่ภาชนะที่มีตัวอย่างแล้วเข้าไปในช่องใส่ตัวอย่าง รอเครื่องประมวลผลวัดค่า (adapted from the supplier manual)

6.3 วิเคราะห์ปริมาตรและความหนาแน่น

วิเคราะห์ด้วยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำ (Hathorn et al., 2008) ซึ่งนำหนักตัวอย่างก้อนขนมปัง วัดปริมาตรภาชนะ ด้วยการใส่ให้เต็มภาชนะ แล้ววัดงาด้วยกระบอกตวง จะได้เป็นปริมาตรภาชนะ ใส่ขนมปังในภาชนะนั้น แล้วเติมลงไปให้เต็มภาชนะ (ไม่ให้เหลือช่องว่างในภาชนะ) แล้ววัดปริมาตรงาที่เติมลงไป คำนวณปริมาตร (cm^3), ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g) และความหนาแน่น (g/cm^3) จากสมการ

$$\text{ปริมาตรขนมปัง } (\text{cm}^3) = \text{ปริมาตรภาชนะ} - \text{ปริมาตรงาที่เติมลงในภาชนะ}$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ } (\text{cm}^3/\text{g}) = \text{ปริมาตรขนมปัง} / \text{น้ำหนักขนมปัง}$$

$$\text{ความหนาแน่น } (\text{g}/\text{cm}^3) = \text{น้ำหนักขนมปัง} / \text{ปริมาตรขนมปัง}$$

6.4 วัดค่าสี

วัดค่าสีระบบ CIE (lightness, L^* ; red-green, a^* ; yellow-blue, b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-400 ประเทศญี่ปุ่น) ปรับเทียบเครื่อง (calibration) ด้วยแผ่นมาตรฐานสีขาว ตัดชิ้นตัวอย่างขนมปัง (ตัดขอบสีน้ำตาลออก) ขนาดประมาณ $2.50 \times 2.50 \times 2.50$ เซนติเมตร³ ใส่ลงในถ้วยพลาสติก และส่วนหัววัดบนตัวอย่างในแนวตั้ง บันทึกค่าที่วัดได้

6.5 วัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง (adapted from AACC International, 2000) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (ยี่ห้อ Brookfield รุ่น CT3 ประเทศสหรัฐอเมริกา) ขนาด load cell 1,000 กรัม test type แบบ TPA โดยใช้หัววัด cylindrical probe (TA4/1000) ใช้ตัวอย่างขนมปัง (ตัดขอบสีน้ำตาลออก) ขนาดประมาณ $2.50 \times 2.50 \times 2.50$ เซนติเมตร³ วางตรงกลาง

ฐานรองตัวอย่าง ตั้งค่า tigger load 10g, test speed 1mm/s และ pre-test speed 2mm/s โดยวัดค่าความแข็ง (hardness cycle 1) ความยืดหยุ่น (springiness) ความเหนียว (gumminess) และความเคี้ยวง่าย (chewiness)

7. การทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม

นำขนมปัง (ตัดขอบสีน้ำตาลออก) หั่นเป็นแผ่นขนาด $3 \times 3 \times 1.50$ เซนติเมตร³ ทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมีอายุระหว่าง 18-45 ปี จำนวน 30 คน เพื่อประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรสชาติ ความนุ่ม และความชอบรวม ให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point hedonic scale ในช่วง 1-9 โดยคะแนนระดับ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และระดับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

8. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของขนมปังระหว่างการเก็บรักษา

นำส่วนผสมขนมปังข้าวหอมมะลิที่ได้รับการยอมรับในข้อ 7 เติมน้ำเกลือโพธิ์โพธิ์ไอออนร้อยละ 0.20 (Ministry of Public Health, 2018) เป็นวัตถุดิบเสียเปรียบเทียบกับสูตรไม่ใส่วัตถุดิบเสีย โดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (PE) ขนาด 10×15 นิ้ว ปิดผนึกปากถุง เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) สุ่มตัวอย่างจากถุงจำนวน 10 กรัม ตรวจจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราทั้งหมด (U.S. Food and Drug Administration, 2025) ทุก ๆ 3 วัน ยุติการทดลองเมื่อจำนวนจุลินทรีย์เกินมาตรฐานที่กำหนด

9. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ยกเว้นค่าเนื้อสัมผัสวัดค่าจำนวน 10 ซ้ำ และทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม จำนวน 30 คน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Version 21)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหอมมะลิ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวหอมมะลิ 3 รูปแบบ ได้แก่ ข้าวกล้อง ข้าวขัดสี และข้าวหัก ดัง (Table 2) พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณไขมัน (1.48g/100g) เกล็ด (1.15g/100g) และใยอาหารทั้งหมด (4.10g/100g) สูงกว่าข้าวขัดสีและข้าวหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังมีวิตามินอี (0.49mg/100g) แอนโทไซยานิน (85mg/kg) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (119.93mg GAE/100g) สูงกว่า สอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (26.89mg GAE/100g) ที่เพิ่มขึ้น ข้าวขัดสีมีปริมาณแอมิโลส 33.21 กรัมต่อ 100 กรัม จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (มีแอมิโลสมากกว่าร้อยละ 25) มักมีลักษณะแข็งและเปราะ มีแนวโน้มที่จะแตกหักได้ง่ายในระหว่างการบดข้าว (Juliano & Tuan, 2019) ดังนั้นข้าวหักจึงมีส่วนของเอนโดสเปิร์มที่แตกหักปะปนมาจึงทำให้มีแอมิโลส (34.44g/100g) สูงกว่าข้าวขัดสีและข้าวกล้อง ปริมาณแอมิโลสในข้าวหอมมะลิขัดสีที่วิเคราะห์ได้มีค่า 33.21g/100g สูงกว่า 21.58g/100g ที่รายงานไว้โดย Songkairat et al., (2024) อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก และวิธีการทดสอบเป็นต้น ข้าวหักที่มีปริมาณเถ้าต่ำกว่าข้าวขัดสีอาจเป็นไปได้อาสาเอนโดสเปิร์มมีมากกว่าจึงมีแร่ธาตุต่ำกว่าข้าวกล้อง และข้าวขัดสี ไขมัน ใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ วิตามินอี แอนโทไซยานิน และสารฟีนอลิก ส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ชั้นรำข้าวและจมูกข้าว (Slavin, 2004; Park et al., 2018; Juliano & Tuan, 2019) เมื่อข้าวผ่านการขัดสีจึงสูญเสียสารเหล่านี้ไปพร้อมกับรำข้าวและจมูกข้าวทำให้คุณค่าทางโภชนาการในข้าวขัดสีและข้าวหักลดลง แม้ว่าข้าวหักมีปริมาณ

ใยอาหารที่สูงกว่าข้าวขัดสี แต่พบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบางชนิด ได้แก่ วิตามินอีและแอนโทไซยานิน มีปริมาณลดลง การแตกหักของเมล็ดข้าวอาจเร่งการสูญเสียวิตามินอีและแอนโทไซยานิน เนื่องจากมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนมากกว่า (Shao et al., 2014b; Juliano & Tiaño, 2019) สอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีค่าลดลง ส่วนข้าวหัก อาจมีเศษของชั้นรำข้าวปะปนอยู่บางส่วน จึงทำให้ตรวจพบใยอาหารในระดับที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขัดสี

Table 2 Chemical composition, phytochemicals and antioxidant activity of Hom-Bon rice.

characteristic (dry basis)	Hom-Bon rice		
	brown rice	polished rice	broken rice
chemical composition			
protein (N×5.95) (g/100g)	9.88±0.16 ^b	9.63±0.05 ^b	8.87±0.17 ^a
fat (g/100g)	1.48±0.04 ^b	0.81±0.05 ^a	0.76±0.03 ^a
moisture (g/100g)	10.50±0.12 ^b	10.25±0.09 ^{ab}	10.11±0.22 ^a
Ash (g/100g)	1.15±0.09 ^c	0.80±0.02 ^b	0.54±0.01 ^a
carbohydrate (g/100g)	76.99±0.23 ^a	78.5±0.21 ^b	79.83±0.20 ^c
total dietary fiber (g/100g)	4.10±0.48 ^c	1.90±0.10 ^a	3.49±0.21 ^b
soluble dietary fiber (g/100g)	1.71±0.13 ^c	0.74±0.02 ^a	1.13±0.11 ^b
insoluble dietary fiber (g/100g)	2.39±0.35 ^b	1.17±0.09 ^a	2.36±0.25 ^b
amylose (g/100g)	31.53±0.08 ^a	33.21±0.15 ^b	34.44±0.33 ^c
phytochemicals			
vitamin E (alpha-tocopherol) (mg/100g)	0.49±0.02 ^c	0.18±0.01 ^b	0.10±0.01 ^a
anthocyanin (Eq. cyanidin-3-O-glucoside) (mg/kg)	85.00±0.29 ^c	33.12±0.09 ^b	20.49±0.23 ^a
total phenolic content (mg GAE/100g)	119.93±0.46 ^b	64.10±0.62 ^a	65.09±0.43 ^a
antioxidant activity			
DPPH activity (mg GAE/100g)	26.89±1.19 ^c	7.97±0.08 ^b	4.53±0.03 ^a

