Research Article

Received: August 8, 2019; Accepted: November 11, 2019

ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

Effect of Riceberry Flour on Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Steamed Bun

สุพิชญา คำคม*

หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ถนนปรีดี พนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

Supichaya Khumkhom*

Home Economics Program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Pridi Banomyong Road, Pratuchai, Phranakhon Si Ayutthaya 13000

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ในระดับที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของแป้งสาลี) การวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารแอนโทไซยานินทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power) สูงกว่าในแป้งสาลี 1.54-41.05 เท่า ซึ่งการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่ร้อยละ 10-50 ในสูตรซาลาเปา ส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มากถึง 9.23, 3.13 and 12.82 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้การเติมแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ไปยังแป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้น (แป้งข้าวไรซ์เบอรี่ร้อยละ 50) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power ซึ่งเพิ่มขึ้น 16.01, 8.33, 5.88 และ 5.40 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (แป้งสาลีร้อยละ 100) การวัดเนื้อสัมผัสและสีโดยการใช้เครื่อง texture analyzer (TA-XT2) และ HunterLab colorimeter ผลการศึกษาพบว่าซาลาเปามีความแข็งและค่า a* เพิ่มขึ้น และความสามารถเกาะรวมกัน ความยืดหยุ่น ค่า L* และ b* ลดลงตามปริมาณของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

คำสำคัญ : กิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ; ซาลาเปา; แป้งข้าวไรซ์เบอรี่; สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** supichaya_j@yahoo.com

Abstract

The objectives of the present study were to investigate the physicochemical properties and to assay antioxidant activities of steamed buns that substituted wheat flour with Riceberry (*Oryza sativa* L.) flour at different levels (0, 10, 20, 30, 40 and 50 % by wheat flour weight). Spectrophotometer analyses showed that the contents of total phenolic, total flavonoids, total anthocyanin and antioxidant activities (DPPH, ABTS, FRAP and reducing power) in Riceberry flour were about 1.54-41.05 folds higher than those in wheat flour. Substitution of wheat flour with 10-50 % Riceberry flour in the steamed bun formulations significantly ($p \leq 0.05$) increased total phenolic content, total flavonoid content and total anthocyanin content up to 9.23, 3.13 and 12.82-folds, respectively. Moreover, the addition of Riceberry flour to wheat flour, particularly in a high level (50 % Riceberry flour), was effective ton enhance antioxidant activities, as evaluated by means of DPPH, ABTS, FRAP and reducing power, which increased by 16.01, 8.33, 5.88 and 5.40-fold respectively, compared the control (100 % wheat flour). Texture and color measurements were undertaken by texture analyzer (TA-XT2) and HunterLab colorimeter, respectively. The results showed that the hardness and a* value of steamed buns increased and cohesiveness, springiness, L* and b* values decreased significantly ($p \leq 0.05$) with increasing amount of Riceberry flour in steamed buns.

Keywords: antioxidant activity; steamed bun; Riceberry flour; bioactive compound

1. บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นหนึ่งในธัญพืชหลักที่มีความสำคัญ และเป็นแหล่งของพลังงานให้แก่ประชากรเกือบครึ่งหนึ่งของโลก โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมากอยู่ในแถบประเทศไทย จีน เกาหลี และญี่ปุ่น โดยเฉพาะประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวรายใหญ่ และมีความหลากหลายทางชีวภาพของพันธ์ข้าว จำแนกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้าวไม่มีสี (non-pigmented rice) เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวสี (pigmented rice) ได้แก่ ข้าวเจ้าหอมนิล ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวสังข์หยด ข้าวก่ำ ข้าวลืมผัว เป็นต้น ข้าวจัดอยู่ในกลุ่มของธัญพืชที่มีประโยชน์ เนื่องจากประกอบไปด้วยสาร อาหารหลายชนิด ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ และยังเป็นแหล่งของสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานิน รวมทั้งยังพบว่าข้าวสีมีปริมาณสารดังกล่าวมากกว่าในข้าวไม่มีสี (ข้าวขาว) [1] จึงทำให้ผู้บริโภคหันมารับประทานข้าวสีกันมากขึ้น โดยเฉพาะข้าวสีของไทย ข้าวไรซ์เบอรี่ (Riceberry) เป็นข้าวสีม่วงดำ (black-purple rice) ที่ผู้บริโภคนิยมนำมารับประทานเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ และสามารถป้องกันการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน แกมมา-โอไรซานอล วิตามินอี สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน [2] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยทางการแพทย์ที่พบว่าสารสำคัญที่พบในข้าวไรซ์เบอรี่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

[3] ลดภาวะของน้ำตาลในเลือดสูง ไขมันในเลือดสูง ป้องกันโรคเบาหวาน [4] ช่วยยับยั้งเซลล์มะเร็ง [5] และป้องกันความเป็นพิษของตับ [6] จากประโยชน์และความสำคัญของข้าวไรซ์เบอรี่จึงได้รับความนิยมจากผู้บริโภค โดยมีการนำมาแปรรูปและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในกลุ่มขนมอบและขนมไทย ตัวอย่าง เช่น ขนมปังข้าวไรซ์เบอรี่ [7] บราวนี่ข้าวไรซ์เบอรี่ [8] ขนมอาลัวข้าวไรซ์เบอรี่ [9]

