

คุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (*Mangifera indica* L.)

Chemical And Physico-Chemical Properties Of Antioxidant Dietary Fiber (AODF) from the Kaew Mango (*Mangifera indica* L.)

สหขวัญ โรจนคุณธรรม,¹ อังคณา จันทรพลพันธ์^{2*}

Sahakhuan Rotjanakunnatam,¹ Angkana Chantaraponpan^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้ว (*Mangifera indica* L. cv. "Kaew") ได้แก่ เส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้ว และเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของเส้นใยอาหารเหล่านั้นต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าอีกด้วย ผลการศึกษาพบว่าเส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้วมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ 36.84) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 9.68) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ 27.49) สูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (เส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเป็นร้อยละ 29.29, 2.81 และ 26.48% ตามลำดับ) เส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้วมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (9.45 g water/g dietary fiber) และน้ำมัน (7.33 g oil/g dietary fiber) สูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าเท่ากับ 6.30 water/g dry sample และความสามารถในการอุ้มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 4.02 oil/g dry sample) ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ Folin-Ciocalteu method ผลการตรวจสอบพบว่าเส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (0.51 GAE/100 g) สูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (0.06 g GAE/100 g) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระตรวจสอบด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay สูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เมื่อตรวจวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วโดยใช้วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assays พบว่าเส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้วมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วลง

¹ นักวิชาการ, วิทยาลัยชุมชนโสธร อำเภอเมือง จังหวัดโสธร, ² อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Yasothon Community College, Maung District, Yasothon, Thailand., ² Lecturer, Department of Food Technology and nutrition, Faculty of Technology, Mahasarakham University. Kantharawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.

* Corresponding author: Angkana Chantaraponpan, Department of Food Technology and Nutrition. Faculty of Technology, Kantharawichai District, Mahasarakham University, MahaSarakhm 44150, Thailand (e-mail: Angkana.noisuwana@gmail.com)

ในแป้งข้าวเจ้าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มะม่วง พฤติกรรมเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะให้ความร้อน

Abstract

This research aims to investigate the chemical and physico-chemical properties of fresh dietary fiber and purified dietary fiber (alcohol insoluble solid dietary fiber) from Kaew mango (*Mangifera indica* L. cv. "Kaew"). The effect on the pasting behavior of rice flour was also investigated. The results showed that fresh dietary fiber of Kaew mango contained higher amount of total, soluble and insoluble dietary fiber (36.84, 9.68 and 27.49% respectively) than purified dietary fiber of Kaew mango (29.29, 2.81 and 26.48% respectively). The fresh dietary fiber of Kaew mango showed the higher water holding capacity (9.45 g water/g dietary fiber) and oil holding capacity (7.33 g oil/g dietary fiber) than the purified dietary fiber of Kaew mango fiber (6.30 water/g dry sample and 4.02 oil/g dry sample for water and oil holding capacity, respectively). The total phenolic contents of the dietary fiber from Kaew mango were estimated using the Folin-Ciocalteu method and the results were expressed as gallic acid equivalent. It was found that the fresh dietary fiber had higher total phenolic content (0.50 g GAE/100 g) than purified dietary fiber (0.06 g GAE/100 g). The antioxidant activities of dietary fiber from Kaew mango, which were determined using both the Ferric reducing antioxidant power (FRAP) and the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assays, showed that the fresh dietary fiber of Kaew mango had higher antioxidant activities than the purified dietary fiber of Kaew mango fiber. The addition of dietary fiber from mango markedly affected the pasting behavior of rice flour ($p < 0.05$).

