http://journal.rmutp.ac.th/

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในผลิตภัณฑ์อาหารว่างเสริมผงใบหม่อน

จักรกฤษณ์ ทองคำ[1]* ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร[2] รัชนี คงคาฉุยฉาย[3] และ ริญ เจริญศิริ[4]

[1, 2] ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3, 4] สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

[1, 2] 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[3, 4] 999 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล นครปฐม 73170

รับบทความ 4 มกราคม 2563 แก้ไขบทความ 17 มิถุนายน 2563 ตอบรับบทความ 23 กรกฎาคม 2563

บทคัดย่อ

ใบหม่อนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพเนื่องจากอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด จึงทำให้ใบหม่อนได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวม ปริมาณสารโพลีฟีนอล ในผลิตภัณฑ์อาหารว่าง 4 ชนิด ได้แก่ ขนมปังจืด ขนมปุยฝ้าย ขนมเปียกปูน และขนมบัวหิมะ ที่เสริมผงใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งในสูตรผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ผลการวิเคราะห์พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารโพลีฟีนอลในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ที่เสริมผงใบหม่อน มีปริมาณมากขึ้นกว่าอาหารว่างที่ไม่ได้เสริมผงใบหม่อน ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารโพลีฟีนอลในผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมทั้ง 4 ชนิดพบแต่เพียงกรดเฟอรูลิก (Ferulic Acid) และเมื่อเสริมผงใบหม่อนพบสารโพลีฟีนอล ได้แก่ แคมเฟอรอล (Kaempferol) เควอซิติน (quercetin) และกรดคาเฟอิก (Caffeic Acid) ในปริมาณสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนกรดเฟอรูลิก (Ferulic Acid) มีปริมาณลดลง ดังนั้นคุณสมบัติการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผงใบหม่อน สามารถใช้เป็นข้อแนะนำในการเสริมในอาหารเพื่อสุขภาพ

คำสำคัญ : สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ; ฟลาโวนอยด์; แคมเฟอรอล; เควอซิติน; กรดคาเฟอิก

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 5133 1747, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: chukkrit.t@ku.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

Antioxidant Activities and Polyphenol Compounds in Snack Products Fortified with Mulberry Leaf Powder

Chukkrit Thongkham[1]* Taweesak Techakriengkrai[2] Ratchanee Kongkachuicai[3] and Rin Charoensiri[4]

[1, 2] Food and Nutrition Program, Department of Home Economic, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

[3, 4] Institute of Nutrition Mahidol University

[1, 2] 50 Paholayothin Road, Lad Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900

[3, 4] 999 Phutthamonthon Sai 4 Road, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom, 73170

Received 4 January 2020; Revised 17 June 2020; Accepted 23 July 2020

Abstract

The potential health benefits attributed to mulberry leaf and its bioactive compounds have led to a huge increase of mulberry leaf products in the food market. The objective of this research was to determine total antioxidant activities (FRAP and DPPH assays) and polyphenol compounds in 4 snack products i.e. loaf-bread, puifai (Thai steamed cupcakes), peakpoon (Green coconut sweet pudding) and snow skin mooncake fortified with 10% mulberry leaf powder from " Buri Rum 60" cultivar. The result showed that antioxidant activities and polyphenol contents increased in 4 products fortified with mulberry leaf powder. Ferulic acid was the only phenolic compound found in all original products. Kaempferol, quercetin and caffeic acid were significantly increased, whereas ferulic acid was reduced in the modified formulas. Therefore, these bioactive compounds properties of mulberry leaf powder suggested their possible use for fortifying the healthy foods.

Keywords : Bioactive Compounds; Flavonoid; Kaempferol; Quercetin; Caffeic Acid

** Corresponding Author. Tel.: +668 5133 1747, E-mail Address: chukkrit.t@ku.th*

1. บทนำ

การดำรงชีวิตของคนในสังคมปัจจุบันนั้นมีความเร่งรีบและต้องทำงานแข่งขันกับเวลามากขึ้น ส่งผลต่อพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เปลี่ยนไป ทำให้ผู้บริโภคได้รับคุณค่าทางโภชนาการไม่ครบถ้วน เป็นเหตุให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non communicable disease : NCD) ตามมา เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือดและสมอง โรคมะเร็ง เป็นต้น จากมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยแล้วว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคความดัน โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเบาหวา โรคอัลไซเมอร์ [1] สารต้านอนุมูลอิสระถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิด โดยธรรมชาติแล้วสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้จะพบได้ในพืชผัก ผลไม้ชนิดต่าง ๆ เครื่องเทศ และชา

ชาเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่สำคัญ พืชสมุนไพรท้องถิ่นของไทยที่ได้รับความนิยมในการทำชาในปัจจุบัน คือ ใบหม่อน จากการศึกษางานวิจัยพบว่าใบหม่อน (*Morus alba L.*) มีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดในกลุ่มโพลีฟีนอล มีสารฟลาโวนอยด์ คือ รูทิน (Rutin) เควอซิติน (Qurecetin) แคมเฟอรอล (Kaempferol) และสารฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก [2] สารประกอบโพลีฟีนอลหรือฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันหรือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีผลป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด [3]-[5] โรคมะเร็งตับอ่อน [6], [7] เนื้องอกลำไส้ใหญ่ [8] ลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งกระเพาะอาหาร และหลอดอาหาร [9] และลดการเกิดมะเร็งปอด [10] นอกจากนี้ยังพบว่า ใบหม่อนยังมีสารพวกอัลคาลอยด์ 1-ดีออกซีโนจิริมายซิน (1-Deoxynojirimycin, DNJ) ที่สามารถช่วยลดระดับน้ำตาล [11]-[13] มีผลลดระดับน้ำตาลในเลือดสัตว์ทดลอง [14] กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (Gamma-aminobutyric Acid, GABA) มีผลลดความดันเลือดและลดการอักเสบในสมองของผู้ได้รับอุบัติเหตุทางสมอง [15] มีสารกลุ่มไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) ลดระดับไขมันในเลือด (คอเลสเตอรอล) อีกทั้งไม่พบผลข้างเคียง จึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค [16] ชาใบหม่อนมีรสชาติเฉพาะตัวไม่มีรสฝาดและไม่ขม และมีสารเคเฟอีนน้อยมาก น้อยกว่าใบชา 200 เท่า หรือพบเพียงร้อยละ 0.01 หรือไม่พบเลย และไม่ต้องกังวลกับอาการท้องผูก อีกทั้งยังมีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับชาชนิดอื่น ๆ

