

บทความวิจัย

คุณค่าทางโภชนาการ สารต้านอนุมูลอิสระ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ที่ทดแทน
ด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง (*Oryza sativa* L.)

Nutritional, Antioxidant, and Sensory Properties of Crackers Substituted with
Sangyod Phatthalung Rice Flour (*Oryza sativa* L.)

พิทยาภา พิทยาบดินทร์¹, ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์^{1,*} และ ทิวาพร มณีรัตนสุกร^{1,2}

Pitayapa Pitayabordin¹, Parisut Chalermchaiwat^{1,*} and Tiwaporn Maneerattanasuporn^{1,2}

Received: December 31, 2025

Revised: March 10, 2026

Accepted: March 12, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงทดแทนบางส่วนของฟลาวัวร์สาลีในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ ระดับการทดแทนร้อยละ 0, 25, 50 และ 75 ต่อคุณภาพทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ และประสาทสัมผัส ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แครกเกอร์มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าความแข็ง และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความกรอบ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ แก้ว ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าแครกเกอร์สูตรทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ร้อยละ 50 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.02) ผลจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

คำสำคัญ: แครกเกอร์ ข้าวสังข์หยดพัทลุง การทดแทนฟลาวัวร์สาลี คุณค่าทางโภชนาการ สารต้านอนุมูลอิสระ ประสาทสัมผัส

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of partial substitution of wheat flour with Sangyod Phatthalung rice flour in cracker production with the substitution levels of 0, 25, 50, and 75% were evaluated for their effects on physical properties, nutritional composition, antioxidant activity, and sensory attributes. The results showed that the increased proportion of Sangyod Phatthalung rice flour significantly decreased ($p \leq 0.05$) the lightness (L*), redness (a*), yellowness (b*), hardness and water activity (a_w) of the crackers, while the crispness, protein, fat, crude fiber, ash, total phenolic content (TPC), and antioxidant activities (DPPH and FRAP) were significantly increased ($p \leq 0.05$). Sensory evaluation revealed that crackers containing 50% Sangyod Phatthalung rice flour substitution received the highest overall acceptability score, at a moderate liking level (7.02). These findings suggest that Sangyod Phatthalung rice flour possesses considerable potential for the development of value-added crackers with improved nutritional quality, enhanced antioxidant activity, and favorable consumer acceptance.

Keywords: cracker, Sangyod Phatthalung rice, wheat flour substitution, nutrition, antioxidants, sensory

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหลอดเลือดสมองแบบครบวงจร แห่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

บทนำ

แครกเกอร์ เป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากสะดวกต่อการบริโภค มีอายุการเก็บรักษานาน และเหมาะสมกับวิถีชีวิตปัจจุบัน โดยในปี 2022 ตลาดแครกเกอร์ทั่วโลกมีมูลค่า 22.61 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 31.40 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2029 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 4.8 ต่อปี [1] ซึ่งภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นพื้นที่ที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ที่เพิ่มขึ้น [2] แครกเกอร์จัดอยู่ในอาหารประเภทความชื้นต่ำ โดยมีค่าความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 [3] และปริมาณน้ำอิสระ (water activity) อยู่ในช่วง 0.14–0.80 [4] คุณลักษณะดังกล่าวช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ดี อย่างไรก็ตาม แครกเกอร์เชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่ผลิตจากฟลาวร์สาลีและมีปริมาณไขมันสูง ส่งผลให้พลังงานสูง และอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคอ้วน โรคหัวใจ และหลอดเลือด และโรคเบาหวาน [5] แนวโน้มดังกล่าวจึงนำไปสู่ความสนใจในการพัฒนาแครกเกอร์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น โดยเฉพาะการใช้วัตถุดิบทางเลือกจากแหล่งท้องถิ่นเพื่อทดแทนฟลาวร์สาลี

ข้าวสังข์หยดพัทลุง เป็นข้าวพื้นเมืองที่โดดเด่นทั้งด้านคุณภาพและเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรม โดยเป็นข้าวไทยพันธุ์แรกที่ได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) มีลักษณะเด่นคือ เมล็ดสีแดงเข้ม [6] และอุดมด้วยสารพฤกษเคมีสำคัญ ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีบทบาทในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันต้านการอักเสบ เสริมภูมิคุ้มกัน และชะลอความเสื่อมของเซลล์ [7] ข้าวสังข์หยดพัทลุงยังมีปริมาณใยอาหารสูง [8] ช่วยเพิ่มความไวของอินซูลิน ลดการดูดซึมน้ำตาลในระบบทางเดินอาหาร และมีส่วนช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด [9] จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน ผู้ที่ควบคุมน้ำหนัก และผู้ที่ใส่ใจสุขภาพทั่วไป [10] คุณลักษณะทางโภชนาการดังกล่าวทำให้ข้าวสังข์หยดพัทลุงถูกนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร

