วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 25 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2563
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 25 (No.2) May – August 2020
บทความวิจัย

ผลของการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันเทศสีม่วงต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

Effect of Partial Replacement of Wheat Flour with Purple Sweet Potato Flour on Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Steamed Bun (Mantou)

สุพิชญา คำคม*
Supichaya Khumkhom*
สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
Division of Home Economics, Faculty of Science and Technology, Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University
Received : 8 August 2019
Revised : 23 September 2019
Accepted : 13 December 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทนแป้งสาลี (WF) ด้วยแป้งมันเทศสีม่วง (PSPF) ในระดับที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50) การวิเคราะห์สารพฤกษเคมีด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แสดงให้เห็นว่า PSPF มีส่วนประกอบของสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานิน รวมทั้งมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power สูงกว่า WF ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF ด้วย PSPF ร้อยละ 10 ถึง 50 มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีค่าการเกาะติดและความยืดหยุ่นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม การวัดค่าสีของหมั่นโถวด้วยเครื่องวัดสี พบว่า L^* และ b^* มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระดับของ PSFP เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 50 นอกจากนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารแอนโธไซยานินทั้งหมดของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่มีการเติม PSPF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเพิ่มขึ้น 3.02-9.67, 2.69-8.93 และ 5.95-62.62 เท่า ตามลำดับ รวมทั้งหมั่นโถวที่ประกอบด้วย PSPF ที่ระดับต่าง ๆ มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน (DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเพิ่มขึ้น 11.98-56.55, 5.42-22.76, 5.09-21.40 และ 4.70-14.56 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ดังนั้นจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการทดแทน WF ด้วย PSPF มีความเหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมี และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

คำสำคัญ : หมั่นโถว, แป้งมันเทศสีม่วง, สารประกอบฟีนอลิก, สารประกอบฟลาโวนอยด์, กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน

*Corresponding author. E-mail : supichaya_culinary@hotmail.com

Abstract

The objectives of the present study were to investigate the physicochemical properties and antioxidant activities of steamed bun substitution of wheat flour (WF) with purple sweet potato flour (PSPF) at different levels (0, 10, 20, 30, 40 and 50%). Spectrophotometer analyses showed that the phytochemical content of PSPF was enriched in phenolic, flavonoid and anthocyanin. The antioxidant activities of PSPF as determined by DPPH, ABTS, FRAP and reducing power were higher in comparison to WF. Texture of steamed bun substitution of WF with 10-50% PSPF showed significantly ($p \leq 0.05$) increased the hardness and reduced cohesiveness and springiness compare to the control. The color characteristic of steamed bun were measured using a Hunter Lab colorimeter. *L** and *b** value of steamed bun decreased while *a** value increased with increase in level of PSPF from 0 to 50%. Moreover, the total phenolic, total flavonoid and total anthocyanin contents of steamed bun were significantly improved ($p \leq 0.05$) by 3.02-9.67, 2.69-8.93 and 5.95-62.62-fold, respectively when PSPF was added. In addition, the antioxidant activities (DPPH, ABTS, FRAP and reducing power) of steamed bun containing PSPF at different levels was significantly increased ($p \leq 0.05$) by 11.98-56.55, 5.42-22.76, 5.09-21.40 and 4.70-14.56-fold, respectively compared to the control. Therefore, the study suggests that using of PSPF as WF replacement are suitable to increase phytochemical concentration and antioxidant activities in steamed bun products.

Keywords : steamed bun, purple sweet potato flour, phenolic compound, flavonoid compound, antioxidant activity

บทนำ

มันเทศสีม่วง (Purple sweet potato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* L. เป็นพืชหัวใต้ดินที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และมีการเพาะปลูกมากในแทบทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย โดยเฉพาะประเทศจีนมีการผลิตหัวมันเทศได้มากถึงร้อยละ 90 ของผลผลิตมวลรวมทั้งโลก (Wu *et al*., 2015) มันเทศสีม่วงเป็นพืชหัวที่มีประโยชน์มากเนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิด ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร วิตามิน (A, B_1, B_2, C และ E) และเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ เช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) และซิงค์ (Zn) (Ishida *et al*., 2001) รวมทั้งยังพบสารพฤกษเคมีที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้อีกหลายชนิด เช่นสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และพอลิแซ็กคาไรด์ (Wu *et al*., 2015; Chen *et al*., 2019) โดยมีปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพสูงกว่ามันเทศสีอื่น ๆ (เช่นมันเทศเนื้อสีเหลือง ขาว และส้ม) (Tang *et al*., 2015) และจากงานวิจัยทางการแพทย์ พบว่าสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และพอลิแซ็กคาไรด์มีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน (Grace *et al*., 2014; Tang *et al*., 2015) ลดระดับน้ำตาลในเลือด (Jang *et al*., 2019) ป้องกันโรคอ้วน (Zhuang *et al*., 2019) ต้านการอักเสบ (Chen *et al*., 2019) ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Tang *et al*., 2019) ยับยั้งการเกิดเนื้องอก (Wu *et al*., 2015) ปกป้องตับจากสารพิษ (Wang *et al*., 2017) และป้องกันโรคตับจากแอลกอฮอล์ (Cai *et al*., 2018) มันเทศสีม่วงเป็นพืชหัวที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในปริมาณมาก (ร้อยละ 40 ถึง 55 ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมันเทศเนื้อสีม่วง) (Zhang *et al*., 2018; Guo *et al*., 2019) จึงเป็นที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์หมั่นโถว (Zhu & Sun, 2019)

ขนมขบเคี้ยว (Qiao *et al*., 2012) และคุกกี้ (Charoenphun, 2017) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นข้อดีของการใช้แป้งมันเทศสีม่วงมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ (1) ลดการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ โดยหันมาใช้วัตถุดิบแป้งที่มีในประเทศ โดยเฉพาะแป้งมันเทศสีม่วง (2) ลดความเสี่ยงของผู้บริโภคที่แพ้ต่อสารกลูเตน (gluten) หรือโรคแพ้กลูเตน (celiac disease) และ (3) ช่วยเพิ่มสารพฤกษเคมีและประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน และ (4) ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับหัวมันเทศสีม่วงและเพิ่มรายได้ให้กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมันเทศ จากความสำคัญและประโยชน์ของมันเทศสีม่วง รวมทั้งในปัจจุบันพบว่าพฤติกรรมการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ และมีประโยชน์ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่ผลิตในประเทศไทย เช่น ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่องซึ่งสัมพันธ์กับการทำงานของผู้ใช้แรงงานที่ต้องเร่งรีบในชั่วโมงของการทำงาน