ผู้วิจัยได้ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของผงใบหม่อน ที่เสริมในอาหารว่าง 4 ชนิด ได้แก่ ขนมปังจืด ขนมปุยฝ้าย ขนมเปียกปูน และขนมบัวหิมะในปริมาณร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของน้ำหนักแป้งแต่ละชนิด พบว่า การเสริมผงใบหม่อนในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งในอาหารว่างทั้ง 4 ชนิดได้รับการยอมรับมากที่สุด [21] ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ผงใบหม่อนที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารว่างทั้ง 4 ชนิดในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งแต่ละชนิด เพื่อให้ทราบถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อนทั้ง 4 ชนิด ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีประโยชน์เพื่อส่งเสริมสุขภาพหรือป้องกันโรคต่าง ๆ โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ขนมปังสามารถรับประทานแทนข้าว เป็นอาหารที่มีสารอาหารคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก และสามารถให้พลังงานกับร่างกายได้ ตลอดทั้งเป็นที่รู้จักและนิยมบริโภคทั้งคนไทยและคนต่างชาติ ขนมปุยฝ้ายจัดเป็นขนมเศรษฐกิจที่ใช้ได้เกือบทุกเทศกาล และในงานพิธีมงคลต่าง ๆ สามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการอย่างแพร่หลาย ขนมเปียกปูน เป็นขนมไทยที่มักใช้น้ำใบเตยเป็นส่วนประกอบซึ่งให้รงควัตถุสีเขียว (คลอโรฟิลล์) จึงมีแนวความคิดในการใช้ผงใบหม่อนซึ่งมีสีเขียวมาแทนน้ำใบเตยซึ่งคาดว่าจะได้คุณค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ และขนมบัวหิมะเป็นขนมมงคลที่เป็นที่รู้จักของคนไทยเชื้อสายจีนเป็นอย่างดี นิยมใช้ในพิธีมงคล และเทศกาลงานต่าง ๆ

จึงถูกคัดเลือกเป็นอีกหนึ่งตัวอย่างในการทดลองในครั้งนี้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารว่างมีคุณค่าทางโภชนาการมากยิ่งขึ้น ตลอดทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ยกระดับรายได้ของกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกหม่อนเลี้ยงไหม ส่งเสริมให้มีการใช้ผงใบหม่อนให้เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง ตลอดทั้งผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ที่เสริมผงใบหม่อนจะได้คุณค่าสารต้านอนุมูลอิสระในผงใบหม่อนที่เสริมลงในอาหารว่าง และถือเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของอาหารเพื่อสุขภาพ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

ผงใบหม่อนสำเร็จรูปพันธุ์บุรีรัมย์ 60 จากศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ จ.นครราชสีมา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้

2.2 การเตรียมตัวอย่างอาหารว่าง

2.2.1 ขนมปังจืด ส่วนประกอบในการเตรียมขนมปังจืด [17] ได้แก่ แป้งขนมปัง 800 กรัม แป้งสาลี 200 กรัม นมผง 7 กรัม ยีสต์ 20 กรัม น้ำเย็น 520 กรัม น้ำตาลทราย 200 กรัม เกลือป่น 6 กรัม ไข่ไก่ 2 ฟอง และเนยสด 200 กรัม

วิธีทำร่อนแป้งทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ใส่นมผงและยีสต์ เคล้าให้เข้ากัน ผสมน้ำเย็น เกลือ น้ำตาลทราย ไข่ไก่ เข้าด้วยกัน เทใส่ในส่วนผสมของแป้ง นวดพอเข้ากัน ใส่เนยสดลงไปผสมให้เข้ากัน แล้วนวดต่อจนแป้งเนียน พักส่วนผสมแป้ง 20 นาที แล้วนำมานวดไล่อากาศออก จากนั้นตัดแป้งเป็นก้อน ก้อนละ 200 กรัม คลึงก้อนกลมใส่พิมพ์พักไว้ให้ขึ้นเป็น 2 เท่า นำเข้าอบอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อขนมเหลืองสุกนำออกจากเตา ทาเนยสดให้ทั่ว พักวางให้เย็น

2.2.2 ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 รวมทั้งวิธีทำคล้ายกับการทำขนมปังจืด ยกเว้นเสริมผงใบหม่อนลงไปร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

2.2.3 ขนมปุยฝ้าย ส่วนประกอบในการเตรียมขนมปุยฝ้าย [18] ได้แก่ แป้งเค้ก 600 กรัม ผงฟู 8 กรัม น้ำเปล่า 240 กรัม (ส่วนที่1) สารเพิ่มปริมาตร 45 กรัม น้ำตาลทราย 400 กรัม ไข่เป็ด 4 ฟอง นมข้นหวาน 250 กรัม น้ำเปล่า 240 กรัม (ส่วนที่ 2) และน้ำมะนาว 1 ช้อนโต๊ะ

