



สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน และลักษณะทางประสาทสัมผัสของ ขนมปังแซนด์วิชที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่บางส่วน

Bioactive compounds, antioxidant activities and sensory characteristics of sandwich bread partially substituted with riceberry rice flour

สุพิชญา คำคม

สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

พระนครศรีอยุธยา 13000

Supichaya Khumkhom

Division of Home Economics, Faculty of Science and Technology,

Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya, 13000

Received: 18 October 2021/ Revised: 20 December 2021/ Accepted: 24 December 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ การต้านออกซิเดชัน และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช จากการศึกษาพบว่า แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เกลือ ความชื้น และแอมมา-ออริซานอล เท่ากับ 79.28, 8.02, 3.81, 1.55, 7.34 g/100 g และ 30.95 mg/100 g ตามลำดับ จากการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคสูงสุด ($p \leq 0.05$) มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เกลือ ความชื้น และแอมมา-ออริซานอล เท่ากับ 47.88, 8.88, 4.67, 0.85, 37.75 และ 19.15 มิลลิกรัม โดยให้พลังงานทั้งหมด 270 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม เมื่อนำแป้งสาลีมาทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่ระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักแป้งสาลีทั้งหมด พบว่าการเพิ่มระดับการทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่จากร้อยละ 0 ถึง 30 จะส่งผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ขนมปังเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่ทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระดับร้อยละ 20 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมทั้งหมด ฟลาโวนอยด์รวมทั้งหมด และแอนโทไซยานินรวมทั้งหมด เท่ากับ 115.94 mg GAE/100 g, 85.77 mg RE/100 g, 17.57 mg CyGE/100 g ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power เท่ากับ 65.43, 116.96, 139.93 mg TE/100 g และ 97.72 mg AAE/100 g ตามลำดับ

คำสำคัญ: ขนมปังแซนด์วิช แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ การต้านออกซิเดชัน สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ



Abstract

This study investigated the effects of partially substituted of wheat flours with riceberry rice flour (RBF) on the bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory acceptance of sandwich bread (SWB). RBF had the highest nutritional value with carbohydrate, protein, fat, ash, moisture and γ -oryzanol content at 79.28, 8.02, 3.81, 1.55, 7.34 g/100 g and 30.95 mg/100 g sensory evaluation, it was found that sandwich bread made from RBF in substitution of 20% wheat flour earned the highest consumer overall liking acceptance score ($p \leq 0.05$). One hundred RSWB grams of the having 20% (RBF) had proximate values of carbohydrate (47.88 g), protein (8.88 g), fat (4.67 g), ash (0.85 g), moisture (37.75 g) and γ -oryzanol (19.15 mg), with total calories (270 kcal/100 g). Partially substitution of wheat flour with Riceberry rice flour (RBF) with increasing concentration 10, 20 and 30% (by wheat flour weight) resulted higher total phenolic content, total flavonoid content, total anthocyanin content and DPPH, ABTS, and FRAP free radical scavenging capacity. Sensory evaluation showed 20% (RBF) was an optimum concentration with corresponding total phenolic content, total flavonoid content, total anthocyanin content had 115.94 mg GAE/100 g, 85.77 mg RE/100 g, 17.57 mg CyGE/100 g, respectively and DPPH, ABTS, and FRAP free radical scavenging capacity of 65.43, 116.96, 139.93 mg TE/100 g and 97.72 mg AAE/100 g, respectively.

Keywords: Sandwich bread, Riceberry rice flour, Antioxidant activities, Bioactive compounds

บทนำ

ขนมปัง (bread) จัดเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย ขนมปังแซนด์วิช (sandwich bread) หรือขนมปังปอนด์ (loaf bread) มีปริมาณไขมันร้อยละ 3 ถึง 6 และมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 10 ถึง 14 รวมทั้งยังมีรสชาติที่ดี ลักษณะของขนมปังเกิดจากการขึ้นฟูได้ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ยีสต์ผลิตขึ้นมาจากกระบวนการหมัก (fermentation) [1] ซึ่งกรรมวิธีการผลิตขนมปังได้จากการนำแป้งสาลีมาผสมกับน้ำแล้วนวดรวมกันจนได้เป็นลักษณะที่เรียกว่า โด (dough) คือ มีลักษณะเป็นก้อนสีขาวนวลหรือสีเข้มตามชนิดของแป้งที่ใช้ สามารถจับเป็นก้อนและขึ้นรูปทรงต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ จนกระทั่งนำเข้าเตาอบให้สุกจึงเรียกว่าขนมปัง มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักและส่วนผสมที่ใช้ ขนมปังมีส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้งสาลี น้ำยีสต์ และเกลือ [2] ขนมปังที่มีคุณภาพดีจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม สามารถรับประทานคู่กับเนย แยม และแซนด์วิช