Keywords: antioxidant dietary fiber, mango, pasting behaviour

บทนำ

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตจากพืช ทั้งในรูปของโอลิโกแซ็กคาไรด์และโพลีแซ็กคาไรด์ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส สารประกอบเพคติน กัม แป้งที่ทนต่อการย่อย (Resistant starch) อินนูลิน และลิกนิน¹ ไม่สามารถถูกย่อยได้ในลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่อาจถูกย่อยได้บางส่วน หรือถูกย่อยได้ทั้งหมดในลำไส้ใหญ่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันชนิดสายสั้น ซึ่งช่วยยับยั้งการ

เจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และยังช่วยกระตุ้นการบีบตัวของลำไส้ เพิ่มความชื้นของอุจจาระทำให้ระบบขับถ่ายเป็นปกติ ดังนั้นจึงช่วยในการกำจัดสารพิษต่าง ๆ ที่อาจเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ได้ด้วย²

เส้นใยอาหารส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของเซลล์พืชที่รับประทานได้³ โดยรัฐพืชจัดเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่นิยมบริโภคมากที่สุด อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเส้นใยอาหารจากผลไม้เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในฐานะ

ของเส้นใยอาหารที่มีคุณภาพทางโภชนาการสูงกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืช⁴ นั่นคือ มีสมมูลขององค์ประกอบทางเคมีดีกว่า โดยเส้นใยอาหารจากผลไม้มีปริมาณของเส้นใยอาหารอัตราส่วนของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำต่อเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ความสามารถในการจับน้ำ ความสามารถในการจับน้ำมันสูงกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืช และมีกรดไฟติก (Phytic acid; inositol hexakisphosphate, IP6) ในปริมาณที่ต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืช^{5,4,6} จากการศึกษาค้นคว้าของเส้นใยอาหารเมื่อเติมลงในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นอาหารที่ส่งเสริมให้มีความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดสูง และมีค่าดัชนีไกลซีมิกสูง พบว่าเส้นใยอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การถูกย่อยได้ของอาหารลดลง เนื่องจากเส้นใยอาหารจะทำให้การย่อยของอาหารเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในลำไส้เล็ก⁷ การดูดซึมในลำไส้เล็กจะลดลง ทำให้ปริมาณกลูโคสและปฏิกิริยาของอินซูลินในเลือดต่ำหลังจากรับประทานอาหาร⁸ นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยอาหารจากผลไม้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอล และแคโรทีน เป็นองค์ประกอบ^{5,4,6} ซึ่ง Saura-Calixto⁴ ได้ให้นิยามเส้นใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบว่า เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน และมีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระที่ร่างกายได้รับ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด การต้านจุลินทรีย์ และการต้านปฏิกิริยาการอักเสบ โดยถือเป็นกลไกการรักษาสุขภาพอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการป้องกันโรคภัยแรงหลายชนิด เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น^{5,4,9,6}

แม้ว่าเส้นใยอาหารจากผลไม้จะไม่มีความสำคัญตามที่กล่าวมา แต่กลับพบว่า

การศึกษาค้นคว้าประโยชน์ของเส้นใยอาหารจากผลไม้ยังมีอยู่น้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน กำลังการพองตัว ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (*Mangifera indica* L. cv. "Kaew") ได้แก่ เส้นใยอาหารสดจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว และเส้นใยอาหารจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียวที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของเส้นใยอาหารเหล่านั้นต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียว (*Mangifera indica* L. cv. "Kaew")

เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

การเตรียมเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารสด (Fresh dietary fiber; FDF)

นำมะม่วงสายพันธุ์แก้วเขียวมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกและแยกส่วนของเมล็ดออก จากนั้นนำส่วนของเปลือกและเนื้อไปหั่นและสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ คั้นแยกน้ำออก และปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น นำไปล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 10 ทั้งหมด 5 รอบ และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช ผสมเปลือกและเนื้อด้วยอัตราส่วน 1:4.5 โดยน้ำหนัก วางบนกระดาษกรองเพื่อดูดซับน้ำที่ล้างประมาณ 1 ชั่วโมง และบรรจุในถุงแบบสุญญากาศ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

เส้นใยอาหารที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

(Purified dietary fiber; PDF) นำเส้นใยอาหารสดของมะม่วงแก้ว (FDF) ต้มให้เดือดในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 85 เป็นเวลา 40 นาที โดยต้มทั้งสิ้น 2 รอบ ในระหว่างการต้มต้อง

กวนส่วนผสมตลอดเวลาโดยใช้แท่งกวน เมื่อใช้อัตราส่วนของ PDF ต่อเอทานอลเป็น 1: 30 (w/v) นำส่วนผสมกรองผ่าน Glass filter แล้วล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 70 จากนั้นนำไประเหยด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส¹⁰ บรรจุแบบสูญญากาศในถุงอะลูมิเนียม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเพื่อรอการศึกษาต่อไป

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหาร

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยใช้วิธีการของ AOAC (2000) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) โดยใช้ชุดวิเคราะห์ของ Megazyme International Ireland.