วิธีทำ ร่อนแป้งกับผงฟูเข้าด้วยกันแล้วพักไว้ ตีสารเพิ่มปริมาตรกับน้ำส่วนที่ 1 ด้วยความเร็วสูง 2 นาที ลดความเร็วลงต่ำ 3 นาที ใส่น้ำตาลทรายทีละน้อย ตีด้วยความเร็วปานกลาง 5 นาที ใส่ไข่ตีด้วยความเร็วปานกลาง 5 นาที ลดความเร็วลงต่ำใส่นมข้นหวาน น้ำเปล่าส่วนที่ 2 ผสมให้เข้ากัน ใส่แป้งที่ร่อนแล้วให้หมด ตีด้วยความเร็วสูง 2 นาที และลดความเร็วลงต่ำ 1 นาที ใส่น้ำมะนาว ผสมให้เข้ากัน ตักส่วนผสมออกจากเครื่อง ตักใส่พิมพ์ที่รองด้วยกระดาษ นำไปนึ่งในลังถึงที่มีน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

2.2.4 ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 รวมทั้งวิธีทำคล้ายกับการทำขนมปุยฝ้าย ยกเว้นเสริมผงใบหม่อนลงไปร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

2.2.5 ขนมเปียกปูน ส่วนประกอบในการเตรียมขนมเปียกปูน [19] ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า 60 กรัม แป้งมันสำปะหลัง 10 กรัม น้ำเปล่า 240 กรัม น้ำปูนใส 300 กรัม น้ำตาลปึก 150 กรัม

วิธีทำ ผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลังรวมกัน ผสมน้ำเปล่า น้ำปูนใส น้ำตาลปึกรวมกัน คนให้น้ำตาลละลาย เทส่วนผสมของเหลวใส่ส่วนผสมแป้ง โดยใส่ทีละน้อยนวดจนแป้งรวมตัวเป็นก้อนมีลักษณะนุ่มมือ ประมาณ 15 นาที ใส่ของเหลวที่เหลือจนหมดผสมให้

เข้ากัน จากนั้นใส่กระทะทองเหลือง ยกขึ้นตั้งไฟกวนโดยใช้ไฟแรง กวนจนส่วนผสมรวมกันเป็นก้อน ลดไฟลงใช้ไฟปานกลาง กวนจนแป้งร่อนจากกระทะทองเหลือง เทใส่ถาด พักให้เย็นแล้วตัดเป็นชิ้น

2.2.6 ขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 รวมทั้งวิธีทำคล้ายกับการทำขนมเปียกปูน ยกเว้นเสริมผงใบหม่อนลงไปร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

2.2.7 ขนมบัวหิมะ ส่วนประกอบในการเตรียมขนมบัวหิมะ [20] ส่วนผสมของตัวแป้ง ได้แก่ แป้งขนมโก๋ 120 กรัม น้ำตาลไอซิ่ง 100 กรัม น้ำต้มสุก 140 กรัม และเนยขาว 40 กรัม ส่วนผสมของตัวไส้ ได้แก่ นมข้นจืด 400 กรัม ไข่ไก่ 300 กรัม น้ำตาลทราย 400 กรัม แป้งสาลี 175 กรัม และเนยสด 175 กรัม

วิธีทำส่วนผสมตัวแป้ง ทำแป้งเป็นบ่อตรงกลาง ผสมน้ำตาลไอซิ่ง น้ำต้มสุก เข้าด้วยกัน เทลงในบ่อแป้ง ผสมให้เข้ากันใส่เนยขาว นวดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งแป้งก้อนละ 15 กรัม ห่อไส้ก้อนละ 20 กรัม คลึงแป้งให้เป็นแผ่นกลม ห่อไส้ให้มิด อัดลงพิมพ์เคาะ บรรจุลงภาชนะ วิธีทำส่วนผสมตัวไส้ ผสมส่วนผสมทุกอย่างเข้าด้วยกัน คนพอให้น้ำตาลละลาย วางส่วนผสมลงในลังถึงคนทุก 5 นาที ด้วยตระกร้อมือจนส่วนผสมข้น

2.2.8 ขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 รวมทั้งวิธีทำคล้ายกับการทำขนมบัวหิมะ ยกเว้นเสริมผงใบหม่อนลงไปร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

2.3 การตรวจวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระของอาหารว่างทั้ง 4 ชนิด และอาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อนที่ระดับร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งแต่ละชนิด ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม ตามงานวิจัยของจักรกฤษณ์ และคณะ [21]

1. วิเคราะห์การออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) เทียบกับสารมาตรฐาน Trolox ดัดแปลงจาก I.F. Benzie และ J.J. Strain [22] และ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) เทียบกับสารมาตรฐาน L-ascorbic acid ตามวิธีของ P. Loypimai และคณะ [23]

2. วิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimeteic Method เทียบกับสารมาตรฐาน Gallic Acid ที่ความยาวคลื่น 765 nm ตามวิธีของ M. Kopjar และคณะ [24]

3. วิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงจาก D.Y. Zhang และคณะ [25]

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในตัวอย่างอาหารว่างก่อนเสริมและหลังเสริมผงใบหม่อนโดยใช้สถิติ Paired Samples T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอาหารว่าง และอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนแสดงในตารางที่ 1 และ 2

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP และ DPPH พบว่าอาหารว่างทั้ง 4 ชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่แล้ว และเพิ่มมากขึ้นเมื่อเสริมด้วยผงใบหม่อน โดยที่ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP และ DPPH เท่ากับ 934.35±1.00 μmoles TE/100g และ 80.54±3.10 mgAA/100g ตามลำดับ ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 645.11±13.85 μmoles

ตารางที่ 1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ในอาหารว่างและอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10

อาหารว่าง	FRAP(μmoles TE/100g)	P-value
ขนมปังจืด	188.37±10.74	0.013
ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อน	934.35±1.00	
ขนมปุยฝ้าย	123.65±3.59	0.015
ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อน	645.11±13.85	
ขนมเปียกปูน	215.54±11.62	0.038
ขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อน	266.39±15.90	
ขนมบัวหิมะ	91.01±2.39	0.031
ขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อน	499.40±25.82	