สเปรตได้อย่างหลากหลาย ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบไปด้วยแป้งที่ย่อยง่าย เมื่อรับประทานไปในปริมาณที่มากส่งผลให้ดัชนีน้ำตาลในเลือดสูง (Glycemic index, GI) และส่งผลต่อสุขภาพได้ในอนาคต ซึ่งเป็นปัญหาสุขภาพที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ก่อให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่าง ๆ ได้ เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน และโรคหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น ส่วนใหญ่ขนมปังที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาดมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำและใยอาหารน้อย จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดและต้องการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับขนมปังแซนด์วิชโดยการทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

ข้าว (*Oryza sativa* L.) จัดว่าเป็นเมล็ดธัญพืชที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และเป็นอาหารหลักของประชากรกว่าครึ่งโลก แม้ส่วนใหญ่จะบริโภคข้าวขาวแต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาพันธุ์ข้าวพิเศษที่มีสารสีในส่วนองเมล็ดข้าว เช่น ข้าวดำ ข้าวสีม่วง หรือข้าวแดง ซึ่งสารสีที่เกิดขึ้นประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เรียกว่า สารแอนโทไซยานิน [3]

จากรายงานการวิจัยทางการแพทย์พบว่าสารแอนโทไซยานินนั้นมีฤทธิ์ในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน [4] ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด และเส้นเลือดอุดตันในสมอง [5] ปัจจุบันบริโภคข้าวสีเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพสูงกว่าข้าวขาว เพราะข้าวขาวที่ผ่านกระบวนการขัดสีจะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น เถ้า โปรตีน ไขมัน และใยอาหาร ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry rice) เป็นข้าวสายพันธุ์ลูกผสมระหว่างข้าวหอมนิลและข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันว่าอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวหอมนิล และข้าวหอมมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีสีที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งยังอุดมไปด้วยสารแกมมา-โอไรซานอล (γ -Oryzanol) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพตัวหนึ่งที่สำคัญและมีประโยชน์ในทางการแพทย์และทางเภสัชวิทยามากมาย [6] รวมทั้งยังมีสารในกลุ่มของแอนโทไซยานิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (Cyanidin-3-glucoside) และพีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ (Peonidin-3-glucoside) รวมทั้งยังมีสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ซึ่งจากรายงานการวิจัย พบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ เช่น ต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง ลดระดับไขมันในเลือด ต้านการอักเสบ ยับยั้งการเกิดโรคเมอริ่ง และป้องกันโรคตับ รวมทั้งปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ [7, 8] จากประโยชน์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงถูกนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายเมนู ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์เค้กึ่งจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ [9] ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ชีสข้าวไรซ์เบอร์รี่ [10] ซาลาเปาแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ [11] และโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ [12] เป็นต้น จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งในแง่ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนดวิช

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณสารแกมมา-โอไรซานอล

ของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ รวมทั้งศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน และการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนดวิช ซึ่งจากองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ในกลุ่มของขนมปัง อีกทั้งยังเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

เตรียมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่แบบไม่แห้ง ดัดแปลงวิธีการจาก นวพร [13] นำเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่มาคัดแยกสิ่งสกปรกออกและนำมาล้างทำความสะอาด จากนั้นนำมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำพอหมาดและเทลงในถาดอบ เกลี่ยเมล็ดข้าวให้กระจายตัวสม่ำเสมอ นำเข้าตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) จนเมล็ดข้าวแห้งสนิท ใช้อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปโม่แห้งด้วยเครื่องโม่แป้ง (pin mill) และร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานความละเอียดขนาด 100 เมช บรรจุใส่ถุงปิดผนึกสุญญากาศ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานในตัวอย่างแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่และผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนดวิชที่ผู้บริโภคให้การยอมรับสูงสุด

นำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่และผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนดวิชข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุดมาทำการวิเคราะห์

หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน (proximate compositions) ตามวิธี AOAC 2000 [14] ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เถ้า ความชื้น ใยอาหาร พลังงาน รวมทั้งการวิเคราะห์สารแกมมา-โอไรซานอล



3. การศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช

ทำการศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช จำนวน 4 สูตร ได้แก่ ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด โดยส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 1 กรรมวิธีการผลิตขนมปังแซนด์วิชแบบ 2 ขั้นตอน (สปันจ์โด) โดยดัดแปลงวิธีการมาจากโรงเรียนการอาหารนานาชาติสวนดุสิต [15] มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนของการเตรียมส่วนของสปันจ์ เริ่มต้นด้วยการผสมแป้งตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 (นำมาร้อยละ 70) กับยีสต์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองแขน ในขณะที่ผสมมีการเติมน้ำเย็น และนวดตีส่วนผสมนาน 10 นาที หลังจากนั้นพักก้อน สปันจ์ไว้ในตู้หมักที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 นาน 3-4 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการเตรียมโด เริ่มต้นจากการร่อนแป้ง (อีกร้อยละ 30) นมผงให้เข้ากัน

และนำน้ำตาลทราย เกลือ และน้ำเย็น มาผสมและคนให้ละลายเข้ากัน ใส่แป้งโดที่เตรียมไว้ในเครื่องนวดสองแขน ค่อย ๆ เติมส่วนผสมของเหลว จากนั้นอีกสปันจ์ใส่ในส่วนผสมโดจนจนเข้ากัน สุดท้ายเติมเนยขาวนวดผสมจนก่อนโดเนียน หลังจากนั้นพักก้อนโดในตู้หมักเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำก้อนแป้งโดออกมาไล่อากาศ ตัดแบ่งน้ำหนักคลึงเป็นก้อนกลมให้ผิวเรียบตึง พักไว้ 10 นาที จากนั้นใช้ไม้คลึงก้อนแป้งออกเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม แล้วม้วนเป็นแท่งกลมยาวเท่าพิมพ์ (ขนาด $4 \times 12 \times 3.6$ นิ้ว) ปิดตะเข็บวางในพิมพ์ที่ทาเนยขาวแล้ว หลังจากนั้นพักก้อนโดในตู้หมักประมาณ 45 นาที นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ประมาณ 30-40 นาที นำขนมปังแซนด์วิชออก พักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเข้าเครื่องสไลด์ขนมปังมีขนาดความหนา 1 เซนติเมตร และจัดเก็บใส่ถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนเพื่อนำไปวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน และการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสต่อไป

ตารางที่ 1 ส่วนผสมและปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับที่แตกต่างกัน

Ingredient	% Riceberry rice flour (RBF)			
	0 (RBF0)	10 (RBF10)	20 (RBF20)	30 (RBF30)
Sponge Method				
Bread flour (g)	300	270	240	210
Rice berry flour (g)	-	30	60	90
Cold Water (g)	165	165	165	165
Yeast (g)	3	3	3	3
Dough Method				
Bread flour (g)	200	180	160	140
Rice berry flour (g)	-	20	40	60
Milk powder (g)	20	20	20	20
Sugar (g)	25	25	25	25
Salt (g)	3	3	3	3
Cold water (g)	160	160	160	160
Shortening (g)	25	25	25	25



4. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และแอนโทไซยานินทั้งหมด ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่แข็ง

นำผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่แข็งที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 ระดับ (ร้อยละ 0-30) จากข้อ 3 นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานความละเอียด ขนาด 100 เมช และเก็บตัวอย่างผงขนมปังแช่แข็งในถุงลามิเนทกันความชื้นที่ -20 องศาเซลเซียส การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างผงขนมปังแช่แข็งตามวิธีการของ Kubola [16] โดยชั่งตัวอย่างผงขนมปังแช่แข็ง หนัก 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ร้อยละ 80 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สำหรับวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด) ในขณะที่การเตรียมสารสกัดสำหรับการวิเคราะห์แอนโทไซยานินทั้งหมด นำตัวอย่างผงขนมปังแช่แข็ง หนัก 5 กรัม มาสกัดด้วย acidified methanol (methanol: 1M HCl (85:15, ปริมาตรต่อปริมาตร)) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำตัวอย่างสารสกัดไปปั่นหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา นาน 10 นาที [17] หลังจากนั้น นำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (PerkinElmer UV/VIS spectrometer Lambda 25, USA) ตามวิธีการของ Kubola และคณะ [16] และ Belwal และคณะ [17] และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent: GAE) ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งขนมปังแช่แข็ง (mg GAE/100g) [18] และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานของรูทีน (Rutin equivalent: RE) ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของรูทีนต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งขนมปังแช่แข็ง (mg RE/100g) [19] ในขณะที่สารแอนโทไซยานินทั้งหมดคำนวณในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของไซยานิดิน 3