หมั่นโถว (Steamed bun หรือ Mantou) มีต้นกำเนิดจากประเทศจีน ลักษณะแป้งนึ่งก้อนกลมๆสีขาวนวลเนียน เนื้อสัมผัสนุ่ม นิยมรับประทานเป็นอาหารหลักหรือเป็นอาหารว่าง ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตได้มาจากการผสมระหว่างแป้งสาลี น้ำ และยีสต์ โดยกระบวนผลิตมี 2 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีการหมักแบบขั้นตอนเดียว (one-step fermentation) และกรรมวิธีการหมักแบบสองขั้นตอน (two-step fermentation) ในระหว่างกระบวนการหมัก ยีสต์จะทำหน้าที่ช่วยให้ก้อนแป้งขึ้นฟู โดยจะใช้น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการย่อยแป้ง และน้ำตาลในส่วนที่เติมลงไป ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแอลกอฮอล์ ส่งผลให้แป้งโด (Dough) มีสภาพเป็นกรดอ่อน และกลูเตนเกิดการอ่อนตัว มีลักษณะยืดหยุ่น มีรูอากาศ และมีกลิ่นเฉพาะตัว เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตหมั่นโถวมีวัตถุดิบหลัก คือ แป้งสาลี ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ รวมทั้งยังพบว่ามีปริมาณสารพฤกษเคมีอยู่ในปริมาณน้อย (Kaur *et al*., 2017) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันเทศสีม่วง (Tang *et al*., 2015) จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันให้กับผลิตภัณฑ์หมั่นโถวโดยการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันเทศสีม่วง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้แป้งมันเทศสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น โดยศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีกายภาพและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันระหว่างแป้งสาลีและแป้งมันเทศสีม่วง รวมทั้งการศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันเทศสีม่วงต่อคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ และประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ และต่อยอดในการผลิตหมั่นโถวมันม่วงในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต และเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจในเรื่องของสุขภาพ รวมทั้งยังช่วยส่งเสริมการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับหัวมันเทศสีม่วง และช่วยเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมันเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งมันเทศสีม่วง

1.1 การเตรียมแป้งมันเทศสีม่วง (purple sweet potato flour, PSPF) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryers) โดยการนำมันเทศสีม่วงสายพันธุ์กะปิแท้ ซึ่งซื้อมาจากกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมันเทศ อำเภอบางประหัน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น และปอกเปลือก หลังจากนั้นนำไปนึ่งเป็นเวลา 20 นาที ตีบดละเอียด และนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งด้วยไอน้ำความดันสูงความเร็ว 3 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แป้งมันเทศสีม่วงที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ และจะถูกขูดออกโดยใบมีดที่สัมผัสกับผิวของลูกกลิ้ง ซึ่งแป้งมันเทศสีม่วงที่ได้มีความชื้น 7 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้น

นำมันเทศสีม่วงที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด และนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.25 มิลลิเมตร และเก็บรักษาในถุงลามิเนทกันความชื้นที่ -20 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

1.2 การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของแป้งมันเทศสีม่วง ได้แก่ ค่าสี (ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*)) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมด และกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging ability, ABTS radical cation inhibition antioxidant, Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ Reducing power และเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวทั้งหมดกับแป้งสาลี (wheat flour, WF)

2. การศึกษาปริมาณการทดแทน WF ด้วย PSPF ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

2.1 การศึกษาปริมาณการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว โดยการผันแปรปริมาณการทดแทนใน 6 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 (100:0) สูตรควบคุม, ร้อยละ 10 (90:10), ร้อยละ 20(80:20), ร้อยละ 30(70:30), ร้อยละ 40 (60:40) และร้อยละ 50 (50:50) ของปริมาณ WF ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ *1* แสดงองค์ประกอบและปริมาณการทดแทนแป้งสาลี (WF) ด้วยแป้งมันเทศสีม่วง (PSPF) ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

ส่วนผสม	**ปริมาณการทดแทน (ร้อยละ)**					
	0 (สูตรควบคุม)	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
สปันจ์ (Sponge)						
แป้งสาลี (กรัม)	300	270	240	210	180	150
แป้งมันเทศสีม่วง (กรัม)	0	30	60	90	120	150
น้ำเย็น (กรัม)	165	165	165	165	165	165
ผงยีสต์ (กรัม)	3	3	3	3	3	3
โด (Dough)						
แป้งสาลี (กรัม)	200	180	160	140	120	100
แป้งมันเทศสีม่วง (กรัม)	0	20	40	60	80	100
นมผง (กรัม)	20	20	20	20	20	20
น้ำตาลทราย (กรัม)	25	25	25	25	25	25
เกลือ (กรัม)	3	3	3	3	3	3
น้ำเย็น (กรัม)	160	160	160	160	160	160
ชอตเทนนิ่ง (กรัม)	25	25	25	25	25	25

2.2 กรรมวิธีการผลิตหมั่นโถวแบบ 2 ขั้นตอน (two-step fermentation) หรือวิธีสปันจ์-โด โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนของการเตรียมส่วนของสปันจ์ เริ่มต้นด้วยการผสมแป้งตามอัตราส่วนในข้อ 2.1 (นำมาร้อยละ 70) กับยีสต์ (8 กรัม) ด้วยเครื่องผสมแบบสองแขน ในขณะผสมมีการเติมน้ำเย็น (165 กรัม) และนวดตีส่วนผสมนาน 10 นาที หลังจากนั้นพัก

ก้อนสปันจ์ไว้ในตู้หมักแป้งที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 นาน 2 ชั่วโมง ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการเตรียมโด เริ่มต้นจากการร่อนแป้ง (อีกร้อยละ 30) นมผง (20 กรัม) และผงฟู (5 กรัม) ให้เข้ากัน และนำน้ำตาลทราย (100 กรัม) เกลือ (3 กรัม) และน้ำเย็น (60 กรัม) มาผสมและคนให้ละลายเข้ากัน ใส่แป้งโดที่เตรียมไว้ในเครื่องนวดสองแขน ค่อย ๆ เติมส่วนผสมของเหลว จากนั้นฉีกแป้งสปันจ์ใส่ในส่วนผสมโดโดยนวดจนเข้ากัน สุดท้ายเติมเนยขาวปริมาณ 30 กรัม นวดตีส่วนผสมจนก้อนโดเรียบเนียน หลังจากนั้นพักก้อนโดในตู้หมักแป้งที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 อีกเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำก้อนแป้งโดออกมาไล่อากาศ ตัดแบ่งเป็นก้อน ๆ ละ 30 กรัม คลึงให้กลมเรียบเนียน และนำไปใส่ในตู้หมักแป้งอีกครั้งภายใต้สภาวะเดียวกัน นาน 30 นาที (แป้งโดมีลักษณะขึ้นฟูเป็นสองเท่าจากเดิม) จากนั้นนำไปใส่ในลังถึง และนึ่งด้วยไอน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

3. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

นำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ผลิตได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพดังต่อไปนี้ การวิเคราะห์ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี รุ่น Color Quest XE (Hunter Lab, USA) และการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) ค่าการเกาะติด (cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness) โดยเครื่อง Texture Profile Analyzer (Stable Micro Systems, UK) ด้วยหัววัด Cylindrical probe (P/100) ทำการเตรียมตัวอย่างหมั่นโถวนึ่งใหม่ หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 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 10.00 mm หลังจากนั้นเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวระหว่างผลิตภัณฑ์หมั่นโถวสูตรควบคุมกับสูตรที่ทดแทน WF ด้วย PSPF ที่ร้อยละ 10, 20, 30 , 40 และ 50

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

นำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ในระดับที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี ได้แก่ (1) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ตามวิธีการของ Shao *et al*. (2014) และคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent: GAE) ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของหมั่นโถว (mg GAE/100g) (2) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วยวิธี Colorimetric ตามวิธีการของ Kubola *et al*. (2011) และคำนวณปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยการเทียบกับกราฟมาตรฐานของรูทิน (Rutin equivalent: RE) ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของรูทินต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของหมั่นโถว (mg RE/100g) และ (3) การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด ด้วยวิธี pH differential ดัดแปลงตามวิธีการของ Shao *et al*. (2014) และคำนวณปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของ ไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside equivalent: CyGE) ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของหมั่นโถว (mg CyGE/100g)

5. การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

นำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ผลิตได้ในแต่ละสูตรมาทดสอบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน 4 วิธี ได้แก่ (1) วิธี DPPH radical scavenging ability (DPPH) ตามวิธีการของ Kubola *et al*. (2011) (2) วิธี ABTS radical cation inhibition antioxidant (ABTS) และ (3) วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ตามวิธีการของ Belwal *et al*. (2016) และคำนวณกิจกรรม

การต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทร็อกซ์ (Trolox equivalent, TE) ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของหมั่นโถว (mg TE/100g) และ (4) วิธี reducing power ตามวิธีการของ Gao *et al*. (2011) และคำนวณประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแอสคอบิก (Ascorbic acid equivalent, AAE) ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของหมั่นโถว (mg AAE/100g)

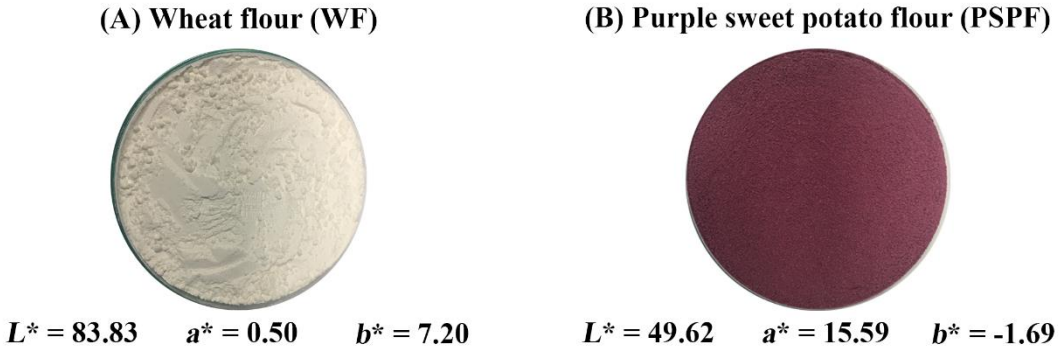
6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 20

ผลการวิจัย

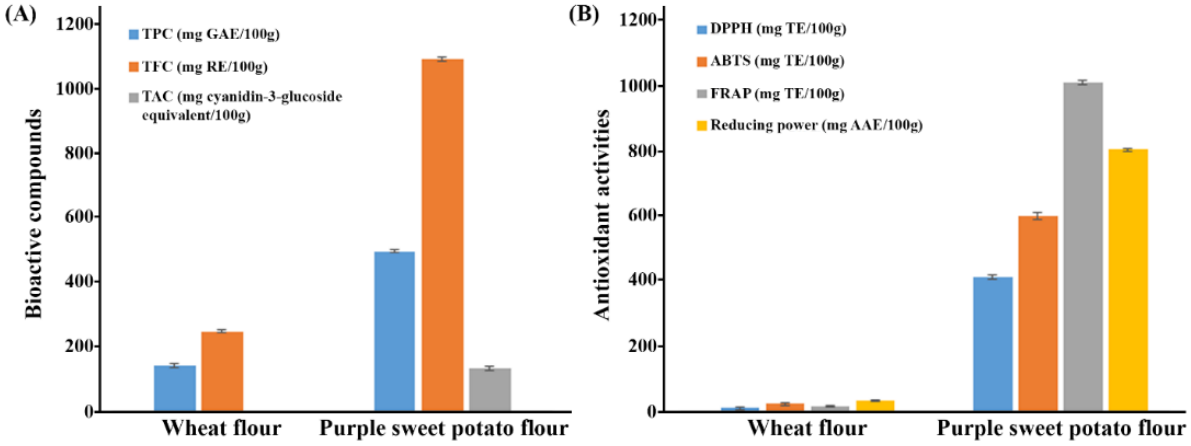
1. ผลการศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของ WF และ PSPF