ตารางที่ 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในอาหารว่างและอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10

อาหารว่าง	DPPH (mgAA/100g)	P-value
ขนมปังจืด	27.57±1.03	0.035
ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อน	80.54±3.10	
ขนมปุยฝ้าย	76.14±1.30	0.189^{ns}
ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อน	79.40±0.11	
ขนมเปียกปูน	36.72±0.29	0.045
ขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อน	48.73±0.91	
ขนมบัวหิมะ	18.71±0.69	0.018
ขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อน	51.78±2.04	

หมายเหตุ ^{ns} ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

TE/100g และ 79.40±0.11 mgAA/100g ตามลำดับ ขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 499.40±25.82 μmoles TE/100g และ 51.78±2.04 mgAA/100g ตามลำดับ และขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 266.39±15.90 μmoles TE/100g และ 48.73±0.91 mgAA/100g ตามลำดับ

ด้วยวิธีของ FRAP (ตารางที่ 1) อาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อนจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าอาหารว่างที่ไม่ได้เสริมผงใบหม่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในอาหารว่างทั้ง 4 ชนิด ด้วยวิธี DPPH (ตารางที่ 2) พบว่า ขนมปังจืด ขนมเปียกปูน และขนมบัวหิมะที่เสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าที่ไม่เสริมผงใบหม่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าขนมปุยฝ้ายที่ไม่เสริมผงใบหม่อนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 3 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimeteic Method เทียบกับสารมาตรฐาน Gallic Acid พบว่า ขนมปังจืด ขนมปุยฝ้าย ขนมเปียกปูน และขนมบัวหิมะ มีปริมาณโพลีฟีนอล 128.66±5.40, 37.46±1.42, 72.63±4.25 และ 47.01±0.28 mg gallic acid equivalent/100 g ตามลำดับ และเมื่อเสริมผงใบหม่อนในอาหารว่างพบว่าปริมาณโพลีฟีนอลมากขึ้นในอาหารว่างทั้ง 4 ชนิด โดยที่ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณสารโพลีฟีนอล 228.97±12.08 mg GAE/100 g ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณโพลีฟีนอล 113.81±1.35 mg GAE/100 g ขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณโพลีฟีนอล 85.41±3.04 mg GAE/100 g และปริมาณโพลีฟีนอลในขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณ 87.96±0.50 mg GAE/100 g ขนมปุยฝ้าย ขนมเปียกปูน และขนมบัวหิมะที่เสริมผงใบหม่อนมีปริมาณสารโพลีฟีนอลมากขึ้นกว่าอาหารว่างที่ไม่ได้เสริมผงใบหม่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนขนมปังจืดที่เสริมผงใบหม่อนมีปริมาณสารโพลีฟีนอลมากกว่าขนมปังจืดที่ไม่ได้เสริมผงใบหม่อนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในอาหารว่างและอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10

อาหารว่าง	Total polyphenol (mg gallic acid equivalent/100 g)	P-value
ขนมปังจืด	128.66±5.40	0.078^{ns}
ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อน	228.97±12.08	
ขนมปุยฝ้าย	37.46±1.42	0.000
ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อน	113.81±1.35	
ขนมเปียกปูน	72.63±4.25	0.043
ขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อน	85.41±3.04	
ขนมบัวหิมะ	47.01±0.28	0.009
ขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อน	87.96±0.50	

หมายเหตุ ^{ns} ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4 สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในขนมปังจืดและขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10

ชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (µg/100 g)	ขนมปังจืด	ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10	P-value
Apigenin	ND	ND	
Ferulic acid	740.38±13.79	639.19±8.04	0.026
Hesperetin	ND	ND	
Kaempferol	ND	2,209.22±37.75	0.008
Luteolin	ND	ND	
Myricetin	ND	ND	
Naringenin	ND	ND	
Quercetin	ND	6,060.82±109.41	0.008
p-Coumaric acid	ND	ND	
Sinapic acid	ND	ND	
Caffeic acid	ND	7,098.68±173.04	0.011

หมายเหตุ ND = not detected

ตารางที่ 5 สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในขนมปุยฝ้ายและขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10

ชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (µg/100 g)	ขนมปุยฝ้าย	ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10	P-value
Apigenin	ND	ND	
Ferulic acid	218.57±5.85	185.72±3.32	0.124^{ns}
Hesperetin	ND	ND	
Kaempferol	ND	1,292.05±44.37	0.015
Luteolin	ND	ND	
Myricetin	ND	ND	
Naringenin	ND	ND	

ตารางที่ 5 สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในขนมปุยฝ้ายและขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 (ต่อ)

ชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (µg/100 g)	ขนมปุยฝ้าย	ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10	P-value
Quercetin	ND	3,372.51±133.23	0.018
p-Coumaric acid	ND	ND	
Sinapic acid	ND	ND	
Caffeic acid	ND	4,069.67±82.68	0.009

หมายเหตุ ^{ns} ค่าในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$), ND = not detected

ตารางที่ 6 สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในขนมเปียกปูนและขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10

ชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (µg/100 g)	ขนมเปียกปูน	ขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10	P-value
Apigenin	ND	ND	
Ferulic acid	439.85±3.52	399.27±3.63	0.001
Hesperetin	ND	ND	
Kaempferol	ND	373.58±9.55	0.012
Luteolin	ND	ND	
Myricetin	ND	ND	
Naringenin	ND	ND	
Quercetin	ND	558.92±21.34	0.017
p-Coumaric acid	ND	ND	
Sinapic acid	ND	ND	
Caffeic acid	ND	2,761.58±57.18	0.009

หมายเหตุ ND = not detected

ตารางที่ 7 สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในขนมบัวหิมะและขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10

ชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (µg/100 g)	ขนมบัวหิมะ	ขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10	P-value
Apigenin	ND	ND	
Ferulic acid	355.75±6.11	330.57±8.08	0.035
Hesperetin	ND	ND	
Kaempferol	ND	1,173.54±14.23	0.005
Luteolin	ND	ND	
Myricetin	ND	ND	
Naringenin	ND	ND	
Quercetin	ND	2,508.86±28.25	0.005
p-Coumaric acid	ND	ND	
Sinapic acid	ND	ND	
Caffeic acid	ND	3,177.36±38.80	0.005

หมายเหตุ ND = not detected

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลในขนมปังจืดและขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อน แสดงให้เห็นว่า ขนมปังจืดมี Ferulic Acid 740.38 ±13.79 µg/100 g และเมื่อเสริมผงใบหม่อนในขนมปังจืดพบว่า Ferulic Acid มีปริมาณ 639.19±8.04 µg/100 g ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่ามีสารฟลาโวนอยด์ชนิดอื่นเพิ่มขึ้น คือ Kaempferol, Quercetin และกรดฟีนอลิกชนิด Caffeic Acid ในปริมาณ 2,209.22±37.75, 6,060.82 ±109.41 และ 7,098.68±173.04 µg/100 g ตามลำดับ เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ไม่พบในขนมปังจืดสูตรมาตรฐาน

จากตารางที่ 5 ขนมปุยฝ้ายมี Ferulic Acid 218.57±5.85 µg/100 g ซึ่งเป็นกรดฟีนอลิกที่มีมากในธัญพืช เมื่อเสริมผงใบหม่อนในขนมปุยฝ้าย ปริมาณ Ferulic Acid 185.72±3.32 µg/100 g ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีฟลาโวนอยด์ คือ Kaempferol, Quercetin และกรดฟีนอลิกชนิด Caffeic Acid ในปริมาณ 1,292.05±44.37, 3,372.51 ±133.23 และ 4,069.67±82.68 µg/100 g ตามลำดับ เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 6 ขนมเปียกปูน ทำจากแป้งและน้ำตาลมีปริมาณ Ferulic Acid 439.85±3.52 µg/100 g เมื่อเสริมผงใบหม่อนปริมาณ Ferulic Acid 399.27 ±3.63 µg/100 g ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีฟลาโวนอยด์ คือ Kaempferol, Quercetin และกรดฟีนอลิกชนิด Caffeic Acid มีปริมาณ 373.58±9.55, 558.92±21.34 และ 2,761.58 ±57.18 µg/100 g ตามลำดับ เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 7 ขนมบัวหิมะทำจากแป้งซึ่งมี Ferulic Acid 355.75±6.11 µg/100 g เมื่อเสริมผงใบหม่อน ทำให้เหลือ Ferulic Acid 330.57±8.08 µg/100 g ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่เพิ่มขึ้น คือ Kaempferol, Quercetin และกรดฟีนอลิกชนิด Caffeic Acid ในปริมาณ 1,173.54±14.23, 2,508.86±28.25 และ 3,177.36 ±38.80 µg/100 g ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP และ DPPH ในอาหารว่างและอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 (ตารางที่ 1 และ 2) พบว่า ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมาก เป็นไปได้ว่า กระบวนการให้ความร้อนในขนมปังจืด โดยการอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะช่วยสลายพันธะโควาเลนท์ในผงใบหม่อนและปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระออกมา เช่น ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ โพลีฟีนอล [11] จึงทำให้ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนที่ได้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงมากขึ้น ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อน ซึ่งอุณหภูมิในการนึ่งขนมปุยฝ้ายอยู่ที่อุณหภูมิน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส ทำให้การสลายพันธะโควาเลนท์และปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระออกมามีมากเช่นกัน ทำให้ขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น ส่วนอุณหภูมิในการทำขนมบัวหิมะเป็นอุณหภูมิห้องปกติไม่สัมผัสความร้อนไม่มีการเพิ่มพื้นที่การสัมผัสอากาศมากเหมือนการกวน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนจึงมีค่าไม่มากเท่าขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนและขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อน และขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด ซึ่งวิธีทำขนมเปียกปูนนั้นจะต้องใช้การกวนซึ่งเป็นการเพิ่มอากาศให้กับขนมเปียกปูนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นจึงทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนที่ได้มีค่าน้อย

การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี ค่าที่ได้จากวิธีของ DPPH มีค่าต่ำกว่าวิธี FRAP เนื่องจากค่า DPPH

ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริงจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้าทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง [26] อีกทั้งสารประกอบฟีนอลในใบหม่อนส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้ดีในน้ำ และวิธี FRAP ก็มีความเหมาะสมกับการตรวจสอบสารประกอบฟีนอลที่ละลายในน้ำมากกว่าแบบ DPPH จึงทำให้วิธี FRAP มีค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าวิธี DPPH [27]

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในอาหารว่างและอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 (ตารางที่ 3) พบว่า เมื่อเสริมผงใบหม่อนในอาหารว่างปริมาณโพลีฟีนอลจะมากขึ้นในอาหารว่างทั้ง 4 ชนิด โดยที่ปริมาณสารโพลีฟีนอลจะมากที่สุดในขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อน และมีปริมาณน้อยที่สุดในขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ที่พบปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณมากที่สุดและขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณน้อยที่สุด กรรมวิธีการทำขนมเปียกปูนนั้นต้องกวนแป้งอยู่ตลอดเวลาเป็นการทำให้พื้นที่ผิวของขนมสัมผัสอากาศอยู่ตลอดเวลาในขณะการกวน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจึงลดน้อยลงเพราะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ดังนั้นปริมาณโพลีฟีนอลและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อนจึงมีปริมาณน้อย ส่วนขนมบัวหิมะซึ่งไม่สัมผัสความร้อน ไม่สัมผัสอากาศ ไม่มีการเติมออกซิเจนให้กับขนมมากนัก จึงไม่มีการทำลายสารโพลีฟีนอลในผงใบหม่อนแต่ก็ไม่มีความร้อนมาทำลายพันธะโควาเลนท์และปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น โพลีฟีนอล ทำให้โพลีฟีนอลในขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณไม่มากนัก ดังนั้นควรประกอบอาหารหรือขนมด้วยวิธีที่ไม่สัมผัสอากาศหรือสัมผัสให้น้อยที่สุด ไม่ให้ออกซิเจนไปทำลายสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารโพลีฟีนอล

สารโพลีฟีนอลมีประโยชน์หลายประการสารกลุ่มนี้มีผลต่อคุณภาพของอาหาร จากรายงานในปัจจุบันพบว่าสารโพลีฟีนอลพบมากในผลไม้ ผักและเครื่องดื่ม จะเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิก มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ต้านการตายของเซลล์ ต้านสารก่อมะเร็ง ต้านการอักเสบ [28] ป้องกันเนื้อเยื่อและ DNA จากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระในร่างกายได้ [29] ป้องกันโรคหัวใจ และหลอดเลือดสมอง เนื่องจากช่วยลดคอเลสเตอรอลชนิด LDL และไตรกลีเซอไรด์ และช่วยเพิ่มระดับ HDL ลดความดันโลหิตและระดับน้ำตาลในเลือด [30]

ในการวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในอาหารว่างและอาหารว่างเสริมผงใบหม่อน (ตารางที่ 4-7) ได้วิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ 7 ชนิด ได้แก่ Apigenin, Hesperetin, Kaempferol, Luteolin, Myricetin, Naringenin, Quercetin และกรดฟีนอลิก 4 ชนิด ได้แก่ Ferulic Acid, *p*-Coumaric Acid, Sinapic Acid, Caffeic Acid ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารว่างสูตรมาตรฐานจะพบแต่ Ferulic Acid เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อนจะพบ Ferulic Acid, Kaemferol, Querctin และ Caffeic Acid โดยที่ปริมาณ Kaemferol, Querctin และ Caffeic Acid เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน ส่วนฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกอื่น ๆ ที่ไม่พบในอาหารว่างและอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนเนื่องจากไม่ใช่สารที่พบได้ในผงใบหม่อน ส่วนใหญ่เป็นสารที่พบในผักและผลไม้อื่น ๆ เช่น Apigenin พบทั่วไปในผักและผลไม้ เช่น ผักชี คื่นช่าย หัวหอม แอปเปิลและส้ม เป็นต้น Luteolin พบในพืชทั่วไป เช่น โหระพา ชาคาโมไมล์ แครอท น้ำมันมะกอก บรอกโคลี โรสแมรี่ ออริกาโน ผักชีฝรั่ง และเปลือกถั่วลิสง [31] Myricetin พบทั่วไปในพืชผักและผลไม้ *p*-Coumaric Acid พบในถั่วลิสง แครอท พริกสีเขียว สตอเบอร์รี่ สับปะรด มะเขือเทศ และกระเทียม เป็นต้น

อาหารว่างทั้ง 4 ชนิด ทำจากแป้งซึ่งเป็นธัญพืช ดังนั้นจึงมีกรดฟีนอลิกชนิด Ferulic Acid ซึ่ง Ferulic Acid เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ พบมากในธัญพืชต่าง ๆ Ferulic Acid มีทั้งรูปแบบอิสระและเชื่อมติด (Bound Form) [32] Ferulic Acid เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงถูกใช้สำหรับต่อต้านการแก่ (Aging) ป้องกันการเกิดเซลล์มะเร็ง โรคหัวใจ ไข้หวัด รักษาสุขภาพของกล้ามเนื้อ ต่อต้านผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเลต จึงป้องกันมะเร็งผิวหนังได้ [33] หลังจากเสริมผงใบหม่อนปริมาณ Ferulic Acid ลดลงเนื่องจากปริมาณแป้งต่อ 100 กรัมในอาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อนลดน้อยลง โดยมีผงใบหม่อนเข้าไปแทนที่อีกทั้งเป็นไปได้ว่าผงใบหม่อนไปจับ Ferulic Acid ทำให้การทดสอบ Ferulic Acid มีปริมาณลดลงในอาหารว่างเสริมผงใบหม่อน ขนมปังจืด ขนมเปียกปูน และขนมบัวหิมะที่เสริมผงใบหม่อน ปริมาณ Ferulic Acid จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขนมปุยฝ้ายที่เสริมผงใบหม่อนจะมีปริมาณ Ferulic Acid ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ฟลาโวนอยด์เป็นรงควัตถุ (Pigment) ที่มีความคงตัวต่อความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นกลุ่มสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุมูลออกซิเจน (Reactive Oxygen Species: ROS) จากผลดังแสดงในตารางที่ 4-7 จะเห็นได้ว่าอาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อนจะพบฟลาโวนอยด์ในกลุ่มฟลาโวนอล (Flavonols) 2 ชนิด ได้แก่ Kaempferol และ Quercetin สอดคล้องกับงานวิจัยของรัตติยา (2544) [34] ได้วิเคราะห์หาสารสำคัญหรือสารออกฤทธิ์ที่มีสรรพคุณทางเภสัชศาสตร์ พบว่าในใบหม่อนมีสาร Kaempferol และ Quercetin ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีคุณสมบัติป้องกันการดูดซึมของน้ำตาลในลำไส้เล็ก ทำให้กระแสเลือดหมุนเวียนดี และหลอดเลือดแข็งแรง ป้องกันการสร้างเม็ดสีเมลานินในเซลล์ ยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็งเม็ดเลือด มะเร็งเต้านม และมะเร็งลำไส้ใหญ่ ลดอาการแพ้ต่าง ๆ และยืดอายุเม็ดเลือดขาว สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางลำไส้เล็ก และไม่เปลี่ยนแปลงสภาพ