หลากหลายชนิด เช่น คุกกี้ [11] ขนมขบเคี้ยวพองกรอบ [12] น้ำมันรำข้าว [13] และสเปรด [14] ซึ่งสะท้อนความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าผลผลิตพื้นเมือง และยกระดับการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นอย่างยั่งยืน [15] อย่างไรก็ตาม การศึกษาการใช้ฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงทดแทนฟลาวร์สาลีในการผลิตแครกเกอร์ยังมีจำกัด โดยเฉพาะข้อมูลผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ สมบัติต้านอนุมูลอิสระ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแครกเกอร์จากฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผลิตจากข้าวเต็มเมล็ด และประเมินผลของการทดแทนต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพื่อสนับสนุนการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นของไทยอย่างมีประสิทธิภาพ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

1.1 การเตรียมฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

นำข้าวสังข์หยดพัทลุง (ศูนย์ข้าวสหกรณ์ไทย ชุมชุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย) เต็มเมล็ดมาบดด้วยเครื่องบดแป้ง (Robot Powder Mill 397 Flour Milling, Machine, Bangkok, Thailand) ให้ละเอียดเป็นผงขนาด 80 เมช (ขนาดอนุภาค 177 ไมครอน) บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้เพื่อการผลิตแครกเกอร์ต่อไป

1.2 วิธีการสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมและสารต้านอนุมูลอิสระจากฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

นำฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงปริมาณ 2 กรัม มาสกัดด้วยตัวทำละลาย methanol ร้อยละ 100 นำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge (Allegra X-15R, Beckmann Coulter, USA) ที่ 3,300 rpm เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสออก และนำส่วนตะกอนที่เหลือไปสกัดซ้ำอีกครั้ง และปรับ

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

²The Chulalongkorn Stroke Center of Excellence, King Chulalongkorn Memorial Hospital, the Thai Red Cross Society

ปริมาตรด้วย methanol ให้ได้สารสกัด 50 มิลลิลิตร
ดัดแปลงวิธีการสกัดตัวอย่างจาก Sompong et al.
(2011) [12] จากนั้นนำไปวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิก
รวม (Total phenolic content) และวิเคราะห์สารต้าน
อนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
Radical Scavenging Capacity Assay (DPPH) และวิธี
Ferric Reducing Antioxidant Power Assay (FRAP)
ดังนี้

1.3 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (total
phenolic content, TPC) ตามวิธีการของ
Chalermchaiwat et al. (2015) [16] โดยใช้สาร
มาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ตรวจวัดค่าการ
ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง
Spectrophotometer (Gene Quant 1300, GE,
Buckinghamshire, England) และรายงานหน่วยเป็น
มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมโดยน้ำหนัก
แห้ง (mg GAE/100g DW) จำนวน 3 ซ้ำ

1.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล อิสระ

ตรวจสอบสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 2 วิธี
ตามวิธีการของ Chalermchaiwat et al. (2015) [16]

- วิธี 2,2 Diphenyl-1-picryldrazyl scavenging
activity, DPPH โดยใช้สารมาตรฐานโทรลอกซ์ (trolox)
วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร
ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (GeneQuant
1300, GE, Buckinghamshire, England) รายงานผล
เป็นร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระของตัวอย่างโดย
น้ำหนักแห้ง (% radical scavenging) จำนวน 3 ซ้ำ

- วิธี Ferric Reducing Antioxidant Power
Assay (FRAP) โดยใช้สารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต
(ferrous sulphate) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโน
เมตรด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Gene Quant
1300, GE, Buckinghamshire, England) รายงานผล
เป็นมิลลิกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟต ต่อ 100 กรัมของ
ตัวอย่างโดยน้ำหนักแห้ง (mg FeSO₄/100 g DW)
จำนวน 3 ซ้ำ

2. ศึกษาการทดแทนฟลาวอร์สาลิตด้วยฟลาวอร์ข้าวสังข์ หยดพัทลุงต่อคุณภาพของแครกเกอร์

ศึกษาการทดแทนฟลาวอร์สาลิตด้วยฟลาวอร์ข้าว
สังข์หยดพัทลุง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม)
25, 50 และ 75 ดัดแปลงสูตรพื้นฐานแครกเกอร์มาจาก
Kovaleva et al. (2021) [17] โดยมีส่วนผสมดัง Table
1

Table 1 Formulation of crackers with different substitution levels of Sangyod Phatthalung rice flour.