กลูโคไซด์ (Cyaniding-3-glucoside equivalent: CyGE) ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งขนมปังแช่แข็ง (mg CyGE/100g) [16] โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

5. การศึกษาฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่แข็ง

นำสารละลายที่สกัดได้จากข้อ 4 มาทดสอบฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, FRAP, ABTS และ Reducing power ตามวิธีการของ Kubola และคณะ [16] และ Gao และคณะ [18] และคำนวณหาฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของ Trolox (Trolox equivalent, TE) ต่อ 100 กรัมขนมปังแช่แข็ง (mg TE/100 g) และคำนวณในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid equivalent, AAE) ต่อ 100 กรัมขนมปังแช่แข็ง (mg AAE/100 g) ตามลำดับ และทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

6. การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่แข็ง

นำผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่แข็งที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด มาประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ ด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 9 (9 = ชอบมากที่สุด ถึง 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาในสาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่าง



ของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version (SPSS Inc., USA)

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ปริมาณ 100 กรัม พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 79.28 กรัม ไขมัน 3.81 กรัม โปรตีน 8.02 กรัม ความชื้น 7.34 กรัม และเถ้า 1.55 กรัม ในขณะทำการวิเคราะห์สารแกมมา-ออริซานอลในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่ามีปริมาณสารแกมมา-ออริซานอลเท่ากับ 30.95 มิลลิกรัม (ตารางที่ 2)

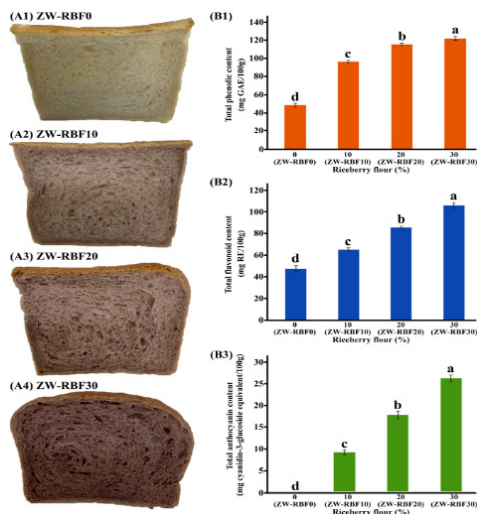
ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

Chemical composition	Rice berry flour (100 g)
Carbohydrate (g)	79.28
Fats (g)	3.81
Protein (g)	8.02
Moisture (g)	7.34
Ash (g)	1.55
γ -oryzanol (mg)	30.95

2. ผลของปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ใน 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 1 พบว่าการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 30 มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่

1B1-1B3) โดยผลิตภัณฑ์แซนด์วิชที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 49.07, 96.91, 115.95 และ 122.59 mg GAE/100 g ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.97-2.5 เท่า (ภาพที่ 1B1) และมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 47.87, 65.58, 85.77 และ 106.15 mg RE/100g ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้น 1.37-2.22 เท่า (ภาพที่ 1B2) ในขณะที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 0.00, 8.99, 17.57 และ 25.98 mg CyGE/100 g ตามลำดับ (ภาพที่ 1B3) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณการทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

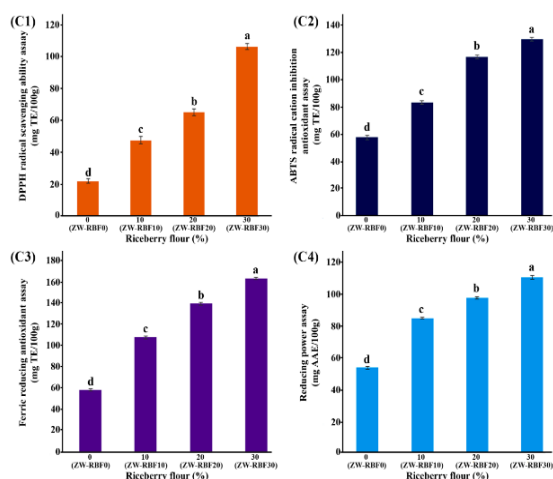


ภาพที่ 1 ผลผลิตขนมปังแช่ดวีสที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0 (A1, ZW-RBF0), 10 (A2, ZW-RBF10), 20 (A3, ZW-RBF20) และ 30 (A4, ZW-RBF30) ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (B1) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (B2) และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (B3) ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่ดวีสที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับที่แตกต่างกัน

3. ผลของปริมาณของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมต่อฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่ดวีส

ผลการทดสอบฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่ดวีสเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, FRAP, ABTS และ Reducing power โดยการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด) แสดงดังภาพที่ 2 พบว่าการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 30 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่ดวีสมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ร้อยละ 0) (ภาพที่ 2) การทดสอบฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH พบว่าผลิตภัณฑ์แช่ดวีสมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน

เพิ่มขึ้นจาก 22.33 เป็น 106.51 mg TE/100 g (ภาพที่ 2 C1) ในขณะที่การทดสอบด้วยวิธี ABTS ผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่ดวีสมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 57.71 เป็น 130.01 mg TE/100 g (ภาพที่ 2 C2) ส่วนการทดสอบด้วยวิธี FRAP เพิ่มขึ้นจาก 58.36 เป็น 163.78 mg TE/100 g (ภาพที่ 2 C3) และการทดสอบด้วยวิธี Reducing Power เพิ่มขึ้นจาก 53.66 เป็น 110.69 mg AAE/100 g (ภาพที่ 2 C4) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่ดวีสที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผันแปรตามปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ขนมปังแช่ดวีส



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันด้วยทดสอบด้วยวิธี DPPH (C1), FRAP (C2) , ABTS (C3) และ reducing power (C4) ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับที่แตกต่างกัน

4. ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับที่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 0-30) พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสได้แก่ ด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ทั้งนี้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 20 มีค่าคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสเฉลี่ยในทุกด้านสูงกว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระดับร้อยละ 0, 10 และ 30 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด และมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 8.54, 8.48, 8.95, 8.79, 8.80 และ 8.68 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับที่แตกต่างกัน

Riceberry rice flour (%)	Sensorial analysis of Sandwich using different proportions of RBF					
	Appearance	Colour	Odor	Flavor	Texture	Overall acceptance
0 (Control)	7.06±0.32b	6.94±0.47c	7.21±0.93c	7.32±0.71bc	7.22±0.56c	7.81±0.78c
10	7.11±0.53b	7.59±0.83b	7.40±0.63b	7.59±0.67b	7.58±0.65b	8.21±0.85b
20	8.54±0.38a	8.48±0.41a	8.95±0.34a	8.79±0.30a	8.80±0.21a	8.68±0.41a
30	6.44±0.52d	6.37±0.63d	6.18±1.27d	6.82±0.94d	6.98±0.71d	7.46±0.49d

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



5. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 20

ของส่วนผสมแป้งทั้งหมด หน้า 100 กรัม พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต หน้า 47.88 กรัม ไขมัน หน้า 4.67 กรัม โปรตีน หน้า 8.88 กรัม ความชื้น หน้า 37.72 กรัม เถ้า หน้า 0.85 กรัม โยอาหารทั้งหมด หน้า 1.15 กรัม และแกมมา-ออริซานอล หน้า 19.95 มิลลิกรัม (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังแซนด์วิชทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 20

Chemical composition	Riceberry bread (100 g)
Total calories (kcal)	270.00
Carbohydrate (g)	47.88
Fat (g)	4.67
Protein (g)	8.88
Moisture (g)	37.72
Ash (g)	0.85
Total dietary fiber (g)	1.51
γ -oryzanol (mg)	19.75

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ขนมปังแซนด์วิชเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ได้รับความนิยมรับประทานกันอย่างกว้างขวาง และจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งขนมปังแซนด์วิชที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปมักจะมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เพื่อนำไปใช้ในทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช พบว่าในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ หน้า 100 กรัม มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต หน้า 79.28 กรัม ไขมัน หน้า 3.81 กรัม โปรตีน หน้า 8.02 กรัม ความชื้น หน้า 7.34 กรัม และเถ้า หน้า 1.55 กรัม ซึ่งจากผลการทดลองนี้ได้ผลแตกต่างกันเล็กน้อยกับการรายงานของ Kraithong และคณะ [20] ที่มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนน้อยกว่า (77.06, 3.60 และ 7.54 กรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ Tangsrianugul และคณะ [3] ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของพันธุ์ข้าวไทยมีสี พบว่ามีปริมาณโปรตีนและไขมันมากกว่า (8.65 และ 4.35 กรัม ตามลำดับ) แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจจะเนื่องมาจากสภาพ