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเส้นใยอาหาร

ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน¹¹ ซึ่งตัวอย่าง 250 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวส์ เติมน้ำหรือน้ำมันปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500g เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนใสทิ้งและชั่งน้ำหนักส่วนที่ตกตะกอน ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันคำนวณเป็นกรัมของน้ำหรือน้ำมันต่อกรัมของตัวอย่าง

กำลังการพองตัว¹¹ ซึ่งตัวอย่าง 200 มิลลิกรัม ใส่ในกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง วัดปริมาตรของตัวอย่างที่อัดแน่น และคำนวณเป็นปริมาตรของตัวอย่างต่อกรัมของตัวอย่าง

การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระการสกัดตัวอย่าง¹² ซึ่งตัวอย่าง 500 มิลลิกรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

(v/v) เติมนีทานอลร้อยละ 50 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และอะซิโตนร้อยละ 70 (v/v) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Incubating shaker) ที่ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที 1 ชั่วโมง นำส่วนผสมที่ได้ที่ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1500g ที่ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และกรองผ่านกระดาษกรอง นำส่วนของเหลวใสมาปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น และบรรจุสารสกัดใส่ในหลอดไมโครเซนตริฟิวส์เก็บในที่มืดที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total extractable polyphenol; TEP)¹³ ปิเปตตัวอย่างสารสกัด 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น Folin-Ciocalteu (เจือจางด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10) ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7 2.0 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 7.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้คำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH[•] ซึ่งสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH[•])¹⁴ 0.01 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลายเมทานอล 250 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นร้อยละ 0.004) นำตัวอย่างสารสกัดมา 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น DPPH[•] ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นตั้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการรีดิวซ์เฟอร์ริก¹⁵ ปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรใส่

ในหลอดทดลอง เติม FRAP reagent (เตรียมจาก sodium acetate buffer (300 มิลลิโมลาร์, pH 3.6), สารละลาย TPTZ 10 มิลลิโมลาร์ (ในตัวทำละลายไฮโดรคลอริก 40 มิลลิโมลาร์) และ สารละลาย iron(III) chloride 20 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วนปริมาตร 10:1:1 ตามลำดับ 3.0 หลังจากนั้นตั้งไว้ในที่มืด 4 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้คำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ FeSO₄

การศึกษาผลของเส้นใยอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้า ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าหอมมะลิ 105 ความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารสดจากมะม่วงแก้ว (FDF) หรือเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (PDF) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยเครื่อง RVA Model RVA 3C (Newport Scientific Pty Ltd, Warriewood, Australia) พารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity; PV) ความหนืดต่ำสุด (Trough) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด (Breakdown; BD) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity; FV) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback) เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิแป้งเปียก (Pasting temperature; PT)

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติวิเคราะห์ T-test และ การศึกษาผลของเส้นใยอาหารต่อการ

เปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้า เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติวิเคราะห์ F-test (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วทั้ง FDF และ PDF แสดงดัง Table 1 พบว่า FDF มีปริมาณความชื้น (ร้อยละ 71.44) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 9.68) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ 27.49) และเส้นใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ 36.84) สูงกว่า PDF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Table 1 Chemical compositions of dietary fiber from the fresh dietary fiber (FDF) and purified dietary fiber (PDF) of Kaew mango.