note: values with different superscripts within the same row are significantly different (p<0.05).

2. ผลการศึกษาปริมาณของแป้งข้าวหอมบอนที่เหมาะสมในการผลิตขนมปัง

การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังโดยศึกษาปริมาณร้อยละของแป้งข้าวหอมบอนทดแทนแป้งสาลี ได้แก่ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 15, 30 และ 45 ของน้ำหนักแป้ง พบว่าขนมปังสูตรควบคุม (ใช้แป้งสาลีล้วน) มีลักษณะเนื้อขนมปังที่ฟู สีขาว รูพรุนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เบาสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่มีค่าต่ำ ดัง (Table 3) แสดงว่าโครงสร้างโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลีมีความสมบูรณ์ สามารถกักเก็บก๊าซได้ดี เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมบอนในระดับ ร้อยละ 15 ขึ้นไป สังเกตได้ว่าเนื้อขนมปังเริ่มมีสีเข้มขึ้น และเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น รูพรุนมีขนาดเล็กลง เนื่องจากแป้งข้าวหอมบอนไม่มีกลูเตนที่เป็นโครงสร้างหลักในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมักของยีสต์ จึงทำให้โครงข่ายของขนมปังไม่สามารถขยายตัวได้เท่าที่ควร (Onyango et al., 2011; Houben et al., 2012) ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 30 และ 45 เนื้อขนมปังมีสีเข้มขึ้นอย่างชัดเจน มีลักษณะเนื้อขนมปังแน่น ทึบ และรูพรุนลดลง โดยเฉพาะการทดแทนที่ร้อยละ 45 พบว่าขนมปังเริ่มมีการยุบตัวของเนื้อใน ดัง (Figure 2)

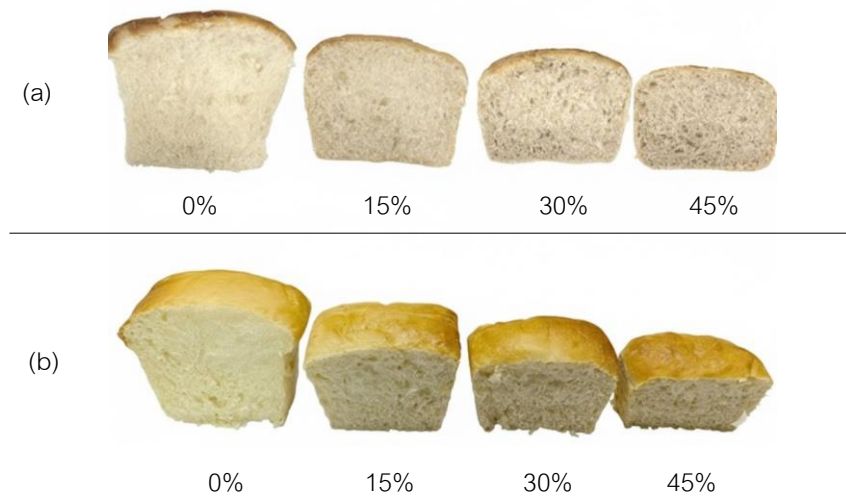


Figure 2 Appearance of bread substituted with different levels of Hom-Bon rice flour; (a) Bread slices, (b) Bread loaves.

3. ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพขนมปัง

การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมบอนในระดับร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 พบว่ามีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 37.59-39.92 (Table 3) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมบอนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่า a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.90-0.94 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมบอนเพิ่มขึ้นเช่นกัน Alcântara et al., (2020) รายงานว่าการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและการเคลื่อนย้ายของน้ำภายในโดระหว่างการอบ การใช้แป้งข้าวทำให้การถ่ายเทความร้อนไปยังบริเวณกึ่งกลางของโดลดลง จึงมีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์ระเหยน้ำออกได้น้อย ความชื้นภายหลังจากอบจึงมีค่าสูงปริมาณจำเพาะของขนมปังพบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งข้าวหอมบอน ขณะที่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยสูตรควบคุมมีค่าปริมาณจำเพาะสูงที่สุดคือ $3.55\text{cm}^3/\text{g}$ และมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ $0.28\text{g}/\text{cm}^3$ ส่วนสูตรที่ทดแทนแป้งข้าวหอมบอนร้อยละ 45 มีค่าปริมาณจำเพาะต่ำสุดคือ $2.24\text{cm}^3/\text{g}$ และมีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ $0.45\text{g}/\text{cm}^3$ การลดลงของปริมาณจำเพาะและการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นเกิดจากการลดลงของปริมาณกลูเตน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างโครงสร้างสามมิติที่กักเก็บก๊าซระหว่างการหมัก (Hathorn et al., 2008) ทำให้ขนมปังมีการขยายตัวน้อยลงจึงมีปริมาตรลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Supakot et al., (2020) ที่รายงานว่าการลดปริมาณกลูเตนในขนมปังทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลงและทำให้เนื้อสัมผัสมีความแน่นเพิ่มมากขึ้น การขยายตัวที่น้อยลงของขนมปังทำให้น้ำระเหยออกไปได้ยากกว่าค่าความชื้นและ a_w จึงมีค่าสูง

ขนมปังที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมบอน พบว่าเมื่อมีการทดแทนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง และค่าสีแดง (a^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ (Table 3) มีผลมาจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุให้สีแดง-สีม่วงในข้าวหอมบอน สอดคล้องกับการศึกษาของ Weenuttranon et al., (2024) ที่รายงานว่าการใช้แป้งข้าวมีสี (ข้าวไรซ์เบอร์รี่) ทดแทนในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากแป้ง มีผลให้ความสว่างลดลงและเพิ่มความเป็นสีแดงให้กับผลิตภัณฑ์

Table 3 Chemical and physical properties of bread substituted with different levels of Hom-Bon rice flour.

substitution level (%)	moisture (%; wet basis)	water activity (a_w)	specific volume (cm^3/g)	density (g/cm^3)	color values		
					L^*	a^*	b^*
0	37.59±1.24 ^a	0.90±0.00 ^a	3.55±0.09 ^d	0.28±0.01 ^a	76.99±1.28 ^d	0.19±0.19 ^a	15.70±1.17 ^{ns}
15	39.80±0.47 ^b	0.91±0.00 ^b	3.19±0.27 ^c	0.32±0.03 ^{ab}	73.41±1.00 ^c	0.93±0.20 ^b	15.24±0.62
30	39.87±0.55 ^b	0.91±0.00 ^b	2.64±0.12 ^b	0.38±0.02 ^b	71.60±0.84 ^b	1.49±0.39 ^c	14.99±0.22
45	39.92±0.37 ^b	0.94±0.00 ^c	2.24±0.29 ^a	0.45±0.06 ^c	68.06±0.39 ^a	2.73±0.12 ^d	14.48±0.33

note: values with different superscripts within the same column are significantly different ($p < 0.05$); ns = not significantly different ($p \geq 0.05$).

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมบอน พบว่าค่าความแข็งของขนมปังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งข้าวหอมบอน ดัง (Table 4) จากสูตรควบคุมที่มีค่าเฉลี่ย 186.75g เพิ่มเป็น 350.88g ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 45 แสดงว่าการเพิ่มแป้งข้าวหอมบอนทำให้เนื้อขนมปังมีความแน่นและแข็งมากขึ้นสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่วัดได้ ค่าความยืดหยุ่น พบว่ามีแนวโน้มลดลง โดยสูตรควบคุมมีค่าเฉลี่ย 7.70mm ขณะที่สูตรทดแทนแป้งข้าวหอมบอนมีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ในช่วง 6.48-6.67mm ปริมาณกลูเตนที่น้อยลงทำให้ขนมปังมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นน้อยลง ส่วนค่าความเหนียว และความเคี้ยวง่าย มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แม้จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตาม ค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นและค่าความยืดหยุ่นที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างขนมปังมีความแน่นเพิ่มขึ้น พบได้ทั่วไปในผลิตภัณฑ์ที่ลดกลูเตน (Arendt & Dal Bello, 2008; Sciarini et al., 2010)