นอกจากนี้ยังพบกรดฟีนอลิกในกลุ่มกรดไฮดรอกซีซินนามิก (Hydroxycinnamic Acid) คือ Caffeic Acid ในอาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อน Caffeic Acid เป็นสารทุติยภูมิที่พืชสร้างขึ้น จัดเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งอาจอยู่ในรูปกรดอิสระหรือจับกันเป็นโอลิโกเมอร์ หรือเชื่อมด้วยสารประกอบอินทรีย์ในรูปของกลูโคไซด์และเอสเทอร์ เป็นสารเมแทบอไลต์ที่เกิดขึ้นในวิถีฟีนิวโพรพานอยด์ และเป็นสารตั้งต้นสำหรับวิถีชีวสังเคราะห์ลิกนิน Caffeic Acid พบในผลไม้ ผัก เครื่องเทศ และเครื่องดื่ม กรดคาเฟอิกฟีนิลเอสเทอร์ (Caffeic Acid Phenelthyl Ester, CAPE) ใช้ประโยชน์ทางยาเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ต้านภาวะการอักเสบ และมีคุณสมบัติในการช่วยปรับระบบภูมิคุ้มกัน จากการศึกษาพบว่า Caffeic Acid สามารถต้านออกซิเดชัน สามารถกำจัดอนุมูลอิสระ และโครงสร้างมีความเสถียร สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid) และ Low-density Lipoprotein (LDL) ป้องกันเนื้อเยื่อและ DNA จากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน [35] ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนมีปริมาณ Kaempferol, Quercetin และกรดฟีนอลิกชนิด Caffeic Acid มากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ลือชัย (2560) [11] พบว่า การหมักเป็นผลทำให้แอลกอฮอล์ที่ยีสต์สร้างขึ้นในระหว่างการหมักสกัดสารออกฤทธิ์สำคัญออกจากใบหม่อน รวมทั้งเอนไซม์ β-glucosidase ที่ยีสต์สร้างขึ้นในระหว่างการหมัก ช่วยเร่งการสลายไกลโคไซด์ของสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้ได้โมเลกุลของสารที่มีโครงสร้างเล็กลง ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงขึ้น ปริมาณกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่สูงขึ้น ทำให้ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP และ DPPH สูงซึ่ง

ส่งผลดีต่อสุขภาพ รองลงมาเป็นขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อน ขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อน และมีปริมาณน้อยที่สุด คือ ขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในตารางที่ 1, 2 และ 3 ที่ขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาเป็นขนมปุยฝ้ายเสริมผงใบหม่อนขนมบัวหิมะเสริมผงใบหม่อน และขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด และสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่า อาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อนร้อยละ 10 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นกว่าอาหารว่างที่ไม่ได้เสริมผงใบหม่อน ในปริมาณที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับปริมาณสารโพลีฟีนอล โดยมีปริมาณมากในขนมปังจืดเสริมผงใบหม่อน และมีปริมาณน้อยในขนมเปียกปูนเสริมผงใบหม่อน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของอาหารว่างเสริมผงใบหม่อนทั้ง 4 ชนิด จะแปรผันตรงกับปริมาณสารโพลีฟีนอล มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นสารออกฤทธิ์ คือ Kaempferol, Quercetin, Caffeic Acid

การวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลสนับสนุนว่า ผงใบหม่อนมีศักยภาพนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารโพลีฟีนอลสูง สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ จ.นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงใบหม่อนในการทำผลิตภัณฑ์อาหารว่าง ขอขอบคุณสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่เสริมผงใบหม่อน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] T. Katsube, Y. Yamasaki, M. Iwamoto and S. Oka, “Hyaluronidase-inhibiting polysaccharide isolated and purified from hot water extract of sporophyll of Undaria pinnatifida,” *Food Science and Technology Research*, vol. 9, no. 1, pp. 25-29, 2003.

[2] T. Theppakorn. *Tea*, Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2014.

[3] R. Surasiang, P. Tinchan, P. Wiwacharn, S. Boonman, P. Noppasenee, S. Chantarawich, C. Sangsiri and T. Kajonphol. “Determination of total phenolic compound, antioxidant activity and vitamin c in 8 mulberry leaf lines,” *Agricultural science Journal*, vol. 46, no. 3, pp. 381-384, 2015.

[4] M. Hertog, E. Feskens, D. Kromhout, P. Hollman and M. Katan, “Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study,” *The lancet*, vol. 342, no. 8878, pp. 1007-1011, 1993.

[5] K. Imai and K. Nakachi, “Cross sectional study of effects of drinking green tea on cardiovascular and liver diseases,” *British Medical Journal,* vol. 310, no. 6981, pp. 693-696, 1995.

[6] S. Mizuno, S. Watanabe, K. Nakamura, M. Omata, H. Oguchi, H. Ohyanagi, T. Fujiki and

K. Motojima, "A multi-institute case-control study on the risk factors of developing pancreatic cancer," *Japanese journal of clinical oncology*, vol. 22, no. 4, pp. 286-291, 1992.

[7] W. A. Zatonski, P. Boyle, K. Przewozniak, P. Maisonneuve, K. Drosik and A. M. Walker, "Cigarette smoking, alcohol, tea and coffee consumption and pancreas cancer risk: a case-control study from Opole, Poland," *International journal of cancer*, vol. 53, no. 4, pp. 601-607, 1993.

[8] S. Kono, K. Shinchi, N. Ikeda, F. Yanai and Imanishi, "Physical activity, dietary habits and adenomatous polyps of the sigmoid colon: a study of self-defense officials in Japan," *Journal of clinical epidemiology,* vol. 44, no. 11, pp. 1255-1261, 1991.

[9] J. Weisburger, "Tea antioxidants and health," *Antioxidant In health and disease series*, pp. 469-486, 1996.