ภูมิประเทศของการเพาะปลูก สภาพและความอุดมสมบูรณ์ดินในพื้นที่ รวมทั้งกระบวนการผลิตแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่จากการทดลองของ Prangthipa และคณะ [8] พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวมีสีที่อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายชนิด ได้แก่ สารอัลฟา-โทโคฟีรอล แกมมา-ออริซานอล โพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน (ได้แก่ cyanidin-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside) ซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, FRAP และ ABTS [11] และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณแกมมา-ออริซานอล (γ -oryzanol) ในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่ามีสารแกมมา-ออริซานอลเท่ากับ 30.95 mg/100 g ซึ่งแกมมา-ออริซานอลเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญที่ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ป้องกันโรคเบาหวาน และป้องกันโรคมะเร็ง ดังนั้นจากการทดลองนี้ช่วยสนับสนุนการใช้วัตถุดิบแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในการทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช ซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการเพิ่มฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันอีกด้วย



การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชโดยการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 30 ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แซนด์วิชมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 49.07 เป็น 122.59 mg GAE/100 g และมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น 47.87 เป็น 106.15 mg RE/100 g ในขณะที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 0.00 เป็น 25.98 mg CyGE/100 g จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณการทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญที่พบมากในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้แก่ protocatechuic acid, ferulic acid และ cyanidin-3-glucoside สอดคล้องกับรายงานวิจัยของวิจิตร และคณะ [21] พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยหอมเขียวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 30 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเพิ่มขึ้นจาก 25.64 เป็น 35.71 mg GAE/100 g ในขณะที่ เพียรพรรณ และคณะ [22] ได้ทำการศึกษานขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องแดงที่ร้อยละ 0 ถึง 20 พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้นจาก 42.04 เป็น 61.98 mg GAE/100 g และจาก 0.00 เป็น 19.39 mg CyGE/100 g ตามลำดับ และ Ranok และคณะ [10] ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0 ถึง 100 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นจาก 292.7 เป็น 812.70 mg GAE/100 g และจาก 0.00 เป็น 387.70 mg CyGE/100 g ตามลำดับ นอกจากนี้ Langa และคณะ [23] ได้ทำการศึกษผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตนที่เตรียมจากแป้งข้าวสีต่าง ๆ ได้แก่ ข้าวสีน้ำตาล ข้าวสีดำ และข้าว

สีแดง พบว่าเค้กที่เตรียมจากข้าวสีดำมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด (550.86 $\mu\text{g/g}$) รองลงมาคือเค้กข้าวสีแดง (351.16 $\mu\text{g/g}$) และเค้กข้าวสีน้ำตาล (262.78 $\mu\text{g/g}$) ในขณะที่ Chlopicka และคณะ [24] ทำการศึกษาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในขนมปังธัญพืชที่เตรียมด้วยแป้งธัญพืช 3 ชนิดคือ แป้งบัควีท แป้งเมล็ดผักโขม และแป้งควินัว (ร้อยละ 15 และ 30 ของปริมาณส่วนผสมแป้งสาลี) พบว่าขนมปังที่ผลิตจากแป้งเมล็ดผักโขมร้อยละ 30 มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจาก 20.3 (ค่าปรับควบคุม) เป็น 34.9 $\mu\text{g/g}$ รองลง คือขนมปังบัควีทและขนมปังจากแป้งควินัวเท่ากับ 33.4 และ 28.7 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ดังนั้นจากการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าการใช้ข้าวมีสีมีศักยภาพ และเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญสำหรับการนำมาใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

การทดสอบฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระดับ (ร้อยละ 0-30) เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, FRAP, ABTS และ Reducing power พบว่าการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แซนด์วิชมีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น การทดสอบด้วยวิธี DPPH มีค่าเท่ากับ 22.33-106.51 mg TE/100g ในขณะที่การทดสอบด้วยวิธี ABTS มีค่าเท่ากับ 57.71-130.01 mg TE/100g ส่วนการทดสอบด้วยวิธี FRAP มีค่าเท่ากับ 58.36-163.78 mg TE/100g และการทดสอบด้วยวิธี Reducing Power assay มีค่าเท่ากับ 53.66-110.69 mg AAE/100g จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์แซนด์วิชที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น โดยผันแปรตามปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Junejo และคณะ [25] ได้ทำการทดสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของขนมปังเสริมผงผักโขมด้วยวิธี DPPH, FRAP และ ABTS พบว่าการทดแทนผงผักโขมในปริมาณที่

เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 3 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ร้อยละ 0) จาก 21.15 เป็น 49.45 $\mu\text{M TE}/100\text{g}$ (DPPH) จาก 210.88 เป็น 288.90 $\text{mg TE}/100\text{ g}$ (FRAP) และจาก 57.25 เป็น 78.43 $\mu\text{M TE}/100\text{ g}$ (ABTS) แสดงให้เห็นว่าการเติมผงผักโขมช่วยเสริมฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน เนื่องจากในผักโขมอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น polyphenols, lutein, lycopene, α -carotene, γ -tocopherol และ α -tocopherol รวมทั้งยังสอดคล้องกับการรายงานการวิจัยของ เพียรพรรณ และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิแดง พบว่าปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 20 มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 20.96 เป็น 42.14 $\mu\text{M TE}/100\text{ g}$