Table 4 Textural properties of bread substituted with different levels of Hom-Bon rice flour.

substitution level (%)	hardness Cycle 1 (g)	springiness (mm)	gumminess (g)	chewiness (mJ)
0	186.75±54.99 ^a	7.70±0.67 ^b	107.88±26.40 ^{ns}	7.99±2.54 ^{ns}
15	228.25±77.10 ^a	6.67±0.67 ^a	112.25±37.41	7.44±2.99
30	250.37±94.60 ^a	6.64±0.65 ^a	117.50±46.06	7.64±3.71
45	350.88±42.95 ^b	6.48±0.72 ^a	140.88±18.41	9.19±1.38

note: values with different superscripts within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$); ns: not significantly different.

4. ผลการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม

การทดสอบคะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิม พบว่าการทดแทนแป้งข้าวหอมบอนมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบขนมปังสูตรควบคุมด้านลักษณะปรากฏในระดับชอบมากถึงมากที่สุด (8.10 คะแนน) และลดลงตามระดับการทดแทนที่เพิ่มขึ้น สูตรที่ทดแทนแป้งข้าวหอมบอนร้อยละ 45 ได้คะแนนระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.40 คะแนน) ดัง (Table 5) เกิดจากขนาดรูพรุนของขนมปังที่เปลี่ยนแปลงไป ด้านสีและกลิ่นมีแนวโน้มลดลงตามระดับการทดแทนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ด้านกลิ่นรสและรสชาติพบว่าคะแนนความชอบด้านรสชาติของขนมปังลดลงเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งข้าวหอมบอน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพและความรู้สึกโดยรวมขณะรับประทาน ได้แก่ เนื้อสัมผัสที่แน่นและขึ้นมากขึ้น กลิ่นหอมจากการอบลดลง รวมถึงรสชาติที่แตกต่างจากขนมปังที่เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม จึงทำให้คะแนนความชอบในด้านกลิ่นรสและรสชาติลดลงเมื่อเพิ่มระดับแป้งข้าวหอมบอน โดยสูตรควบคุมได้คะแนน 7.67 และ 7.90 คะแนน ส่วนสูตรที่ทดแทนร้อยละ 45

ได้คะแนน 5.77 และ 5.73 คะแนน ตามลำดับ ส่งผลให้ความนุ่มและความชอบรวมมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยสูตรควบคุมได้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุด (8.27 คะแนน) และสูตรที่ทดแทนร้อยละ 45 ได้คะแนนต่ำสุด (5.47 คะแนน) ซึ่งสอดคล้องกับผลคุณภาพทางกายภาพที่พบว่า ปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มการทดแทนแป้งข้าวหอมบอน ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังแน่นและแข็งขึ้น จึงลดความนุ่มและความชอบรวมของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามพบว่าสูตรทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมบอนร้อยละ 15 ได้คะแนนความชอบรวมในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (7.33 คะแนน) ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมที่สุด ขณะที่สูตรทดแทนร้อยละ 30 และ 45 มีคะแนนลดลงอย่างต่อเนื่อง ผู้บริโภคเริ่มรู้สึกถึงความแตกต่างของเนื้อสัมผัสที่แข็งเกินไป ดังนั้นการใช้แป้งข้าวหอมบอนร้อยละ 15 จึงเหมาะสมที่สุดที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีเพื่อให้ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

Table 5 Sensory evaluation of bread substituted with different levels of Hom-Bon rice flour.