ผลิตภัณฑ์ซาลาเปา (steamed stuffed bun) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับหมั่นโถว และเป็นอาหารทางวัฒนธรรมของประเทศจีนมาตั้งแต่สมัยสามก๊ก เชื่อกันว่าชาวจีนตอนเหนือรับประทานหมั่นโถวที่มีลักษณะรูปร่างเป็นท่อนยาวที่ผ่านการนำไปนึ่ง โดยส่วนผสมหลักของหมั่นโถว คือ แป้งสาลี น้ำ และยีสต์ ซึ่งมีส่วนผสมและวิธีการผลิตคล้ายกับซาลาเปา แต่ต่างกันที่ซาลาเปาจะมีไส้อยู่ด้านในโด โดยอาจเป็นไส้หวานหรือไส้คาวขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และการเรียกชื่อที่ต่างกันไปตามองค์ประกอบของส่วนผสม [10] ซาลาเปามีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบหลักที่ช่วยให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูป อย่างไรก็ตาม แป้งสาลีมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thiranusornkij และคณะ [7] ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ และการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของขนมปังโดยการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ ทำให้ขนมปังมีสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น จากประโยชน์และความสำคัญของข้าวไรซ์เบอรี่และซาลาเปาดังที่กล่าวมานี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซาลาเปาให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่เปรียบเทียบกับแป้งสาลี รวมทั้งศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ วิเคราะห์ค่าสี เนื้อสัมผัส ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์และต่อยอดในการผลิตซาลาเปาแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต และเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่ใส่ใจสุขภาพ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่

การเตรียมแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ (Riceberry flour, RF) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryers) โดยการนำข้าวไรซ์เบอรี่ นำมาคัดเลือกสิ่งสกปรกออก และใส่ข้าวไรซ์เบอรี่ในถาด ถาดละ 300 กรัม จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (hammer mill) เมื่อบดเสร็จแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนความละเอียด 100 mesh และเก็บแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ในถุงลามิเนทกันความชื้นที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging ability (DPPH), ABTS radical cation inhibition antioxidant (ABTS), Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ Reducing power โดยดัดแปลงวิธีการของ Kubola และคณะ [11] Belwal และคณะ [12] Gao และคณะ [13] และเปรียบเทียบกับแป้งสาลี (wheat flour, WF)

2.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของ WF และ RF ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปา 6 สูตร ได้แก่ WF100/RF0 (สูตรควบคุม), WF90/RF10 (ทดแทน RF

ร้อยละ 10), WF80/RF20 (ทดแทน RF ร้อยละ 20), WF70/RF30 (ทดแทน RF ร้อยละ 30), WF60/RF40 (ทดแทน RF ร้อยละ 40) และ WF50/RF50 (ทดแทน RF ร้อยละ 50) แสดงดังตารางที่ 1

Table 1 The formulation of steamed bun

Ingredients (g)	WF100/RF0	WF90/RF10	WF80/RF20	WF70/RF30	WF60/RF40	WF50/RF50
Sponge						
Wheat flour	300	270	240	210	180	150
Riceberry flour	0	30	60	90	120	150
Cold water	165	165	165	165	165	165
Yeast powder	3	3	3	3	3	3
Dough						
Wheat flour	200	180	160	140	120	100
Riceberry flour	0	20	40	60	80	100
Milk powder	20	20	20	20	20	20
Sugar	25	25	25	25	25	25
Salt	3	3	3	3	3	3
Cold water	160	160	160	160	160	160
Shortening	25	25	25	25	25	25

กรรมวิธีผลิตซาลาเปาเริ่มต้นด้วยการผสมแป้งตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 (นำมาร้อยละ 70) กับยีสต์ (8 กรัม) ด้วยเครื่องผสมแบบสองแขน ขณะผสมมีการเติมน้ำเย็น (165 กรัม) และนวดตีส่วนผสมนาน 10 นาที หลังจากนั้นพักก้อนสปันจ์ไว้ในตู้หมักแป้งที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 นาน 2 ชั่วโมง ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการเตรียมโดเริ่มต้นจากการร่อนแป้ง (อีกร้อยละ 30) นมผง (20 กรัม) และผงฟู (5 กรัม) ให้เข้ากัน และนำน้ำตาลทราย (100 กรัม) เกลือ (3 กรัม) และน้ำเย็น (60 กรัม) มาผสมและคนให้ละลายเข้ากัน ใส่แป้งโดที่เตรียมไว้ในเครื่องนวดสองแขน ค่อย ๆ เติมส่วนผสมของเหลว แล้วฉีกแป้งสปันจ์ใส่ในส่วนผสมโดโดยนวดจนเข้ากัน สุดท้ายเติมเนยขาวปริมาณ 30 กรัม นวดตีส่วนผสมจนก้อนโดเรียบเนียน จากนั้นพักก้อนโดในตู้หมักแป้งที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 อีกเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำก้อนแป้งโดออกมาไล่อากาศ ตัดแบ่งเป็นก้อน ก้อนละ 30 กรัม คลึงให้กลมเรียบเนียน และนำไปใส่ในตู้หมักแป้งอีกครั้งภายใต้สภาวะเดียวกัน นาน 30 นาที (แป้งโดมีลักษณะขึ้นฟูเป็นสองเท่าจากเดิม) นำไปใส่ในลังถึงและนึ่งด้วยไอน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

นำผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่ถูกทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ทั้ง 6 สูตร มาวิเคราะห์ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่า

ความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี รุ่น Color Quest XE (Hunter Lab, USA) และวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) ค่าความสามารถเกาะรวมกัน (cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness) โดยเครื่อง Texture Profile Analyzer (Stable Micro Systems, UK) ด้วยหัววัด Cylindrical probe (P/100) เตรียมตัวอย่างแป้งซาลาเปานึ่งใหม่ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และนำตัวอย่างมาวางบนกึ่งกลางของเครื่องวิเคราะห์ โดยสภาวะของการวัดมีดังต่อไปนี้ pre-test และ post-test speed (4.00 mm/s), test speed (4 mm/s), trigger force (5 N) และ distance 10.0 mm จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวระหว่างผลิตภัณฑ์แป้งซาลาเปาสูตรควบคุมกับสูตรที่ทดแทน WF ด้วย RF ที่ร้อยละ 10, 20, 30 , 40 และ 50 ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

นำผลิตภัณฑ์ซาลาเปาทั้ง 6 สูตร มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนความละเอียด 100 mesh เก็บตัวอย่างผงซาลาเปาในถุงลามิเนทกันความชื้นที่ -20 องศาเซลเซียส การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างผงซาลาเปาดัดแปลงวิธีของ Shao และคณะ [14] โดยชั่งตัวอย่างผงซาลาเปาปริมาณ 5 กรัม เติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 (v/v) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (สำหรับวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์) ขณะที่การเตรียมสารสกัดสำหรับการวิเคราะห์สารแอนโทไซยานิน นำตัวอย่าง 5 กรัม มาสกัดด้วย acidified methanol [methanol : 1 M HCl (85 : 15, v/v)] ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 7,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที โดยดัดแปลงวิธีการของ Shao และคณะ [14] นำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content, TPC) ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid content, TFC) และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (total anthocyanin content, TAC) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (PerkinElmer UV/VIS spectrometer Lambda 25, USA) โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Kubola และคณะ [11] และ Shao และคณะ [14] โดยคำนวณหาปริมาณสารดังกล่าวจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (gallic acid equivalent, GAE) รูทิน (rutin equivalent, RE) และไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ (cyaniding-3-glucoside equivalent, CyGE) ตามลำดับ ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก รูทิน และไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของซาลาเปา (mg GAE/100g, mg RE/100g และ mg CyGE/100g) ตามลำดับ ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

2.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

นำสารละลายที่สกัดได้จากข้อ 2.4 มาทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Kubola และคณะ [11] Belwal และคณะ [12] และ Gao และคณะ [13] คำนวณหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทร็อกซ์ (Trolox equivalent, TE) ต่อ 100 กรัมน้ำหนักของซาลาเปา (mg TE/100g) เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ขณะที่การคำนวณหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี reducing power ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแอสคอบิก (ascorbic acid equivalent, AAE) ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของซาลาเปา (mg AAE/100g) ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 20 (SPSS Inc., USA)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาลักษณะสี ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของ WF และ RF

ผลการศึกษาลักษณะสีของ WF และ RF พบว่า WF มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) 87.22, -0.53 และ 9.87 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Protonotariou และคณะ [15] ที่พบว่าค่า L*, a* และ b* ของ WF มีค่า 88.60, -1.91 และ 12.81 ตามลำดับ ขณะที่ลักษณะสีของ RF พบว่า L*, a* และ b* มีค่า 60.81, 2.52 และ 3.67 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wiriyawattana และคณะ [3] Tangsrianugul และคณะ [16] และ Kraithong และคณะ [17] ที่รายงานว่าค่า L*, a* และ b* ของ RF มีค่า 59.81-69.70, 2.70-4.52 และ 3.33-7.71 ตามลำดับ ทั้งนี้ลักษณะสีของเนื้อแป้งจะมีค่าที่ต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่พบในข้าว เช่น ถ้าพบสารกลุ่มแอนโทไซยานิน เนื้อแป้งจะมีสีม่วง-แดงและน้ำเงิน ขณะที่สารกลุ่มโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) เนื้อแป้งจะมีสีแดง และถ้าเนื้อแป้งเป็นสีเหลือง รงควัตถุที่พบจะเป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) [18] เมื่อเปรียบเทียบค่าสีระหว่าง WF และ RF พบว่า L*, a* และ b* มีค่าแตกต่างกัน โดยค่า L* และ b* ของ WF (87.22 และ 9.87) มีค่าสูงกว่า RF (60.81 และ 3.67) ขณะที่ค่า a* ของ WF (-0.53) มีค่าน้อยกว่าของ RF (12.81) เนื่องจาก RF มีสารแอนโทไซยานินอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วง-แดงและน้ำเงินที่พบได้ที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และเยื่อหุ้มผล (pericarp) ของข้าวสี [1,2,19]

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ TPC, TFC และ TAC ของ WF และ RF แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า RF มีปริมาณสารดังกล่าว 214.88 mg GAE/100g, 406.73 mg RE/100g และ 41.05 mg CyGE/100g ตามลำดับ สูงกว่าใน WF ที่ ตรวจไม่พบ TAC (0.00 mg CyGE/100g) ด้วยวิธี pH differential และมีปริมาณ TPC และ TFC เพียง 139.88 mg GAE/100g และ 248.39 mg RE/100g ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า RF มีปริมาณของ TPC, TFC และ TAC สูงกว่าใน WF ถึง 1.54, 1.64 และ 41.05 เท่า ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่วิเคราะห์ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratseewo และคณะ [2] Wiriyawattana และคณะ [3] Shen และคณะ [20] Callcott และคณะ [21] และ Chatthongpisut และคณะ [22] ที่รายงานว่าข้าวพันธุ์สีม่วง (purple rice) มีปริมาณ TPC 119.19-752.55 mg GAE/100g และมี TAC 25.63-58.76 mg CyGE/100g ขณะที่ TFC ที่พบใน RF มีค่า 406.73 mg RE/100g สูงกว่าในงานวิจัยของ Shen และคณะ [20] ที่รายงานว่าในข้าวสีม่วงมีปริมาณ TFC เพียง 44.33 mg RE/100g