ผลของการวิเคราะห์ค่าสีระหว่าง WF และ PSPF แสดงดังภาพที่ 1 พบว่าเนื้อแป้งของ WF มีลักษณะสีขาวออกเหลือง จึงทำให้ WF มีค่า *L** และ *b** (83.83 และ 7.20 ตามลำดับ) มากกว่าค่า *L** และ *b** ของ PSPF ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.62 และ -1.69 ตามลำดับ (ภาพที่ 1A และ 1B) ในขณะที่ PSPF มีลักษณะเนื้อแป้งสีม่วงเข้ม ซึ่งเกิดจากรงควัตถุสีม่วง-แดงของสารแอนโทไซยานินที่กระจายอยู่ภายในเนื้อแป้ง ส่งผลให้ PSPF มีค่า *a** (15.59) สูงกว่าค่า *a** ของ WF (0.50) (ภาพที่ 1A และ 1B) และเมื่อนำ WF และ PSPF มาวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมี ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และแอนโทไซยานินทั้งหมด ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 2A พบว่า PSPF มีปริมาณสารดังกล่าวเท่ากับ 496.94 mg GAE/100g, 1,096.01 mg RE/100g และ 132.20 mg CyGE/100g ตามลำดับ ในขณะที่ WF มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพียง 139.88 mg GAE/100g และ 248.39 mg RE/100g ตามลำดับ และไม่มีสารสีแอนโทไซยานิน (0.00 mg CyGE/100g) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า PSPF มีปริมาณสารพฤกษเคมีสูงกว่าใน WF ถึง 3.56, 4.41 และ 132.20 เท่า ตามลำดับ (ภาพที่ 2A) ซึ่งสารเหล่านี้พบว่ามีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะด้านสีระหว่าง WF (A) กับ PSPF (B)

จากการนำ WF และ PSPF มาทดสอบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power แสดงดังภาพที่ 2B พบว่า PSPF มีกิจกรรมในการต้านออกซิเดชันเท่ากับ 414.29, 601.04, 1011.62 mg TE/100g และ 805.26 mg AAE/100g ตามลำดับ สูงกว่าของ WF ถึง 56.76, 28.17, 73.83 และ 25.82 เท่า ตามลำดับ โดย WF มีกิจกรรมในการต้านออกซิเดชันเท่ากับ 7.89, 21.84, 13.91 mg TE/100g และ 31.41 mg AAE/100g ตามลำดับ (ภาพที่ 2B) ซึ่งประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันจะสัมพันธ์กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่พบใน WF และ PSPF ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2A และ 2B



ภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (A) และกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน (B) ระหว่างแป้งสาลี (WF) และแป้งมันเทศสีม่วง (PSPF)

2. ผลการศึกษาปริมาณการทดแทน WF ด้วย PSPF ต่อลักษณะสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าความแข็ง (hardness) ค่าการเกาะติด (cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness)) และค่าสีของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าระดับของการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ที่เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 50 ส่งผลให้หมั่นโถวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ และมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 2.36 เป็น 27.73 นิวตัน โดยการทดแทน WF ด้วย PSPF ที่ร้อยละ 50 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งสูงที่สุด(ตารางที่ 2) ในขณะที่ค่าการเกาะติด พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อระดับของการทดแทน WF ด้วย PSPF เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 40 แต่ค่าการเกาะติดจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 0.864 เป็น 0.688 เมื่อผลิตภัณฑ์หมั่นโถวถูกทดแทน WF ด้วย PSPF ร้อยละ 50 ส่วนค่าความยืดหยุ่นของหมั่นโถวที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ที่ร้อยละ 10 และ 20 พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับสูตรควบคุม (WF ร้อยละ 100) โดยลดลงจาก 10.07 เป็น 9.71 มิลลิเมตร ส่วนการทดแทนด้วย PSPF ที่เพิ่มมากขึ้น (จากร้อยละ 30 เป็น 50) มีผลทำให้หมั่นโถวมีค่าความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ตารางที่ 2) โดยลดลงจาก 10.07 เป็น 8.18 มิลลิเมตร เมื่อทดแทนด้วย PSPF ที่ร้อยละ 50 จากผลการทดลองจะให้ได้ว่าเมื่อทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF หมั่นโถวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกาะติดและความยืดหยุ่นมีค่าลดลง

เมื่อนำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวทั้ง 6 สูตร (ทดแทน WF ด้วย PSPF ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50) ไปวิเคราะห์ค่าสี ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่มีระดับของการทดแทน WF ด้วย PSPF เพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 50 ส่งผลต่อค่า *L**, *b** และ *a** (ตารางที่ 2) โดยค่า *L** และ *b** ของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม โดยลดลงจาก 77.58 เป็น 37.02 และลดลงจาก 12.16 เป็น 8.24 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า *a** เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก -0.30 เป็น 13.57 เมื่อปริมาณของ PSPF เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 50 ของแป้งสาลีทั้งหมด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF มีผลทำให้หมั่นโถวมีสีม่วง-แดงเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2)

ตารางที่ *2* แสดงลักษณะสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ในระดับที่แตกต่างกัน