characteristics	substitution level (%)			
	0	15	30	45
appearance	8.10±0.80 ^d	7.57±0.90 ^c	6.97±0.81 ^b	6.40±1.33 ^a
color	7.97±1.00 ^d	7.67±1.06 ^{bd}	7.23±0.86 ^b	6.60±1.40 ^a
odor	7.87±0.97 ^c	7.17±1.05 ^b	7.03±1.19 ^b	6.43±1.36 ^a
flavor	7.67±0.96 ^c	7.07±0.64 ^b	6.63±1.19 ^b	5.77±1.36 ^a
taste	7.90±1.06 ^c	7.03±1.19 ^b	6.07±0.94 ^a	5.73±1.41 ^a
softness	7.90±1.06 ^d	7.20±1.06 ^c	5.87±1.33 ^b	4.87±1.59 ^a
overall liking	8.27±0.91 ^d	7.33±1.06 ^c	6.27±0.83 ^b	5.47±1.25 ^a

note: values with different superscripts within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

5. ผลการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของขนมปังระหว่างการเก็บรักษา

นำขนมปังที่ระดับทดแทนแป้งข้าวหอมบอนร้อยละ 15 มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากมีความชอบรวมใกล้เคียงกับสูตรควบคุม เดิมแคลเซียมโพรฟิไอเนตเป็นวัตถุกันเสียเปรียบเทียบกับสูตรไม่ใส่วัตถุกันเสีย พบว่าในวันแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0) ขนมปังทั้ง 2 สูตร มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ต่ำกว่า 10CFU/g แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่ผลิตมีความสะอาดและปลอดภัยต่อการบริโภคในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา ดัง (Table 6) เมื่อเก็บครบ 3 วัน ขนมปังที่ไม่ใส่วัตถุกันเสียมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 9.1×10^3 CFU/g และยีสต์และรา 65CFU/g ในขณะที่ขนมปังที่ไม่ใส่วัตถุกันเสียมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพียง 5.10×10^2 CFU/g และยีสต์และรา 7.50CFU/g และภายหลังเก็บรักษาครบ 6 วัน ขนมปังที่ไม่ใส่วัตถุกันเสียพบว่ามีเชื้อราเกิดขึ้น 6 จุด (มองเห็นด้วยตาเปล่า) มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่า 1×10^4 CFU/g และยีสต์และรามากกว่า 100CFU/g เกินมาตรฐานที่กำหนด (Department of Medical Sciences, 2017) ที่ระบุไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในขนมอบที่ไม่มีใส่ พบไม่เกิน 1×10^4 CFU/g ยีสต์และรา ไม่เกิน 100CFU/g ส่วนขนมปังที่ไม่ใส่วัตถุกันเสียพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 7.10×10^3 CFU/g และยีสต์และรา 80CFU/g ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ขนมปังทั่วไปมีอายุการเก็บรักษาด้านเนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูงประมาณร้อยละ 35-45 มีค่า a_w ประมาณ 0.90-0.96 ซึ่งทั้งปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่างก็เป็นปัจจัยที่สำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเติบโต และใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ (Ayub et al., 2003; Omorodion & Oviwighoyovwe, 2022) แคลเซียมโพรฟิไอเนตเป็นวัตถุกันเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ เนื่องจากสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดได้ดี (Garcia & Copetti, 2019; Stopforth & Kudron, 2021) การใช้วัตถุกันเสียในปริมาณที่เหมาะสมตามข้อกำหนดสามารถ

ชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของขนมปังได้ ขนมปังที่ใส่วัตถุกันเสียจึงเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ประมาณ 6 วัน ส่วนขนมปังไม่ใส่วัตถุกันเสียเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ประมาณ 3 วัน

Table 6 Microbiological changes of bread substituted with 15% Hom-Bon rice flour during storage.

storage period (days)	bread without preservative		bread with preservative	
	total plate count	yeast and mold	total plate count	yeast and mold
	(CFU/g)	(CFU/g)	(CFU/g)	(CFU/g)
0	<10	<10	<10	<10
3	9.1×10^3	65	5.1×10^2	7.5
6	$>1 \times 10^4$	>100	7.1×10^3	80