Composition (% db)	FDF	PDF
Moisture	71.44 \pm 0.12	9.40 \pm 0.00
SDF	9.58 \pm 1.13	2.81 \pm 0.25
IDF	27.44 \pm 1.12	26.48 \pm 0.35
TDF	37.02 \pm 2.23	29.29 \pm 0.61

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

Table 2 แสดงความสามารถในการจับน้ำ (Water holding capacity, WHC) และความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil holding capacity, OHC) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วทั้ง FDF และ PDF จากผลการศึกษาพบว่า FDF มีค่า WHC และ OHC สูงกว่า PDF อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย FDF มีค่า WHC และ OHC เท่ากับ 9.45 water/g dry sample และ 7.33 oil/g dry sample ตามลำดับ ในขณะที่ PDF มีค่า WHC และ OHC เป็น 6.30 water/g dry sample และ 4.02 oil/g dry sample ตามลำดับ

Table 2 Water holding capacity (WHC) and oil holding capacity (OHC) of dietary fiber from the fresh dietary fiber (FDF) and purified dietary fiber (PDF) of Kaew mango.

Properties	FDF	PDF
WHC (water/g dry matter)	9.45±0.90	6.30±0.19
OHC (oil/g dry matter)	7.33±0.20	4.02±0.93

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

Table 3 แสดงปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งทดสอบโดยใช้โดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assays พบว่า FDF มีปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 0.50 g GAE/ 100 g สูงกว่าที่พบใน PDF ที่มีเท่ากับ 0.06 g GAE/ 100 g และปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดมีความสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหาร โดย FDF มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP (95.99 mM Fe (III)/g) และ DPPH (14.86 IC₅₀ mg/ml) สูงกว่า PDF ด้วยเช่นเดียวกัน

Table 4 Pasting properties of 10% (w/w, db) rice flour suspensions and their mixtures with 2.5% of the fresh dietary fiber (FDF) or purified dietary fiber (PDF) from Kaew mango.

Sample	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Peak time (min)	Pasting temp. (°C)
Rice flour							80.75±0.07 ^a
FDF	372.04±5.60 ^b	226.17±0.23 ^c	145.88±5.37 ^b	367.75±3.54 ^c			
PDF	706.17±81.08 ^a	320.21±1.47 ^b	385.96±79.61 ^a	426.32±13.10 ^b	141.59±3.30 ^b	5.87±0.00 ^a	71.10±1.06 ^b
	767.58±40.31 ^a	391.33±14.85 ^a	376.25±25.46 ^a	609.71±17.27 ^a	106.09±14.62 ^c	5.27±0.09 ^b	72.23±0.53 ^b
					218.38±2.41 ^a	5.30±0.04 ^b	

*Data in a column with different superscript letters are statistically different ($p < 0.05$).

Table 3 Total extractable polyphenol (TEP) and anti-radical efficiency of of dietary fiber from the fresh dietary fiber (FDF) and purified dietary fiber (PDF) of Kaew mango.

	FDF	PDF
TEP (g GAE/ 100 g)	0.50±0.02	0.06±0.01
DPPH- (IC ₅₀ mg/ml)	14.86±0.42	ND
FRAP (mM Fe (III)/g)	95.99±11.77	7.05±0.51

ND = Not detect

ผลของเส้นใยอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้า

ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าหอมมะลิ 105 แสดงดัง Table 4 พบว่าการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วทั้ง FDF และ PDF ร้อยละ 2.5 ส่งผลให้ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (Trough) และผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (Break down) ของแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิที่เกิดแป้งสุก (Pasting Temperature) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลจาก Table 1 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วชนิด FDF และ PDF แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) ของ PDF (ร้อยละ 29.29) มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของมะม่วงส่วนเนื้อและเปลือกจากเม็กซิโก (ร้อยละ 28.05)⁶ แต่มีปริมาณต่ำกว่าเส้นใยอาหารทั้งหมดที่พบในเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วชนิด FDF (ร้อยละ 37.02) และเส้นใยอาหารจากเปลือกของมะม่วงจากประเทศอินเดียที่รายงานไว้ว่ามีปริมาณร้อยละ 44.70-78.40¹⁶ รวมทั้งเส้นใยอาหารทั้งหมดจากผลไม้ชนิดอื่นๆ เช่น เปลือกของผลไม้พวกซีตรัส (57%)¹⁰ กากแอปเปิ้ล (60.70-89.80%)⁵ และเปลือกพร้อมกับแกนสับปะรด (75.80%)¹⁷ เป็นต้น นอกจากนี้ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) ของ PDF มีในปริมาณน้อยกว่าที่พบใน FDF ทั้งนี้เนื่องจากในการเตรียม PDF นั้นต้องผ่านกระบวนการต้มด้วยเอทานอล ส่งผลให้เส้นใยอาหารส่วนที่ละลายได้ในเอทานอลเกิดการสูญเสียไประหว่างกระบวนการดังกล่าว ทำให้เหลือส่วนที่เป็นของแข็งที่ไม่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ และจากผลของการลดลงของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จึงทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดลดลงด้วยเช่นกัน