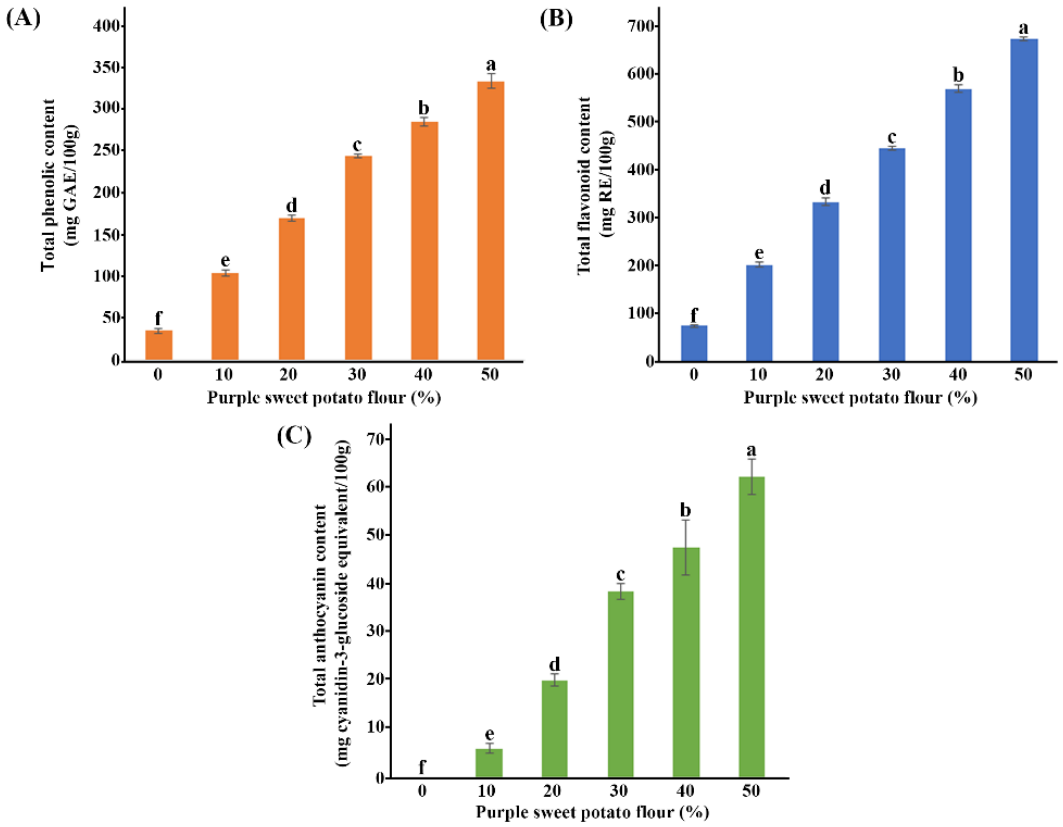
ปริมาณ PSPF (ร้อยละ)		ลักษณะเนื้อสัมผัส			ค่าสี		
		Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness (mm)	*L**	*a**	*b**
0		2.36±0.33f	0.864±0.010a	10.07±0.58a	77.58±1.40a	-0.30±0.11f	12.16±0.06a
10		3.68±0.63e	0.856±0.020a	10.04±0.45a	64.67±1.41b	6.27±0.24e	11.31±0.15b
20		4.90±0.19d	0.870±0.010a	9.71±0.28a	57.16±1.50c	9.32±0.09d	10.84±0.07c
30		7.37±0.25c	0.852±0.032a	9.23±0.10b	48.55±2.13d	11.87±0.39c	10.34±0.08d
40		8.69±0.50b	0.856±0.010a	8.80±0.33b	42.82±1.16e	12.49±0.30b	8.87±0.28e
50		27.73±1.76a	0.688±0.026b	8.18±0.26c	37.02±2.72f	13.57±0.39a	8.24±0.14f

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการศึกษาปริมาณการทดแทน WF ด้วย PSPF ต่อปริมาณสารพฤกษเคมี และประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ที่ระดับต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าเมื่อระดับของการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 50 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมีปริมาณสาร

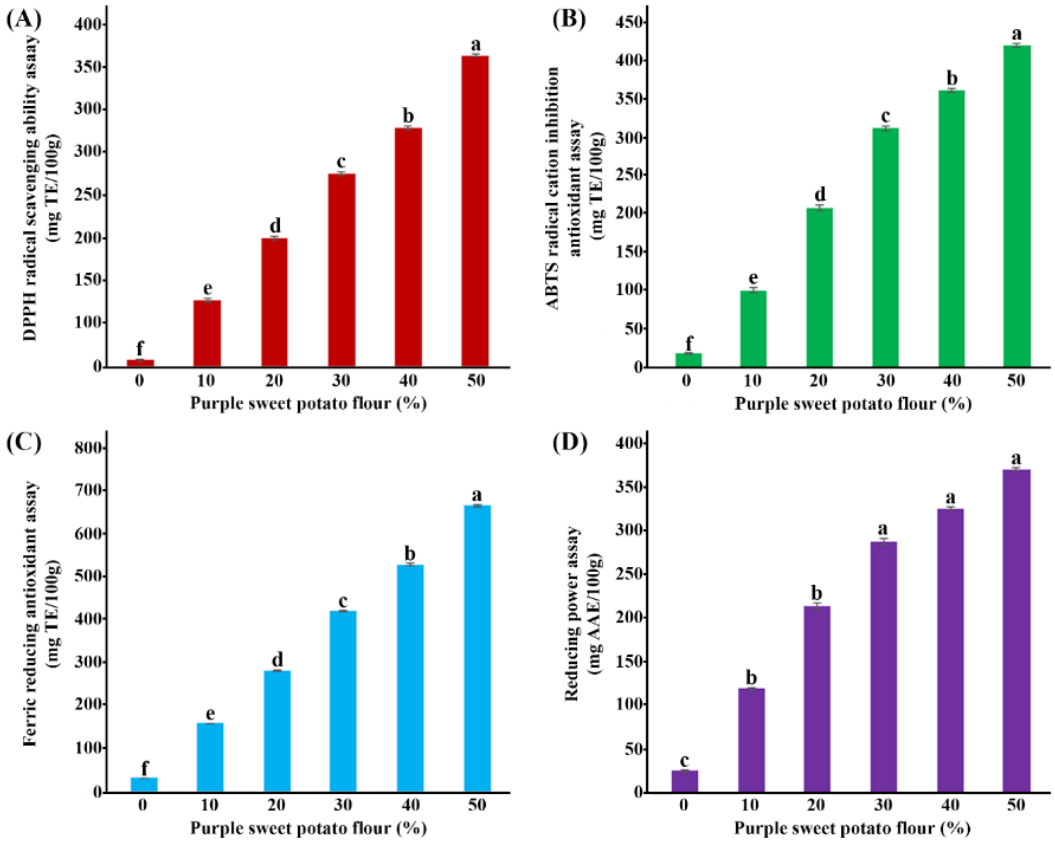
ฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 34.63 เป็น 333.71 mg GAE/100g (ภาพที่ 3A) จาก 73.64 เป็น 656.88 mg RE/100 g (ภาพที่ 3B) และจากที่ไม่มีสารแอนโทไซยานิน (0.00 mg CyGE/100g) เพิ่มขึ้นเป็น 62.62 mg CyGE/100g ตามลำดับ (ภาพที่ 3C)



ภาพที่ *3* แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (A) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (B) และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (C) ของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ในระดับที่แตกต่างกัน

เมื่อนำหมั่นโถวทั้ง 6 สูตร ที่ทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF มาทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF ด้วย PSPF เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 50 มีกิจกรรมในการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 6.82 เป็น 365.37 mg TE/100g (ภาพที่ 4A) ส่วนการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS, FRAP และ reducing power ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว พบว่าประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการทดสอบด้วยวิธี DPPH ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม โดยเพิ่มขึ้นจาก 18.75 เป็น 421.86 mg TE/100g เมื่อทดสอบด้วยวิธี ABTS (ภาพที่ 4B) เพิ่มขึ้นจาก 31.17 เป็น 666.89 mg TE/100g เมื่อทดสอบด้วยวิธี FRAP (ภาพที่ 4C) และเมื่อทดสอบด้วยวิธี reducing power มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 25.52