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระดับ (ร้อยละ 0-30) พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 20 เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ร้อยละ 20 มีลักษณะเนื้อสีม่วงอ่อน และมีคุณภาพใกล้เคียงกับขนมปังแซนด์วิชสูตรควบคุม รวมทั้งผู้ทดสอบชิมให้ความสนใจเกี่ยวกับประโยชน์ที่ได้รับจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งในเรื่องของปริมาณสารออกฤทธิ์และฤทธิ์ทางชีวภาพที่จะได้รับเมื่อรับประทานเข้าไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Robles-Ramírez และ Ortega-Robles [26] ซึ่งเป็นที่พึงพอใจของผู้ทดสอบทางด้านมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าผลิตภัณฑ์แซนด์วิชเนื้อสีขาว ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แซนด์วิชที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 พบว่ามีลักษณะเนื้อสีม่วงเข้มคล้ำมากเกินไป เนื้อสัมผัสมีลักษณะเนื้อแน่นมากขึ้น ผนังเซลล์และโปร่ง

อากาศเล็กกลังไม่สม่ำเสมอ ปริมาตรลดลง สาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นแป้งที่ปราศจากกลูเตน เมื่อทดแทนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้โปรตีนกลูเตนลดลง ทั้งนี้กลูเตนเป็นโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งสาลีมีสมบัติช่วยในการยืดหยุ่น และช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดรวมกับสารประกอบอื่น (binding power) รวมทั้งการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไวภายในเซลล์ลดน้อยลง [27] ส่งผลทำให้โครงสร้างของขนมปังไม่ดี ทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับน้อยสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Mau และคณะ [28] การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันเทศในผลิตภัณฑ์ขนมปังปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-15)

สรุปข้อมูลจากงานวิจัยพบว่า แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณองค์ประกอบเคมีพื้นฐานหรือสารอาหารสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและมีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันที่เหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชด้วยการทดแทนแป้งสาลี จากการวิจัยปริมาณที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ ร้อยละ 20 ได้รับคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของขนมปังแซนด์วิช หน้า 100 กรัม ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต หน้า 47.88 กรัม ไขมัน หน้า 4.67 กรัม โปรตีน หน้า 8.88 กรัม ความชื้น หน้า 37.72 กรัม เถ้า หน้า 0.85 กรัม และแอมโมเนียมไนโตรเจน หน้า 19.95 มิลลิกรัม รวมทั้งมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (115.95 $\text{mg GAE}/100\text{ g}$) ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (85.77 $\text{mg RE}/100\text{ g}$) และสารแอนโทไซยานิน (17.57 $\text{mg CyGE}/100\text{ g}$) และมีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, FRAP, ABTS และ Reducing power เท่ากับ 65.43, 116.96, 139.93 $\text{mg TE}/100\text{ g}$ และ 97.72 $\text{mg AAE}/100\text{ g}$ ตามลำดับ ดังนั้นจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชชนิดใหม่ขึ้นมา จึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน



กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Zhou W, Hui YH. Bakery products Science and Technology. 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, Ltd.; 2014.
2. Gao J, Weibiao Z. Oral processing of bread: Implications of designing healthier bread products. Trends Food Sci 2021;112:720-34.
3. Tangsrianugul N, Wongsagonsup R, Manop S. Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. Int J Biol Macromol 2019;137:666-75.
4. Dias ALDS, Pachikian B, Larondelle Y, Joëlle QL. Recent advances on bioactivities of black rice. Curr Opin Clin Nutr Metab Care 2017;20(6):470-76.
5. Junga YK, Jooa KS, Rhob SJ, Yong-Ro K. pH-dependent antioxidant stability of black rice anthocyanin complexed with cycloamylose. LWT- Food Sci Technol 2020;129:109474.
6. Wiriawattana P, Suwonsichon S, Thongchai S. Effects of drum drying on physical and antioxidant properties of riceberry flour. Agric Nat Resour 2018;52:445-50.
7. Leardkamolkarn V, Thongthep W, Suttiarporn P, Kongkachuichai R, Wongpornchai S, Apichart W. Chemo preventive properties of the bran extracted from a newly-developed Thai rice: The Riceberry. Food Chem 2011;283:978-85.
8. Prangthipa P, Surasianga R, Charoensiria R, Leardkamolkarn V, Komindrc S, Yamborisuta U, Vanavichitd A, Ratchanee K. Amelioration of hyperglycemia, hyperlipidemia, oxidative stress and inflammation in steptozotocin-induced diabetic rats fed a high fat diet by riceberry supplement. J Funct Foods 2013;5:195-03.
9. Laokuldilok N, Surin S, Nanthina D. Effect of using riceberry flour and xanthan gum on physical properties and estimated glycemic index of steamed rice cakes: optimization by D-optimal mixture design approach. J Food Sci Technol [Internet]. [cited 2021 Oct 1]. Available from <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05067-8.pdf>
10. Ranok A, Dissamal P, Kupradit C, Khongla C, Musika , Seksan M. Physicochemical properties and antioxidant activity of gluten-free riceberry-cheese cracker under simulated gastrointestinal transit. J Food Sci Technol 2021;58(7):2825-33.
11. สุพิชญ์ คำคม. ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2563;28(11):2025-38.
12. Anuyahong T, Chusak C, Sirichai A. Incorporation of anthocyanin-rich riceberry rice in yogurts: effect on physicochemical properties, antioxidant activity and in vitro gastrointestinal digestion. LWT-Food Sci Technol 2020;129: 109571.
13. นวพร หงส์พันธุ์, กิรติ เงินสมบัติ, อินทุพร รัตนพิบูลย์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอาลัวจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2562;24(2):782-94.
14. AOAC association. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, Inc.; 2000.



15. โรงเรียนการอาหารนานาชาติสวนดุสิต. หลักสูตรการฝึกอบรม 65 ชั่วโมง : ขนมปังและพาย. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต; 2554.
16. Kubola J, Siriamornpun S, Naret M. Phytochemical, vitamin C and sugar content of Thai fruits. Food Chem 2011;126:972-81.
17. Belwal T, Dhyani P, Bhatt ID, Rawal RS, Veena P. Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM). Food Chem 2016;207:115-24.
18. Gao QH, Wu PT, Liu JR, Wu CS, Parry JW, Min W. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China. Sci Hort 2011;130:67-72.
19. Shao Y, Xu F, Sun X, Bao J, Trust B. 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.). J Cereal Sci 2014;59:211-18.
20. Kraithong S, Lee S, Saroot R. Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. J Cereal Sci 2018;79:259-66.
21. วิจิตรวาทะกุล, วชิรญา เหลียวตระกูล, วรภา วงศ์แสงธรรม, รัตนา หงษ์บุญเรือง, สรวิศ สิงห์ท้วม. ผลของปริมาณแป้งกล้วยหอมเขียวทดแทนแป้งสาลีที่มีต่อคุณลักษณะของขนมปัง. วารสารวิชาการและงานวิจัย มทร. พระนคร 2564;15(1):1-13.
22. เพียรพรรณ สุภาโคตร, ศิวพร แซ่เล้า, อรวรรณ ไบศิลา. การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงในผลิตภัณฑ์ขนมปัง. วารสารเกษตรพระวรุณ 2563;17(2): 273-87.
23. Langa GH, Kringel DH, Acunha TDS, Ferreira CD, Dias ARG, Zavareze EDR, Mauricio DO. Cake of brown, black and red rice: influence of transglutaminase on technological properties, in vitro starch digestibility and phenolic compounds. Food Chem 2020;318:126480.
24. Chlopicka J, Pasko P, Gorinstein S, Jedryas A, Pawel Z. Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. LWT- Food Sci Technol 2012 ;46: 548-55.
25. Junejo SA, Rashid A, Yang L, Xu Y, Kraithong S, Yibin Z. Effects of spinach powder on the physicochemical and antioxidant properties of durum wheat bread. LWT- Food Sci Technol 2021;150:112058.
26. Robles-Ramírez MDC, Ortega-Robles E, Monterrubio-Lopez R, Mora-Escobedo R, María del Carmen BO. Barley bread with improved sensory and antioxidant properties. Int J Gastron Food Sci 2020;22:100279.
27. Ma J, Kaori F, Ma L, Gao M, Dong C, Wang J, Guangzhong L. The effects of extruded black rice flour on rheological and structural properties of wheat-based dough and bread quality. Int J Food Sci 2019; 54:1729-40.
28. Mau JL, Lee CC, Yang CW, Chen RW, Zhang QF, Sheng-Dun L. Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of bread partially substituted with aerial parts of sweet potato. LWT- Food Sci Technol 2020;117:108602.