ในปี ค.ศ. 2011 Elleuch และคณะ¹ รายงานว่า คุณสมบัติการจับกับน้ำ (Hydration properties) ของเส้นใยอาหารมีความเกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบพวกโพลีแซ็กคาไรด์ และปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเป็นรูพรุน ขนาดของอนุภาค รูปร่างไอออน อุณหภูมิ ค่าพีเอช ความแรงไอออน ชนิดไอออนในสารละลาย ความเครียดบนเส้นใย รวมทั้งแหล่งของเส้นใยอาหารด้วย จากผลการศึกษาใน Table 2 พบว่า FDF มีค่า WHC (9.45 water/g dry sample)

สอดคล้องกับเปลือกมะม่วงของมาเลเซีย ที่มีค่า WHC เท่ากับ 11.6 water /g dry sample และ 18.7 ml/g dry sample ตามลำดับ¹² แต่สูงกว่า PDF ซึ่งสาเหตุเกิดจากในกระบวนการผลิต PDF มีเกิดการสูญเสียส่วนของเส้นใยที่สามารถละลายได้ในเอทานอล โดยเส้นใยส่วนที่ละลายได้จะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการจับกับน้ำของเส้นใยอาหาร¹ และนอกจากนี้ยังพบว่า เส้นใยส่วนที่ไม่ละลาย มีผลต่อการจับกับน้ำของเส้นใยด้วย เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลลูโลสที่มีผลโดยตรงต่อการพองตัวของเส้นใยอาหาร¹⁷ และผลการศึกษาคุณสมบัติ OHC ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้ว พบว่า FDF (7.33 g oil/g dry sample) มีค่าสูงกว่า OHC ของเส้นใยอาหารจากลูกพีช¹⁸ และมะม่วงของเม็กซิโก⁶ (1.09 และ 1.0-1.5 g oil/g dry sample ตามลำดับ) รวมทั้ง PDF ซึ่งคุณสมบัติการจับกับน้ำมันเกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางเคมีของโพลีแซ็กคาไรด์ในพีช และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีและกายภาพของพีชชนิดนั้นๆ ด้วย¹⁷

Table 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พบในเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้ว ทั้ง FDF และ PDF มีปริมาณน้อยกว่าที่พบในเปลือกมะม่วงดิบของเกาหลี (9.26 g GAE/100 g)¹⁹ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง FDF กับ PDF พบว่า FDF มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่า เนื่องจากในกระบวนการผลิต PDF สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถละลายได้ในเอทานอลเกิดการละลายไปกับเอทานอลที่ใช้กระบวนการผลิต ส่งผลให้พบสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ตรวจวัดด้วยทั้งวิธี FRAP และ DPPH assay ที่พบว่า FDF มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 14.86 mg/ml และไม่พบความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของ DPPH ใน PDF ขณะที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP ของ FDF มีค่าเท่ากับ 95.99 mM

Fe (III)/g สูงกว่า PDF ซึ่งมีค่าเพียง 7.05 mM Fe (III)/g

Table 4 ผลจากการวัดคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้า พบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้ว มีผลให้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารทั้งชนิด FDF และ PDF ร้อยละ 2.5 ส่งผลให้ Peak, Trough และ Breakdown ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น แต่ Peak time และ Pasting temperature ลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Lai และคณะ²¹