เป็น 370.87 mg AAE/100g (ภาพที่ 4D) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับระดับของการทดแทน WF ด้วย PSPF ที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นถึง 11.98-56.55, 5.42-22.76, 5.09-21.40 และ 4.70-14.56 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดแทน WF คือ PSPF เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของสารพฤกษเคมีที่มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน



ภาพที่ *4* แสดงประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี (A) DPPH radical scavenging ability, (B) ABTS radical cation inhibition antioxidant, (C) Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ (D) Reducing power ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF ด้วย PSPF ในระดับที่แตกต่างกัน

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาจากวัตถุดิบหลัก คือ แป้งสาลี ซึ่งพบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการ และมีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันต่ำ การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF จะช่วยเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมี และฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านออกซิเดชัน จากการเตรียม PSPF ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง และนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบแป้ง โดย WF ที่ใช้ในการผลิตหมั่นโถวมีค่า *L**, *a** และ *b** ใกล้เคียงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaur *et al*. (2017) ที่รายงานว่า WF มีค่า *L**, *a** และ *b** เท่ากับ 84.20, 0.51 และ 6.94 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีระหว่าง WF และPSPF พบว่าค่า *L** และ *b** ของ WF มีค่ามากกว่า PSPF ในขณะที่ค่า *a** ของ WF มีค่าน้อยกว่า PSPF

เนื่องจาก PSPF มีเนื้อแป้งเป็นสีม่วงที่เกิดจากรงควัตถุสีม่วง-แดงของสารแอนโทไซยานิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oliveira *et al*. (2019) ที่รายงานว่าในเนื้อมันเทศสีม่วงพบสารพฤกษเคมีในกลุ่ม acylated anthocyanin ได้แก่ peonidin-3-(6′-hydroxybenzoyl)-sophoroside-5-glucoside,peonidin-3-(6′-hydroxybenzoyl-6″-caffeoyl)-sophoroside-5-glucoside, peonidin3-coumaryl-phydroxybenzoyl-sophoroside-5-glucoside และ cyanidin 3-caffeoyl- phydroxybenzoyl-sophoroside-5-glucoside (Wang *et al*., 2017; Jang *et al*., 2019) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสีที่พบในมันเทศแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน Tang *et al*. (2015) และ Charoenphun (2017) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าสีของเนื้อแป้งมันเทศสีต่าง ๆ ได้แก่ มันเทศเนื้อสีเหลือง (yellow) เนื้อสีส้ม (orange) และเนื้อสีม่วงเข้ม (deep purple) พบว่ามันเทศเนื้อสีม่วงเข้มประกอบด้วยรงควัตถุสีม่วง-แดงของสารแอนโทไซยานิน ในขณะที่มันเทศเนื้อสีเหลืองและเนื้อสีส้มจะมีรงควัตถุสีเหลืองของสารเบต้า-แคโรทีน ซึ่งรงควัตถุที่แตกต่างกันจะส่งผลทำให้ค่า L^*, a^* และ b^* มีค่าแตกต่างกันด้วย โดยเนื้อมันเทศที่มีรงควัตถุเปลี่ยนจากสารเบต้า-แคโรทีนเป็นสารแอนโทไซยานินนั้น ค่า L^* และ b^* จะลดลง ในขณะที่ a^* มีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่า a* จะสัมพันธ์กับปริมาณของสารแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในปริมาณที่สูง

เมื่อนำ WF และ PSPF มาวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤกษเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่า PSPF มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (496.94 mg GAE/100g) สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (1,096.01 mg RE/100g) และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (132.20 mg CyGE/100g) สูงกว่าใน WF (139.88 mg GAE/100g, 248.39 mg RE/100g และ 0.00 mg CyGE/100g) ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Kaur *et al*. (2017) ที่พบว่า WF มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพียง 8.23 mg GAE/100g ในขณะที่ Tang *et al*. (2015) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีในมันเทศเนื้อสีเหลือง ขาว ส้ม ม่วงอ่อน และม่วงเข้ม พบว่ามันเทศเนื้อสีม่วงเข้มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (16.79 mg GAE/g) และสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (15.68 mg CyE/g) สูงที่สุด ส่วนมันเทศเนื้อสีส้มมีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนมากที่สุด (157.90 µg/g) ในขณะที่มันเทศเนื้อสีขาวและเนื้อสีเหลืองจะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุด ตามลำดับ ซึ่งสารเหล่านี้พบว่ามีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน เมื่อนำ WF และ PSPF มาทดสอบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power พบว่าประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของ WF น้อยกว่าใน PSPF ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaur *et al*. (2017) พบว่า WF มีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันต่ำเพียงร้อยละ 6.35 และ 4.29 µM AAE/g เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH และ reducing power ตามลำดับ ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันจะสัมพันธ์กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่พบในวัตถุดิบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tang *et al*. (2015) รายงานว่ามันเทศเนื้อสีม่วงมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่ามันเทศเนื้อสีเหลือง ขาว ส้ม และม่วงอ่อน ดังนั้นจากผลการทดลอง จึงมีความเป็นไปได้ที่พัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวโดยการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะส่งผลดีต่อผู้บริโภคที่ใส่ใจในเรื่องของสุขภาพ และช่วยป้องกันการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่าง ๆ

จากการนำ PSPF มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตหมั่นโถว โดยศึกษาปริมาณการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ต่อลักษณะทางเคมีกายภาพ และประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน โดยหมั่นโถวที่ทดแทนด้วย PSPF ในระดับที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 50 ของส่วนผสมแป้งสาลีทั้งหมด มีผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการเกาะติดและความยืดหยุ่นลดลง เนื่องมาจากในหมั่นโถวจะมี WF เป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนกลูเตน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำหรือของเหลวจะมีลักษณะเป็นยางเหนียว และยืดหยุ่นได้ กลูเตนจะประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ (1) กลูเตนิน (glutenin) เป็นโปรตีนที่ช่วยให้โดหรือก้อนแป้ง