เมื่อนำ WF และ RF มาทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 1B พบว่า WF มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 7.89, 21.84, 13.91 mg TE/100g และ 31.41 mg AAE/100g ตามลำดับ น้อยกว่าใน RF (197.11, 292.61, 342.50 mg TE/100g และ 271.03 mg AAE/100g ตามลำดับ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของ RF มีค่าสูงกว่าใน WF

ถึง 26.87, 13.66, 25.02 และ 8.68 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากในข้าวไรซ์เบอรี่ประกอบด้วยสาร proto-catechuic acid และ ferulic acid (ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก) และ cyanidin-3-glucoside (เป็นองค์ประกอบหลักในกลุ่มของสารแอนโทไซยานิน) ซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ [23-25] โดย Wiriyawattana และคณะ [3] รายงานว่า RF มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 75.76 และ 101.18 mg GAE/100g เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH และ ABTS ตามลำดับ ขณะที่ Shen และคณะ [20] รายงานว่าข้าวสีม่วงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ร้อยละ 85.11, 27.66 และ 9.92 mM TEAC/100g ตามลำดับ

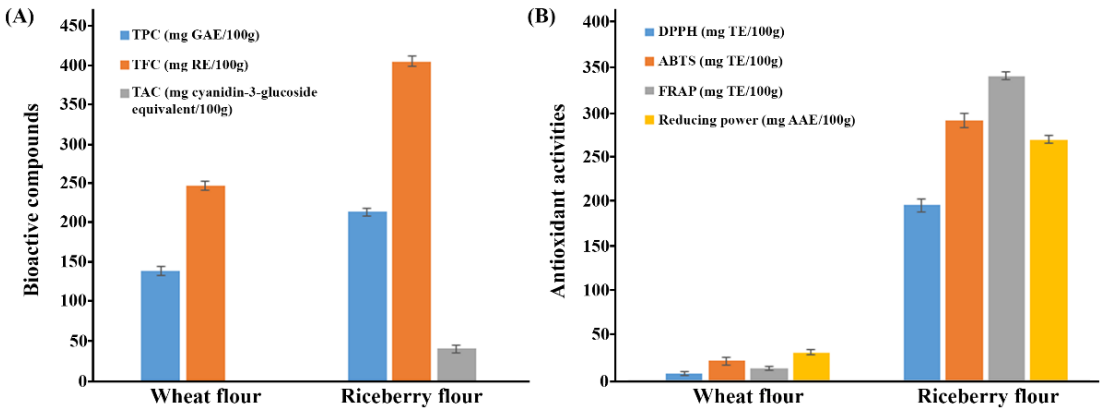

Figure 1 (A) Total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC) and total anthocyanin content (TAC) and (B) antioxidant activities of wheat flour and Riceberry flour.

3.2 ผลการศึกษาปริมาณการทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ต่อลักษณะสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ในปริมาณที่ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าการทดแทนด้วย RF ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปามีผลต่อค่า L*, a* และ b* โดยซาลาเปาสูตรควบคุม (WF100/RF0) มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 77.58, -0.30 และ 9.54 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hsieh และคณะ [26] พบว่าหมั่นโถวที่ใช้ WF ร้อยละ 100 มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 73.90, -1.20 และ 11.40 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 (WF100/RF0) ถึงร้อยละ 50 (WF50/RF50) ส่งผลให้ค่า L* และ b* มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 77.58 เป็น 28.63 และจาก 9.54 เป็น 6.18 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (WF100/RF0) (รูปที่ 2A ถึง 2G) ขณะที่ค่า a* ของตัวอย่าง WF90/RF10, WF80/RF20, WF70/RF30, WF60/RF40 และ WF50/RF50 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเพิ่มขึ้นจาก -0.30 เป็น 7.68, 9.18, 10.25, 10.79 และ 11.32 ตามลำดับ (รูปที่ 2A ถึง 2G) แสดงว่าผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มีลักษณะสีม่วง-แดงเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 2A ถึง 2H) เนื่องมาจากรงควัตถุสีม่วง-แดงและน้ำเงินของสารกลุ่มแอนโทไซยานินที่พบใน RF ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Zhu และ Sun [27] พบว่าหมั่นโถวที่มีการเสริมแป้งมันเทศสีม่วง (มีรงควัตถุม่วง-แดงของสารแอนโทไซยานิน) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 30 มีผลทำให้ L* และ b* มีค่าลดลง ขณะที่ค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่งผลให้หมั่นโถวมีสีม่วง-แดงเพิ่มขึ้น