สรุป

ข้าวหอมบอนโดยเฉพาะในรูปแบบข้าวกล้อง มีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง และการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวขัดสี และข้าวหัก การนำแป้งข้าวหอมบอนจากข้าวหักไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังมีผลต่อโครงสร้างและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการลดลงของกลูเตนทำให้ปริมาตรจำเพาะลดลง เนื้อสัมผัสแน่นขึ้น แข็งขึ้น และความยืดหยุ่นลดลง ด้านการทดสอบชิม พบว่าการเพิ่มระดับแป้งข้าวหอมบอนทำให้คะแนนความชอบลดลง โดยเฉพาะในด้านเนื้อสัมผัส อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมบอนในระดับร้อยละ 15 เป็นระดับที่เหมาะสม เนื่องจากยังคงคุณภาพใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุมและได้คะแนนในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก นอกจากนี้การใช้แคลเซียมโพรฟิไอเนตสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังได้ โดยสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้นานถึง 6 วัน ควรขยายการศึกษาด้านคุณค่าทางโภชนาการของขนมปังและบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยยืดอายุการเก็บ นำมาใช้จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ประสานงาน อพ.สธ.-มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่ได้สนับสนุนโครงการการแปรรูปข้าวหอมบอนมาโดยตลอด ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนเกษตบ้านห้วยลึก รวมทั้งบุคลากรทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและอนุเคราะห์สิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อประโยชน์ต่อการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AACC International. (2000). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists* (10th ed.). Method 74-09.01. American Association of Cereal Chemists.
- Alcântara, R. G. de, Carvalho, R. A. de, & Vanin, F. M. (2020). Evaluation of wheat flour substitution type (corn, green banana and rice flour) and concentration on local dough properties during bread baking. *Food Chemistry*, 326, 126972. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126972>
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17th ed.). The Association of Official Analytical Chemists.

- Arendt, E. K., & Dal Bello, F. (2008). *Gluten-free cereal products and beverages*. Academic Press.
- Ayub, M., Wahab, S., & Durrani, Y. (2003). Effect of water activity (a_w), moisture content and total microbial count on the overall quality of bread. *International Journal of Agriculture & Biology*, 5(3), 274-278.
https://www.fspublishers.org/published_papers/26447_.pdf
- Chairperson of Ban Huai Luek Agricultural Community Enterprise. (2025). *Interview on the traditional wisdom of Hom-Bon rice cultivation using the "Nham Khao" method*. (Personal interview, March 10, 2025). (in Thai)
- Department of Medical Sciences. (2017). *Department of Medical Sciences announcement: Microbiological quality standards of food and food contact surfaces (No. 3) 2017 B.E.* Ministry of Public Health.
<http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/wp-content/uploads/2017/Publish/e-book/micro-ISBN60.pdf> (in Thai)
- Division of Rice Research and Development. (2025, April 26). *Rice knowledge Bank - RKB*. Rice Department.
<https://rkb.ricethailand.go.th> (in Thai)
- Evangelista, G. C., & Schönlechner, R. (2025). Potential of pigmented rice in bread, bakery products, and snacks: A narrative review of current technological and nutritional developments. *Applied Sciences*, 15(12), 6698. <https://doi.org/10.3390/app15126698>
- Garcia, M. V., & Copetti, M. V. (2019). Alternative methods for mould spoilage control in bread and bakery products. *International Food Research Journal*, 26(3), 737-749.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20193513213>
- Goufo, P., & Trindade, H. (2014). Rice antioxidants: Phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ -oryzanol, and phytic acid. *Food Science & Nutrition*, 2(2), 75-104. <https://doi.org/10.1002/fsn3.86>
- Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T., & Okuda, T. (1988). Two new flavonoids and other constituents in licorice root: Their relative astringency and radical scavenging effects. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 36(6), 2090-2097. <https://doi.org/10.1248/cpb.36.2090>
- Hathorn, C. S., Biswas, M. A., Gichuhi, P. N., & Bovell-Benjamin, A. C. (2008). Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweet potato flour and high-gluten dough enhancers. *LWT - Food Science and Technology*, 41(5), 803-815.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.020>
- Houben, A., Höchstätter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: An overview. *European Food Research and Technology*, 235(2), 195-208.
<https://doi.org/10.1007/s00217-012-1720-0>
- Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, 16, 334-340.
https://www.researchgate.net/publication/275886661_A_Simplified_Assay_for_Milled-Rice_Amylose