Ingredients (g)	Formulations			
	0%	25%	50%	75%
Wheat flour	600	450	300	150
Sangyod Phatthalung rice flour	-	150	300	450
Water	290	290	290	290
Butter	100	100	100	100
Salt	8	8	8	8

การผลิตแครกเกอร์เริ่มจากการร่อนฟลาวอร์สาลิต
และฟลาวอร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง เติมน้ำเกลือ และค่อยๆ
เติมน้ำลงไปจนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันดี ใส่เนยลงไป
จนส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจนไม่ติดมือ นำส่วนผสม

ที่ได้มารวบเป็นก้อนโด ทำการพักแป้งโด (dough
resting) ในภาชนะปิดด้วยฟิล์มอาหารที่อุณหภูมิห้อง
(27±2 องศาเซลเซียส) นาน 1 ชั่วโมง นำโดที่พักไว้มา
นวดไล่อากาศอีกครั้งก่อนนำไปรีดบนกระดาษรองอบ

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหลอดเลือดสมองแบบครบวงจร แห่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

รีดให้เป็นแผ่นมีความหนา 2 มิลลิเมตร กดแผ่นด้วยพิมพ์รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3×3 เซนติเมตร แล้วเจาะรู 4 รูจำนวน 3 แถว เสร็จแล้วนำขึ้นแครกเกอร์เข้าเตาอบ (Deck Oven, ES, Tianyin, Shanghai, China) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วจึงกลับด้านแครกเกอร์ อบต่ออีก 10 นาที นำแครกเกอร์ที่สุกแล้วมาทดสอบเนยสดขณะที่ยังอุ่น พักไว้ให้เย็น 30 นาที นำแครกเกอร์ที่ได้ใส่กล่องพลาสติกปิดสนิทไว้ที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ดังนี้

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

1) วัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Colourflex, Hunter Lab, Reston, USA) ได้แก่ ค่าสี L^* (ความสว่าง มีค่า 0-100 โดย 0 คือ วัตถุที่มีความสว่างสีดำ 100 คือ วัตถุที่มีความสว่างสีขาว) a^* (+ คือ วัตถุที่มีสีแดง - คือ วัตถุที่มีสีเขียว) b^* (+ คือ วัตถุที่มีสีเหลือง - คือ วัตถุที่มีสีน้ำเงิน) ทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ และคำนวณค่า ΔE คือ ค่าความแตกต่างของสี คำนวณดังสมการ (1)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

โดย ΔL^* , Δa^* และ Δb^* คือ ค่าสีที่แตกต่างกันในค่า L^* , a^* และ b^* ระหว่างตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างทดสอบ

2) วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer (TA-XT plus, Stable micro Systems, Godalming, USA) ดัดแปลงจากวิธีการของ Uivarasan et al. (2024) [18] โดยวัดค่าความแข็ง (hardness) และค่าความกรอบ (count peak) ด้วยหัววัดชนิด Cylinder probe (P/2) สภาวะในการทดสอบความเร็วก่อนวัด (pre-test speed) 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วขณะทดสอบ (test speed) 0.50 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วหลังทดสอบ (post-test speed) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที กดหัววัดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 2 มิลลิเมตร รายงานหน่วยเป็นนิวตัน (N) จำนวน 10 ซ้ำ

2.2 คุณภาพทางเคมี

1) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยประมาณตามวิธี AOAC (2019) [19] ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้าเส้นใยหยาบ โปรตีน ไขมัน และคาร์บอนไฮเดรต จำนวน 3 ซ้ำ

2) วัดค่าพลังงานสะสมของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter (6100, PARR, Moline, USA) รายงานหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกรัม (Kcal/g) จำนวน 3 ซ้ำ

3) วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอคทิวิตี (4TE, AQUA Lab, California, USA) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ซ้ำ

2.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

นำแครกเกอร์ สูตรควบคุม ร้อยละ 0 และสูตรทดแทนฟลาวรรสชาติด้วยฟลาวรรสชาติสังเคราะห์สูง 25, 50 และ 75 มาทำการสกัดตัวอย่างตามวิธีการในข้อ 1 แล้วนำไปวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (total phenolic content, TPC) ตามวิธีของ Chalemchaiwat et al. (2015) [16] จำนวน 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ วิธี 2,2 Diphenyl -1picryldrazyl scavenging activity (DPPH) และ Ferric Reducing Antioxidant Power Assay (FRAP) ตามวิธีการข้อ 1 จำนวน 3 ซ้ำ