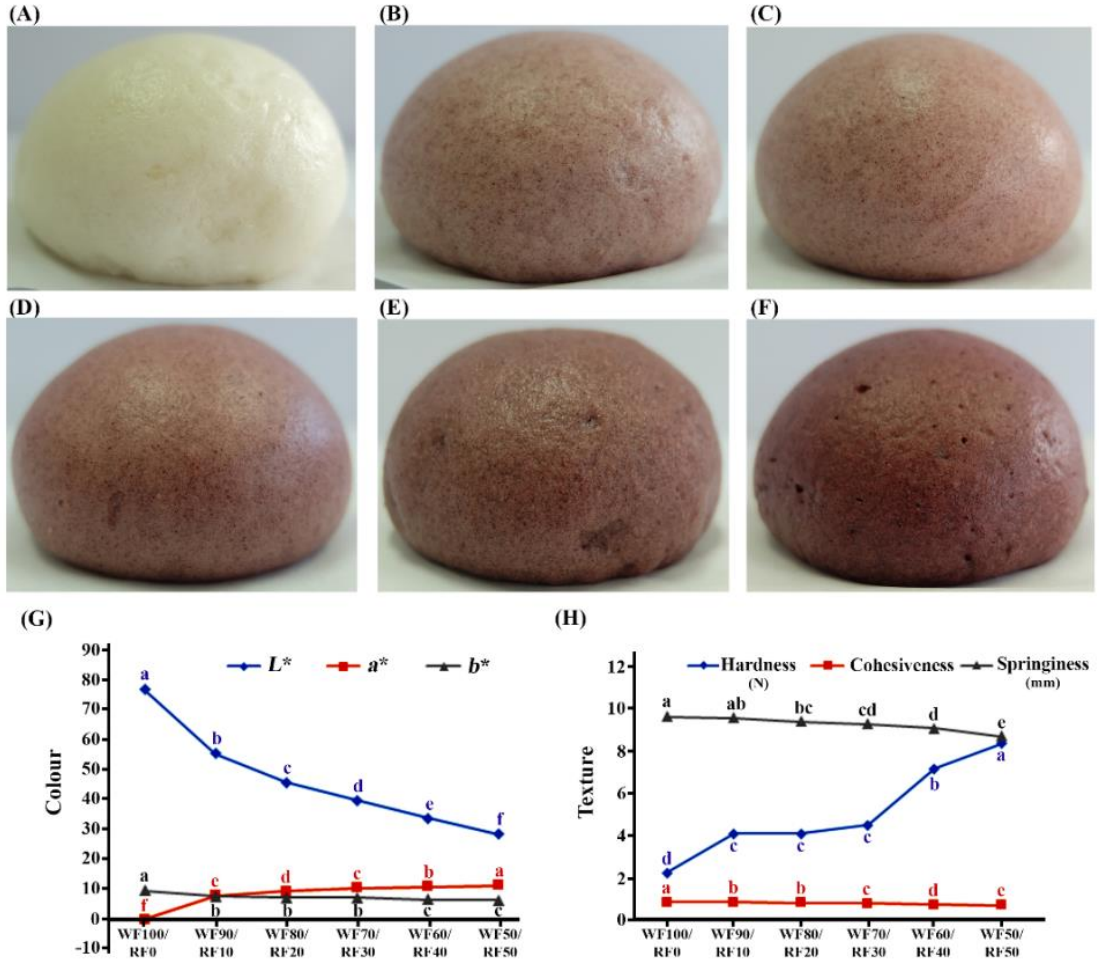

Figure 2 Digital images of steamed bun substituted with different percentages of RF [(A) 0 % RF, (B) 10 % RF, (C) 20 % RF, (D) 30 % RF, (E) 40 % RF and (F) 50 % RF] and color (G) and texture (H) characteristics of WF- RF steamed bun

เนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ใช้บ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา ผลการศึกษาปริมาณการทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของซาลาเปา แสดงดังรูปที่ 2H พบว่าการทดแทน RF ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปามีผลต่อค่าความแข็ง ค่าความสามารถเกาะรวมกัน และค่าความยืดหยุ่น เมื่อทดแทน RF ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 (WF100/RF0) ถึงร้อยละ 50 (WF50/RF50)

ส่งผลให้ซาลาเปามีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 2.25 เป็น 8.42 นิวตัน ซึ่งตัวอย่าง WF50/RF50 (ร้อยละ 50) มีค่าความแข็งสูงที่สุด (รูปที่ 2H) ขณะที่ค่าความยืดหยุ่นและค่าความสามารถเกาะรวมกันของผลิตภัณฑ์ซาลาเปามีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 9.70 เป็น 8.76 มิลลิเมตร และจาก 0.86 เป็น 0.70 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (WF100/RF0) ยกเว้นค่าความสามารถเกาะรวมกันของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่ทดแทนด้วย RF ร้อยละ 10 (WF90/RF10) ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับสูตรควบคุม (WF100/RF0) (รูปที่ 2H) ผลการทดลองแสดงเห็นได้ว่าการทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ที่เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ซาลาเปามีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ความยืดหยุ่นและความสามารถเกาะรวมกันลดลง เนื่องมาจาก (1) ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปามีแป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลักที่ประกอบด้วยโปรตีนกลูเตน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำหรือของเหลวจะมีลักษณะเป็นยาง เหนียว และยืดหยุ่น ซึ่งกลูเตนประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ กลูเตนิน (glutenin) เป็นโปรตีนที่ช่วยให้โดหรือก้อนแป้งผสมมีกำลังในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ถูกผลิตขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักโดยยีสต์หรือผงฟู ซึ่งเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา และไกลอะดิน (gliadin) เป็นโปรตีนที่ช่วยให้กลูเตนมีสมบัติยืดตัวและมีความยืดหยุ่น ดังนั้นเมื่อปริมาณของ RF เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของ WF ลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณกลูเตนในแป้งโดถูกเจือจาง และ (2) แป้งข้าวไรซ์เบอรี่มีส่วนประกอบที่สามารถดูดซับน้ำได้ดี เช่น เส้นใยและโปรตีน เมื่อปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอรี่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เส้นใยและโปรตีนที่เพิ่มขึ้นไปดูดซับน้ำ ทำให้การขยายตัวและกักเก็บก๊าซ CO_2 ไว้ภายในโครงสร้างโดลดลงในระหว่างกระบวนการหมัก [28] ผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่ได้จึงมีลักษณะแข็งและความยืดหยุ่นน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของของ Zun และ Sun [27] Cao และคณะ [29] และ Sun และคณะ [30] พบว่าการเสริมแป้งมันเทศสีม่วง (ร้อยละ 5 ถึง 50) การทดแทนด้วยแป้งมันฝรั่ง (ร้อยละ 10 ถึง 50) และการทดแทน WF ด้วยแป้งจมูกข้าวสาลี (ร้อยละ 3 ถึง 12) ที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว คือ มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นและการเกาะรวมตัวกันมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

3.3 ผลการศึกษาปริมาณทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ซาลาเปา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ TPC, TFC และ TAC ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ทั้ง 6 สูตร แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าการทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0 (WF100/RF0) เป็นร้อยละ 50 (WF50/RF50) มีผลให้ปริมาณ TPC, TFC และ TAC ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (รูปที่ 3) โดยตัวอย่าง WF100/RF0, WF90/RF10, WF80/RF20, WF70/RF30, WF60/RF40 และ WF50/RF50 มีปริมาณ TPC เพิ่มขึ้นจาก 11.74 เป็น 104.95 mg GAE/100g (รูปที่ 3A) มี TFC เพิ่มขึ้นจาก 27.49 เป็น 85.58 mg RE/100 g (รูปที่ 3B) และ TAC เพิ่มขึ้นจาก 0.00 เป็น 12.82 mg CyGE/100g (รูปที่ 3C) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าซาลาเปาที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งให้มีปริมาณ TPC, TFC และ TAC เพิ่มขึ้นถึง 4.35-9.23, 1.46-3.13 และ 2.25-12.82 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ WF100/RF0 (รูปที่ 3) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อปริมาณ

การทดแทน RF เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณสารสำคัญเพิ่มขึ้น โดยสารสำคัญที่พบมากในข้าวไรซ์เบอรี่ ได้แก่ protocatechuic acid, ferulic acid (กลุ่มสารประกอบฟีนอลิก) และสาร cyanidin-3-glucoside (กลุ่มแอนโทไซยานิน) [2] ซึ่งสารเหล่านี้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

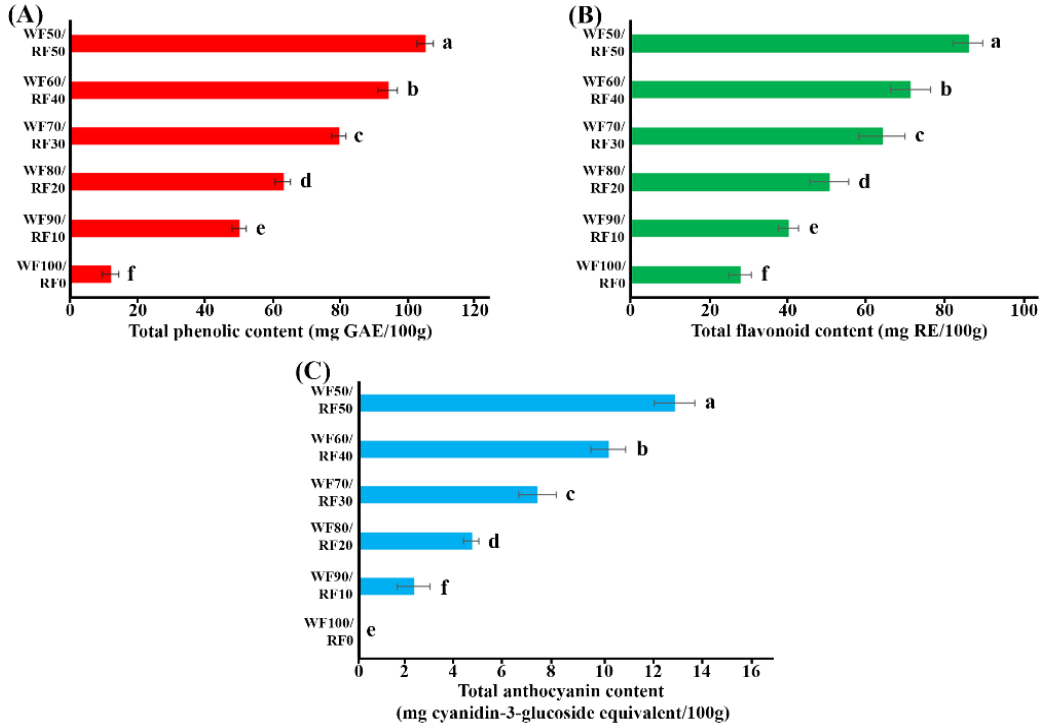

Figure 3 Total phenolic content (A), total flavonoid content (B) and total anthocyanin content (C) of steamed bun substituted with different percentages of RF

ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power ของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ในปริมาณที่ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าการทดแทนด้วย RF ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 (WF100/RF0) ถึง 50 (WF50/RF50) ซาลาเปามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (WF100/RF0) (รูปที่ 4) การทดสอบด้วยวิธี DPPH ซาลาเปามีฤทธิ์เพิ่มขึ้นจาก 7.97 เป็น 125.47 mg TE/100g (รูปที่ 4A) การทดสอบด้วยวิธี ABTS ฤทธิ์เพิ่มขึ้นจาก 20.78 เป็น 171.80 mg TE/100g (รูปที่ 4B) การทดสอบด้วยวิธี FRAP เพิ่มขึ้นจาก 30.65 เป็น 179.88 mg TE/100g (รูปที่ 4C) และการทดสอบด้วยวิธี reducing power มีฤทธิ์เพิ่มขึ้นจาก 25.52 เป็น 137.52 mg AAE/100g (รูปที่ 4D) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าซาลาเปาที่มีส่วนผสมของ RF ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผันแปรตามปริมาณของ TPC, TFC และ TAC ที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ซาลาเปา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zun และ Sun [27] พบว่าการเสริมแป้งมันเทศสีม่วง ซึ่งเป็น