สรุป

มะม่วงแก้วเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้เส้นใยอาหารสกัดจากมะม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้ว ส่งผลให้สารละลายแป้งข้าวเจ้ามีความหนืดขณะร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงแก้วมีประโยชน์ต่อสุขภาพและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ โดยใช้ในการช่วยเพิ่มความสามารถในการจับกับน้ำ และน้ำมัน การพองตัว และความหนืดของอาหาร

เอกสารอ้างอิง

1. Elleuch, M, Bedigian, D, Roiseux, O, Besbes, S, Blecker, C. Dietary fiber and fiber-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry* 2011; 124:411-421.
2. นุชนาฏ กิจเจริญ. อาหารสมุนไพร: ใยอาหาร. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal* 2006;2:153-158.
3. Jimenez-Escrig, A, Rinco'n, M, Pulido, R, Saura-Calixto, F. Guava Fruit (*Psidium guajava* L.) as a New Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001;49: 5489-5493
4. Saura-Calixto, F. Antioxidant dietary fiber product: A new concept and a potential food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1998;46:4303-4306.
5. Figuerola, F, Hurtado, ML, Esteves, AM, Chiffelle, I, Asenjo, F. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. *Food Chemistry* 2005;91: 395-401.
6. Vergara-Valencia, N, Granados-Perez, E, Agama-Acevedo, E, Tovar, J, Ruales, J, Bello-Perez, LA. Fiber concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie* 2007;40:722-729.
7. Trinidad, TP, Mallillin, AC, Sagum, SR, Encabo, RR. Glycemic index of commonly consumed carbohydrate foods in the Philippines. *Journal functional foods* 2010;2: 271-274.
8. Hu, P, Zhao, H, Duan, Z, Linlin, Z, and Wu, D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylase content.

- Journal of Cereal Science 2004;40:231-237.
9. Sun - Waterhouse, D, Melton, LD, O' Connor, CJ, Kilmartin, PA, Smith BG. Effect of apple cell walls and their extracts on the activity of dietary antioxidant. Journal of Agricultural and Food chemistry 2008;56:289-295.
 10. Chau, CF, Huang, YL. Comparison of chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. Journal of Agricultural and Food chemistry 2003;51:2615-1618.
 11. Robertson, JA, de Monredon, FD, Dyssele, P, Guillon, F, Amado, R, Thibault, JF. Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: A European collaborative study. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie 2000;33:72-79.
 12. Hassan, FA, Ismail, A, Hamid, AA, Azlan, A, and Al-sheraji, SH. Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of *Mangifera pajang* K. fruit peels. Food Chemistry 2011;126:283-288.
 13. Iqbal, S, Bhangar, MI, Anwar, F. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. Food Chemistry 2005;93:265-272.
 14. Dasgupta, N, De, B. Antioxidant activity of *Piper betle* L. leaf extract in vitro. Food Chemistry 2004;88:219-224.
 15. Fu, L, Xu, B.-T, Xu, X-R, Gan, RY, Zhang, Y, Xia, EQ, Li, HB. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. Food Chemistry 2011;129:345-350.
 16. Ajila, CM, Bhat, SG, Prasada Rao, UJS. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. Food Chemistry 2007;102:1006-1011.
 17. Grigelmo-Miguel, M, Gorinstein, S, Martin-Belloso, O. Characterization of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. Food Chemistry 1999;65:175-181.
 18. Martínez, R, Torres, P, Miguel, A, Meneses, Jorge G. Figueroa, José A. Álvarez, P, Viuda-Martos M. Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate Food Chemistry. 2012; 135:1520-1526.
 19. Kim, H, Moon, JY, Kim, H, Lee, DS, Cho, M, Choi, YK, Kim, YS, Mosaddik, A, Cho, SK. Antioxidant and anti-proliferative activities of mango (*Mangifera indica* L.) flesh and peel. Food Chemistry 2010;121:429-436.
 20. โอภา วัชรคุปต์. สารต้านอนุมูลอิสระ. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์; 2550.
 21. Lai, P, Li, K, Yuon, Lu, Chen, H.H. Physicochemical characteristics of rice starch supplemented with dietary fiber. Food Chemistry 2011;127:153-158.