[10] Y. Xu, C. Ho, S. Amin, C. Han and F. Chung, "Inhibition of tobacco-specific nitrosamine-induced lung tumorigenesis in A/J mice by green tea and its major polyphenol as antioxidants," *Cancer Research,* vol. 52, no. 14, pp. 3875-3879, 1992.

[11] L. Butkhup, "The Antioxidant and Phytochemical Profiles of Healthy Alcoholic Beverage form Mulberry Leaf Green Teas," in *The 13th Mahasarakham University Research Conference*, Division of Research Facilitation and Dissemination Mahasarakham University, Mahasarakham, 2017, pp. 368-378.

[12] A. Sribudsarakhum. " Mulberry leaf and diabetes mellitus" *Thai Journal of Phytophamacy*, vol. 32, pp. 3-9, 2014.

[13] K. Anurkkanapakron, P. Wongsinkongmain, B. Chornrai, T. Thongcheen, S. Phadungphat, Y. Metametha and R. Butraporn, "The effect of mulberry leaf extract in controlling blood conditions, hyperglycemia after meals," *Journal of Thai Traditional & Alternative Medicine,* vol. 6, no. 1, pp. 341-350, 2008.

[14] F. Chen, N. Nakashima, M. Kimura, N. Asano and S. Koya, "Potentiating effects on pilocarpine-induced saliva secretion, by extracts and N-containing sugars derived from mulberry leaves, in streptozocin-diabetic mice," *Biological and Pharmaceutical Bulletin,* vol. 18, no. 12, pp. 1676-1680, 1995.

[15] P. D. Lyden, C. Jacksan-Friedman and L. Lonzo-Doktor, "Medical therapy for intracerebral hematoma with the gamma-aminobutyric acid-A agonist muscimol," *Stroke*, vol. 28, no. 2, pp. 387-391, 1997.

[16] Y. Banchobphutsa, "The efficacy of Morus alba leaf tea in Patens with Dyslipidemia," M.S. Thesis, Mae Fah Luang Univ., 2011.

[17] M. Thongkham, "Documentation for teaching Bakery," Chiangmai Polytechnic College, Chiangmai, 2018.

[18] M. Thongkham, “Documentation for teaching Thai dessert,” Chiangmai Polytechnic College, Chiangmai, 2018.

[19] C. Chaengkit, “Documentation for teaching Thai dessert,” Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 2016.

[20] M. Thongkham, “Documentation for teaching Chinese food,” Chiangmai Polytechnic College, Chiangmai, 2018.

[21] C. Thongkham, T. Techakriengkrai and R. Kongkachuicai. “Nutritional values of snack products added with mulberry Leaf tea Powder Buri Rum 60,” *RMUTP Research Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 119-127, 2019.

[22] I. F. Benzie, and J. J. Strain, “The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay,” *Analytical biochemistry,* vol. 239, no. 1, pp. 70-76, 1996.

[23] P. Loypimai, A. Moongngam, and P. Chottanom, “Effects of Ohmic Heating on Lipase Activity, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Rice Bran,” *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 3, no. 4, pp. 3642–3652, 2009.

[24] M. Kopjar, V. Piližota, J. Hribar, and M. Simčić, “Total phenol content and antioxidant activity of water solution of plant extracts,” *Croatian Journal of Food Science and Technology,* vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2009.

[25] D. Y. Zhang, Y. Wan, J. Y. Hao, R. Z. Hu, C. Chen, X. H. Yao, W. G. Zhao, Z. Y. Liu, and L. Li, “Evaluation of the alkaloid, polyphenols, and antioxidant contents of various mulberry cultivars from different planting areas in eastern China,” *Industrial Crops and Products,* vol. 122, pp. 298-307, 2018.

[26] N. Limsetho, “Antioxidant Activityes Assay in Mixture of Tea Leaves (*Camellia sinesis* Ktze.) Mulberry Leaves (Morus alba L.) and Horse Radish Leaves (Moringa oleifer Lam),” Songkhla Rajabhat Univ., Songkhla, 2014.

[27] M. Pianpakdee, “Retention of mulberry leaf extract by The interaction between polymers,” M.S. Thesis Degree, Faculty of Science, Chulalongkorn Univ., 2013.

[28] W. Suttana. “Anticancer activites of flavonoids: mechanisms of actions,” *Srinagarind Medical Journal,* vol. 28, no. 4, pp. 567-582, 2013.

[29] L. Butkhup, “Dietary polyphenols and their biological effects,” *Journal Science Technology MSU*, vol. 31, no. 4, pp. 443-455, 2011.

[30] C. Phanichayakulwichian, L. Watcharamat, P. Phongphancharoen, R. Phanarunothai, N. Wimonkasem and W. Supakitkanchana, “Assorted Knowledge about food for health and beauty. Chapter 1 Polyphenol: antioxidant,” in *Japa Journal: Food & Health. The 15th International Processing*,

Filling and Packaging Event for Asia: 13–16 June 2007, BITEC, Bangkok, 2007.

[31] S. Wanichwecharuang, (2012, September 2). Biopolymer with high anti-cancer effect. [Online]. Available: http://www.petromat.org/home/project/

[32] T. W. Na, "Ferulic acid: natural substance, high Safety Value," *Food Journal,* vol. 44, no. 1, pp. 30-34, 2014.

[33] P. Wichaiphong, "Biological Science Project," Department of Science Service, Bangkok, 2010.

[34] R. Samransakun, "Total polyphenol content and antioxidant activity of mulberry leaves and mulberry tea from some sources in Thailand," M.S. thesis, Dept. Food Chemistry and Medical Nutrition, Chulalongkorn Univ., Bangkok, 2001.

[35] A. S. Meyer, M. Heinonen and E.N. Frankel. "Antioxidant interactions of catechin, cyanidin, caffeic acid, quercetin, and ellagic acid on human LDL oxidation," *Food Chemistry*, vol. 61, no. 1-2, pp. 71-75, Jan. 1998.