ผสมมีกำลังในการกักเก็บก๊าซ CO_2 ที่ถูกผลิตขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักโดยยีสต์หรือผงฟู ซึ่งเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว และ (2) ไกลอะดิน (gliadin) เป็นโปรตีนที่ช่วยให้กลูเตนมีคุณสมบัติยืดตัว และมีความยืดหยุ่น ดังนั้นเมื่อปริมาณของ PSPF เพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 50 ซึ่งปริมาณของ WF ลดลง มีผลทำให้ปริมาณกลูเตนในแป้งโดถูกเจือจางลงไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zun & Sun (2019) ได้ศึกษาปริมาณการเสริม PSPF ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว พบว่าเมื่อระดับของเสริมเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 5 ถึง 50 ส่งผลให้หมั่นโถวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกาะติดและความยืดหยุ่นมีค่าลดลง เนื่องมาจากปริมาณของสารกลูเตนใน WF ถูกเจือจางด้วย PSPF ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลักโดยมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน ตัวอย่างเช่น การเพิ่มปริมาณการทดแทน WF ด้วยแป้งเมล็ดเจีย (chia seed flour)(Zhu & Chan, 2018) แป้งมันฝรั่ง (Cao *et al*., 2019) แป้งจมูกข้าวสาลี (wheat germ flour) (Sun *et al*., 2015) และใยอาหารจาก เลมอน (Fu *et al*., 2015) มีผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเพิ่มขึ้น และมีค่าการเกาะติดและความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบสูตรควบคุม

ส่วนผลของการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวทั้ง 6 สูตร เมื่อปริมาณ PSPF ที่ใช้ทดแทน WF ในหมั่นโถวเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 50 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมีสีม่วง-แดงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากในเนื้อมันเทศสีม่วงมีส่วนประกอบของสารสีแอนโทไซยานินอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วง-แดง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zun & Sun (2019) รายงานว่าเมื่อเสริม PSPF ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจากร้อยละ 0 ถึง 50 ส่งผลทำให้หมั่นโถวมีสีม่วงเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น และเมื่อนำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวสูตรต่าง ๆ มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารแอนโทไซยานินทั้งหมด พบว่ามีปริมาณสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาทดแทน WF คือ PSPF มีสารพฤกษเคมีในกลุ่มนี้อยู่ในปริมาณสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zun & Sun (2019) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวด้วยการเสริม PSPF ในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าระดับของการเสริมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 ถึง 50 ส่งผลให้หมั่นโถวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับการการพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ และสารพฤกษเคมีด้วยการเติมสารสกัดเปลือกข้าวบาร์เลย์ (barley hull extract, BHE) สารสกัดจากเปลือกเมล็ดแฟลกซ์ (flaxseed hull extract, FHE) และสารสกัดผสมระหว่างเปลือกข้าวบาร์เลย์และเปลือกเมล็ดแฟลกซ์ (barley-flaxseed hull extract, BFHE) พบว่าผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ผลิตได้มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นร้อยละ 83.12, 138.34 และ 99.36 ตามลำดับ โดยหมั่นโถวที่เติม BHE ประกอบไปด้วยสาร ferulic acid และ *p*-coumaric acid ส่วนหมั่นโถวที่เติม FHE มีปริมาณสาร secoisolariciresinol diglucoside, ferulic acid glucoside และ coumaric acid glucoside ในปริมาณสูง ในขณะที่หมั่นโถวที่เติม BFHE มีสารพฤกษเคมีที่พบทั้งใน BHE และ FHE และเมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) พบว่าหมั่นโถวที่เติมสารสกัดดังกล่าวมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.50 ถึง 90.69 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (Hao & Beta, 2012) ในขณะที่ Wu *et al*. (2018) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวด้วยการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวฟ่างสีขาวและสีแดง ซึ่งเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ โดยทดแทนที่ร้อยละ 0 ถึง 30 พบว่าหมั่นโถวที่ทดแทนด้วยข้าวฟ่างทั้งสองชนิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหมั่นโถวที่ทดแทนด้วยข้าวฟ่างสีขาวประกอบด้วยสาร caffeic acid, ferulic acid,

salicylic acid และ *p*-coumaric acid ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก ในขณะที่หมั่นโถวที่ทดแทนด้วยข้าวฟ่างสีแดงประกอบด้วยสารฟีนอลิกดังกล่าวและมีสารประกอบฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นมา ได้แก่ สาร luteolin, apigenin, naringenin และ eriodictyol ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ดังนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ORAC พบว่าหมั่นโถวที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวฟ่างสีแดงมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าหมั่นโถวที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวฟ่างสีขาว เนื่องจากในผลิตภัณฑ์มีปริมาณสารพฤกษเคมีที่สูงกว่า ดังนั้นจากการทดลองเมื่อนำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทน WF ด้วย PSPF มาทดสอบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน พบว่าเมื่อระดับของการทดแทน WF ด้วย PSPF ที่เพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 50 มีผลทำให้หมั่นโถวกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เนื่องจาก PSPF เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินในปริมาณที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารพฤกษเคมีใน PSPF และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zun & Sun (2019) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวด้วยการใช้ PSPF ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณการเสริม PSPF ที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 50 ส่งผลให้หมั่นโถวมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH (เพิ่มขึ้นจาก 820 เป็น 1,020 μM TE/100g), ABTS (เพิ่มขึ้นจาก 51 เป็น 320 μM TE/100g) และ FRAP (เพิ่มขึ้นจาก 51 เป็น 530 μM TE/100g) ในขณะที่ Zhu *et al*. (2016) ได้ศึกษาผลของการเติมสารสกัดชาดำ (black tea extract) ในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว พบว่าหมั่นโถวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น และส่งผลให้กิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ทดสอบด้วยวิธี ABTS และ FRAP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระดับการเติมสารสกัดชาดำเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมันม่วงเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สามารถพัฒนาเป็นสินค้าที่สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรกลุ่มผู้ปลูกมันเทศ ซึ่งสามารถนำหัวมันเทศสีม่วงมาแปรรูปเป็นแป้งที่มีส่วนประกอบของสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานิน รวมทั้งมีกิจกรรมในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าใน WF โดยผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมันม่วงที่ได้จากการทดแทน WF บางส่วนด้วย PSPF ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 50 มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารแอนโทไซยานินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเพิ่มขึ้นถึง 3.02-9.67, 2.69-8.93 และ 5.95-62.62 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับหมั่นโถวสูตรควบคุม (WF ร้อยละ 100) รวมทั้งมีกิจกรรมในการต้านออกซิเดชันเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS, FRAP และ reducing power สูงกว่าหมั่นโถวสูตรควบคุมซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้น 11.98-56.55, 5.42-22.76, 5.09-21.40 และ 4.70-14.56 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ผลิตขึ้นมาใหม่เหมาะกับการเป็นอาหารว่างสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ 2560 ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Charoenphun, N. (2017). Development of cookie products from sweet potato. *Journal of Food Technology, Siam University, 13*(1), 32-43. (in Thai)

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

Cai, Z., Song, L., Qian, B., Xu, W., Ren, J., Jing, P., & Oey, I. (2018). Understanding the effect of anthocyanins extracted from purple sweet potatoes on alcohol-induced liver injury in mice. *Food Chemistry, 245*, 463-470.