- Juliano, B. O., & Tuaño, A. P. P. (2019). Gross structure and composition of the rice grain. In Bao, J. (Ed.). *Rice: Chemistry and Technology* (4th ed., pp. 31-53). Elsevier.
- Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269-1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Ministry of Public Health. (2018). *Ministry of Public Health Announcement (No. 389) 2018*. Food preservatives (Issue 5). <https://food.fda.moph.go.th/food-law/announ-moph-389> (in Thai)
- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M. G., (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food Science and Technology*, 44(3), 681-686. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.09.006>
- Omorodion, N. J. P., & Oviwighoyovwe, P. (2022). Effect of storage conditions on the microbial and proximate composition of bread made from wheat flour and white flour. *Asian Food Science Journal*, 21(1), 21-30. <https://doi.org/10.9734/afsj/2022/v21i130397>
- Park, H. Y., Sung, J., Kim, B. S., Ha, S. K., & Kim, Y. (2018). Effect of degree of rice milling on antioxidant components and capacities. *Italian Journal of Food Science*, 30, 50-60. <https://doi.org/10.14674/IJFS-836>
- Poopaka, D. (2016). Rice landraces diversity for developing products of food supplements and functional foods in Chachoengsao province. *KKU Science Journal*, 44(3), 566-578. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ/article/view/249582> (in Thai)
- Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2010). Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food and Bioprocess Technology*, 3(4), 577-585. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0098-2>
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & Beta, T., (2014a). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science*, 59, 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.004>
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & Beta, T. (2014b). Phenolic acids, anthocyanins, and antioxidant capacity in rice (*Oryza sativa* L.) grains at four stages of development after flowering. *Food Chemistry*, 143, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.042>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Slavin, J. (2004). Whole grains and human health. *Nutrition Research Reviews*, 17(1), 99-110. <https://doi.org/10.1079/NRR200374>
- Songkrairat, A., Yaodam, K., Panitchakit, R., Churueang, P., Jitkhamen, S., Kunthong, N., Posiri, D., Plaiduang, S., Rattanasarat, A., Rakchum, P., Klinmanee, C., Kaewnango, C., Jaisong, K., Rodpai, B.,

- Sirirat, K., Jansasithorn, R., & Changsri, R. (2024). Hawm Huabawn 35 (Krabi 72), a non-glutinous rice variety. *Thai Rice Research Journal*, 15(1), 51-67. <https://li03.tci-thaijo.org/index.php/TRRJ/article/view/108/123> (in Thai)
- Srisorn, P., Boontaganon, P., Sopanangkul, A., & Terapatponchai, Y. (2020). The optimum condition of pre-gelatinized Hom Nil rice flour production by using double drum dryer. *RMUTSB Academic Journal*, 8(2), 199-214. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/247032> (in Thai)
- Stopforth, J., & Kudron, T. (2021). Sorbic acid and sorbates. In Davidson, P. M., Taylor, T. M., & David, J. R. D. (Eds.). *Antimicrobials in food* (4th ed., pp. 89-132). CRC Press.
- Sungin, P., & Pongtong, K. (2022). Substitution of wheat flour with orange sweet potato flour in bread. *Naresuan Phayao Journal*, 15(3), 96-110. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/journalup/article/view/252612> (in Thai)
- Supakot, P., Saelao, S., & Bisila, O. (2020). Replacement of wheat flour with Red Jasmine brown rice flour in bread product. *Prawarun Agricultural Journal*, 17(2), 273-287. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/article/view/248868> (in Thai)
- Tolumdab, A., Thebault Prom-u-thai, C., Pusadee, T., & Jamjod, S. (2024). Pure line selection of purple glutinous rice with high anthocyanin in grain from local rice population in Northern Thailand. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(5), 1042-1055. https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=10_6-3-48-51.pdf&id=4247&keeptrack=19 (in Thai)
- U.S. Food and Drug Administration. (2025, April 19). *Bacteriological analytical manual* (8th ed.). Revision A. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>
- Weenuttranon, J., Hirunyophat, P., Fuengkajornfung, N., Sanphom, T., Saeiam, K., Kumkoon, A., & Nachengtai, C. (2024). Development of dried wide strip noodles made from riceberry flour substituted for rice flour with silkworm pupae powder. *RMUTSB Academic Journal*, 12(2), 201-215. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/262685> (in Thai)
- Yawadio, R., Tanimori, S., & Morita, N. (2007). Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rice and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*, 101, 1616-1625. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.016>