แหล่งของสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว โดยเสริมในระดับร้อยละ 0 ถึง 50 ส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาณสารดังกล่าวและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Zhu และคณะ [31] ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวด้วยการเสริมสารสกัดชาดำ (black tea extract) ในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าหมั่นโถวมีปริมาณสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น

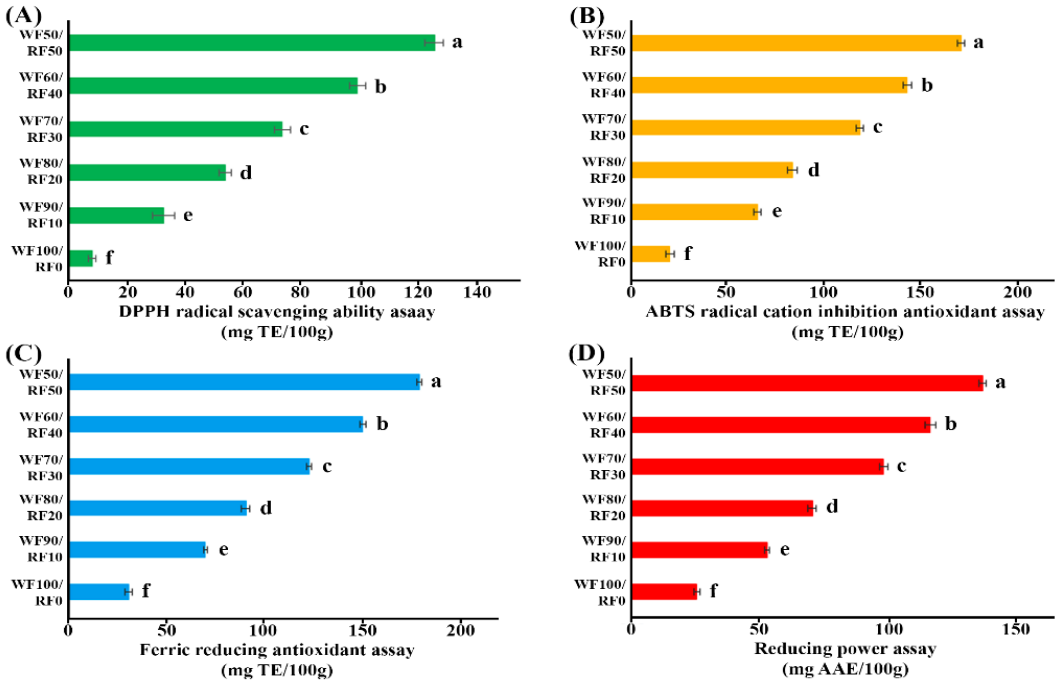

Figure 4 DPPH radical scavenging ability assay (A), ABTS radical cation inhibition antioxidant assay (B) and ferric reducing antioxidant assay (C) of steamed bun substituted with different percentages of RF

4. สรุป

RF ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าใน WF รวมทั้งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า WF เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power เมื่อศึกษาลักษณะสีของเนื้อแป้ง พบว่า RF มีสีที่เข้มกว่า WF เนื่องจาก RF มีปริมาณของรงควัตถุกลุ่มแอนโทไซยานินในปริมาณสูง การนำ RF มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ซาลาเปาเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระให้สูงขึ้นด้วยการทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ซาลาเปาไรซ์เบอร์รี่รูปแบบใหม่ โดยซาลาเปาที่มีการทดแทน WF บางส่วนด้วย RF (WF90/RF10, WF80/RF20 และ WF70/RF30) ได้แก่ การทดแทนด้วย RF ที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ มีลักษณะสีม่วง-แดงตามธรรมชาติ และมีความสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสที่ดี และลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง รวมทั้งยังมี

ปริมาณสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (TPC, TFC และ TAC) และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (WF100/RF0) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ซาลาเปาที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ที่ร้อยละ 40 และ 50 ผลิตภัณฑ์ซาลาเปามีสีม่วง-แดงเข้มและมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่แข็ง รวมทั้งยังมีความยืดหยุ่นน้อย ดังนั้น การทดแทน WF บางส่วนด้วย RF ในผลิตภัณฑ์ซาลาเปาจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ 2559 ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับดำเนินการวิจัย

6. References

[1] Shao, Y., Hu, Z., Yu, Y., Mou, R., Zhu, Z. and Beta, T., 2018, Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice, Food Chem. 239: 733-741.

[2] Ratseewo, J., Warren, F.J. and Siriamornpun, S., 2019, The influence of starch structure and anthocyanin content on the digestibility of Thai pigmented rice, Food Chem. 298: 124949.

[3] Wiriyawattana, P., Suwonsichon, S. and Suwonsichon, T., 2018, Effects of drum drying on physical and antioxidant properties of riceberry flour, Agric. Nat. Resour. 52: 445-450.

[4] Prangthip, P., Surasiang, R., Charoensiri, R., Leardkamolkarn, V., Komindr, S., Yambo risut, U., Vanavichitr, A. and Kongkachuichai, R., 2013, Amelioration of hyperglycemia, hyperlipidemia, oxidative stress and inflammation in steptozotocin-induced diabetic rats fed a high fat diet by Riceberry supplement, J. Funct. Foods 5: 195-203.

[5] Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S. and Wanavijitr, A., 2011, Chemopreventive properties of the bran extracted from a newly-developed Thai rice: The Riceberry, Food Chem. 125: 978-985.