Cao, Y., Zhang, F., Guo, P., Dong, S., & 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 Science and Technology, 111*, 527-533.

Chen, H., Sun, J., Liu, J., Gou, Y., Zhang, X., Wu, X., Sun, R., Tang, S., Kan, J., Qian, C., Zhang, N., & Jin, C. (2019). Structural characterization and anti-inflammatory activity of alkali-soluble polysaccharides from purple sweet potato. *International Journal of Biological Macromolecules, 131*, 484-494.

Fu, J.T., Chang, Y.H., & Shiau, S.Y. (2015). Rheological, antioxidative and sensory properties of dough and Mantou (steamed bread) enriched with lemon fiber. *LWT-Food Science and Technology, 61*, 56-62.

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

Grace, M.H., Yousef, G.G., Gustafson, S.J., Truong, V.D., Yencho, G.C., & Lila, M.A. (2014). Phytochemical changes in phenolics, anthocyanins, ascorbic acid, and carotenoids associated with sweet potato storage and impacts on bioactive properties. *Food Chemistry, 145*, 717-724.

Guo, K., Liu, T., Xu, A., Zhang, L., Bian, X., & Wei, C. (2019). Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids, 89*, 829-836.

Hao, M., & Beta, T. (2012). Development of Chinese steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts. *Food Chemistry, 133*, 1320-1325.

Ishida, H., Suzuno, H., Sugiyama, N., Innami, S., Tadokoro, T., & Maekawa, A. (2000). Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas poir*). *Food Chemistry, 68*, 359-367.

Jang, H.H., Kim, H.W., Kim, S.Y., Kim, S.M., Kim, J.B., & Lee, Y.M. (2019). In vitro and in vivo hypoglycemic effects of cyaniding 3-caffeoyl-phydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside, an anthocyanin isolated from purple-fleshed sweet potato. *Food Chemistry, 272*, 688-693.

Kaur, M., Singh, V., & Kaur, R. (2017). Effect of partial replacement of wheat flour with vary levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 9*, 14-20.

Kubola, J., Siriamornpun, S., & Meeso, N. (2011). Phytochemical, vitamin C and sugar content of Thai wild fruits. *Food Chemistry, 126*, 972-981.

Oliveira, H., Basílio, N., Pina, F., Fernandes, I., de Freitas, V., & Mateus, N. (2019). Purple-fleshed sweet potato acylated anthocyanins: Equilibrium network and photophysical properties. *Food Chemistry, 288*, 386-394.

Qiao, F., Huang, L.L., & Xia, W.S. (2012). A study on microwave vacuum dried re-structured lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) mixed with purple sweet potato (*Ipomoea batatas*) snacks. *Food and Bioproducts Processing, 90*, 653-658.

Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & 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.). *Journal of Cereal Science, 59*, 211-218.

Sun, R., Zhang, Z., Hu, X., Xing, Q., & Zhuo, W. (2015). Effect of wheat germ flour addition on wheat flour, dough and Chinese steamed bread properties. *Journal of Cereal Science, 64*, 153-158.

Tang, C., Sun, J., Liu, J., Jin, C., Wu, X., Zhang, X., Chen, H., Gou, Y., Kan, J., Qian, C., & Zhang, N. (2019). Immune-enhancing effects of polysaccharides from purple sweet potato. *International Journal of Biological Macromolecules, 123*, 923-930.

Tang, Y., Cai, W., & Xu, B. (2015). Profiles of phenolics, carotenoids and antioxidative capacities of thermal processed white, yellow, orange and purple sweet potatoes grown in Guilin, China. *Food Science and Human Wellness, 4*, 123-132.

Thai Industrial Standards Institute (TISI). (2004). Thai Community Product standards; Sa-La-Pao (505/2547). Retrieved June 20, 2018, from: http://tcps.tisi.go.th/public/certificatesearch.aspx.

Wang, L., Zhao, Y., Zhou, Q., Luo, C.L., Deng, A.P., Zhang, Z.C., & Zhang, J.L. (2017). Characterization and hepatoprotective activity of anthocyanins from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L. cultivar *Eshu* No. 8). *Journal of food and drug analysis, 25*, 607-618.

Wu, G., Shen, Y., Qi, Y., Zhang, H., Wang, L., Qian, H., Qi, X., Li, Y., & Johnson, S.K. (2018). Improvement of in vitro and cellular antioxidant properties of Chinese steamed bread through sorghum addition. *LWT-Food Science and Technology, 91*, 77-83.

Wu, Q., Qu, H., Jia, J., Kuang, C., Wen, Y., Yan, H., & Gui, Z. (2015). Characterization, antioxidant and antitumor activities of polysaccharides from purple sweet potato. *Carbohydrate Polymers, 132*, 31-40.

Xu, J., Su, X., Lim, S., Griffin, J., Carey, E., Katz, B., Tomich, J., Smith, J.S., & Wang, W. (2015). Characterisation and stability of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato P40. *Food Chemistry, 186*, 90-96.

Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., & Wei, C. (2018). Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids, 80*, 168-176.

Zhuang, J., Lu, J., Wang, X., Wang, X., Hu, W., Hong, F., Zhao, X.X., & Zheng, Y.L. (2019). Purple sweet potato color protects against high-fat diet-induced cognitive deficits through AMPK-mediated autophagy in mouse hippocampus. *Journal of Nutritional Biochemistry, 65*, 35-45.

Zhu, F., & Chan, C. (2018). Effect of chia seed on glycemic response, texture, and sensory properties of Chinese steamed bread. *LWT-Food Science and Technology, 98*, 77-84.

Zhu, F., & Sun, J. (2019). Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour. *Food Bioscience, 30*, 100411.

Zhu, F., Sakulnak, R., & Wang, S. (2016). Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread. *Food Chemistry, 194*, 1217-1223.