[6] Arjinajarn, P., Chueakula, N., Pongchaidecha, A., Jaikumkao, K., Chatsudthipong, V., Mahatheeranont, S., Norkaew, O., Chattipakorn, N. and Lungkaphin, A., 2017, Anthocyanin- rich Riceberry bran extract attenuates gentamicin- induced heaptotoxicity by reducing oxidative stress, inflammation and apoptosis in rats, Biomed. Pharmacother. 92: 412-420.

[7] Thiranusornkij, L., Thiranusornkij, L., Thamnarathip, P., Chandrachai, A., Kuakpetoon, D. and Adisakwattana S., 2019, Comparative studies on physicochemical

properties, starch hydrolysis, predicted glycemic index of Hom Mali rice and Riceberry rice flour and their, Food Chem. 283: 224-231.

[8] Sinchaipanit, P., Budpong, K., Disnil, S. and Twichatwitayakul, R., 2017, Influences of rice berry flour as a wheat flour substitute in brownie: textural and quality attributes, SDU Res. J. Sci. Technol. 10(2): 69-79. (in Thai)

[9] Hongpan, H., Ngensombat, K. and Rattana phiboon, I., 2019, Development of Ar-lua product from riceberry flour, Bhurapha Sci. J. 24(2): 782-794. (in Thai)

[10] Zhu, F., 2014, Influence of ingredients and chemical components on the quality of Chinese steamed bread, Food Chem. 163: 154-162.

[11] Kubola, J., Siriamornpun, S. and Meeso, N., 2011, Phytochemical, vitamin C and sugar content of Thai fruits, Food Chem. 126: 972-981.

[12] Belwal, T., Dhyani, P., Bhatt, I.D., Rawal, R.S. and Pande, V., 2016, Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM), Food Chem. 207: 115-124.

[13] Gao, Q.H., Wu, P.T., Liu, J.R., Wu, C.S., Parry, J.W. and Wang, M., 2011, Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China, Sci. Hort. 130: 67-72.

[14] Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J. and Beta, T., 2014, 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. 59: 211-218.

[15] Protonotariou, S., Drakos, A., Evageliou, V., Ritzoulis, C. and Mandala, I., 2014, Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour, J. Food Eng. 134: 24-29.

[16] Tangsrianugul, N., Wongsagonsup, R. and Suphantharika, M., 2019, Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars, Int. J. Biol. Macromol. 137: 666-675.

[17] Kraithong, S., Lee, S. and Rawdkuen, S., 2018, Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour, J. Cereal Sci. 79: 259-266.

[18] Anggraini, T., Novelina, Limber, U. and Amelia, R., 2015, Antioxidant activities of some red, black and white rice cultivar from west sumatra, Indonesia, Pak. J. Nutr. 14: 112-117.

[19] Melini, V., Panfili, G., Fratianni, A. and Acquistucci, R., 2019, Bioactive compounds in rice on Italian market: Pigmented varieties as a source of carotenoids, total phenolic compounds and anthocyanins,

before and after cooking, Food Chem. 277: 119-127.

[20] Shen, Y., Song, X., Chen, Y., Li, L., Sun, J., Huang, C., Oua, S. and Zhang, H., 2017, Effects of sorghum, purple rice and rhubarb rice on lipids status and antioxidant capacity in mice fed a high-fat diet, J. Funct. Foods 39: 103-111.

[21] Callcott, E.T., Santhakumar, A.B., Strappe, P., Luo, J. and Blanchard, C. L., 2018, Polyphenols from Australian- grown pigmented red and purple rice inhibit adipocyte differentiation, J. Cereal Sci. 81: 140-146.

[22] Chatthongpisut, R., Schwartz, S. J. and Yongsawatdigul, J., 2015, Antioxidant activities and antiproliferative activity of Thai purple rice cooked by various methods on human colon cancer cells, Food Chem. 188: 99-105.

[23] Ou, S. and Kwok, K.C., 2004, Ferulic acid: Pharmaceutical functions, preparation and applications in foods, J. Sci. Food Agric. 84: 1261-1269.

[24] Wang, H., Cao, G. and Ronald, L., 1997, Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins, J. Agric. Food Chem. 45: 304-309.

[25] Liu, J., Liu, S., Wu, Q., Gu, Y., Kan, J. and Jin, C., 2017, Effect of protocatechuic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antioxidant properties of chitosan film, Food Hydrocoll. 73: 90-100.

[26] Hsieh, P.H., Weng, Y.M., Yu, Z.R. and Wang, B.J., 2017, Substitution of wheat flour with wholegrain flours affects physical properties, sensory acceptance, and starch digestion of Chinese steam bread (Mantou), LWT Food Sci. Technol. 86: 571-576.

[27] Zhu, F. and Sun, J., 2019, Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour, Food Biosci. 30: 100411.

[28] Kaur, P., Sharma, P., Kumar, V., Panghal, A., Kaur, J. and Gat, Y., 2019, Effect of addition of flaxseed flour on phyto chemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies, J. Saudi Soc. Agric. Sci. 18: 372-377.

[29] Cao, Y., Zhang, F., Guo, P., Dong, S. and Li, H., 2019, Effect of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, the quality of steamed bread and in vitro starch digestibility, LWT Food Sci. Technol. 111: 527-533.

[30] Sun, R., Zhang, Z., Hu, X., Xing, Q. and Zhuo, W., 2015, Effect of wheat germ flour addition on wheat flour, dough and Chinese steamed bread properties, J. Cereal Sci. 64: 153-158.

[31] Zhu, F., Sakulnak, R. and Wang, S., 2016, Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread, Food Chem. 194: 1217-1223.