2.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำแครกเกอร์ทั้ง 4 สูตรมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) กับผู้ทดสอบกลุ่มเป้าหมาย โดยมีเกณฑ์การคัดเลือก ดังนี้ บุคคลทั่วไปที่เคยรับประทานแครกเกอร์ ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน มีอายุตั้งแต่ 18-50 ปี ไม่มีประวัติการแพ้วัตถุดิบหรือการเจ็บป่วยรุนแรงที่เป็นอุปสรรคต่อการเข้าร่วมประเมินทางประสาทสัมผัส ทั้งหมดจำนวน 50 คน ทำการประเมินในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โครงการวิจัยผ่านการพิจารณารับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จาก

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

²The Chulalongkorn Stroke Center of Excellence, King Chulalongkorn Memorial Hospital, the Thai Red Cross Society

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตาม COE67/082

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการวิเคราะห์ผลคุณภาพทางกายภาพ เคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

ผลการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงดังแสดงใน Table 2 พบว่า

ฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) เท่ากับ 437.58 mg GAE/100 g DW ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูง (>100 mg GAE/100 g DW) ตามเกณฑ์การจำแนก [20] แสดงให้เห็นว่าฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Hansakul et al. (2011) [21] ซึ่งพบว่าสารสกัดจากรำข้าวสังข์หยดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงถึง $1,627.00 \pm 53.08$ mg GAE/100 g DW ทั้งนี้ค่าที่ได้จากงานวิจัยปัจจุบันมีแนวโน้มต่ำกว่างานวิจัยดังกล่าว เนื่องจากความแตกต่างของส่วนของเมล็ดข้าวที่นำมาศึกษา โดยรำข้าวเป็นแหล่งสะสมสารฟีนอลิกในปริมาณสูง นอกจากนี้ ผลที่ได้ยังมีความใกล้เคียงกับรายงานของ Chairerk et al. (2021) [22] ซึ่งพบว่าข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเท่ากับ 689.71 ± 4.95 mg GAE/100 g DW ในขณะที่ฟลาวัวร์สาลิซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้กันทั่วไปมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมต่ำกว่าอย่างชัดเจน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 166–201 mg/100 g DW [23] ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในการนำมาใช้ทดแทนฟลาวัวร์สาลิ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์อาหาร

Table 2 Antioxidant activity of Sangyod Phatthalung rice flour.

Ingredient	TPC	DPPH	FRAP
	(mg GAE/100g DW)	(% radical scavenging)	(mg FeSO ₄ /100g DW)
Sangyod rice flour	437.58 $\pm$ 13.51	17.28 $\pm$ 0.25	305.64 $\pm$ 22.43

Remark: Data are presented as mean $\pm$ standard deviation.

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงด้วยวิธี DPPH พบว่า มีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เท่ากับ ร้อยละ 17.28 (% radical scavenging) ขณะที่การประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ซึ่งสะท้อนศักยภาพในการรีดิวซ์ไอออนเหล็ก (Fe^{3+} เป็น Fe^{2+}) พบว่า มีค่าเท่ากับ 305.64 mg

FeSO₄/100 g DW เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องชนิดอื่น เช่น ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตามรายงานของ Yamsaray et al. [24] พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) ต่ำกว่า ฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในงานวิจัยนี้ประมาณ 2.1 เท่า อย่างไรก็ตามข้าวไรซ์เบอร์รี่กลับแสดงค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่า โดยมีค่า DPPH สูงกว่า

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹ภาควิชาเคมีเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหลอดเลือดสมองแบบครบวงจร แห่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

ประมาณ 2.7 เท่า และค่า FRAP สูงกว่าประมาณ 1.3 เท่า ตามลำดับ ความแตกต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า นอกจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมแล้ว ชนิดโครงสร้างทางเคมี และความสามารถในการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกเฉพาะชนิด มีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้ด้วยแต่ละวิธี

2. ผลการศึกษาการทดแทนฟลาวร์สาลีด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงต่อคุณภาพของแครกเกอร์

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทดแทนฟลาวร์สาลีด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทดแทนฟลาวร์สาลีด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่พัฒนาได้ มีลักษณะเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 3×3 เซนติเมตร ความหนา 1.5 มิลลิเมตร ในสูตรควบคุม (control) มีสีเหลืองน้ำตาลอ่อน และแครกเกอร์สูตรที่มีการทดแทน

ฟลาวร์สาลีด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงจะมีสีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีน้ำตาลม่วงเข้ม ความเข้มของสีเพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนของฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่เพิ่มขึ้น แสดงดัง Figure 1

ค่าสีของแครกเกอร์ที่ทดแทนฟลาวร์สาลีด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงแสดงใน Table 3 พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดงจากการสะสมของรงควัตถุธรรมชาติ เช่น สารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานิน ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์มีความเข้มขึ้นและค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Wangpankhajorn et al. [25] ซึ่งพบว่าการเติมฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

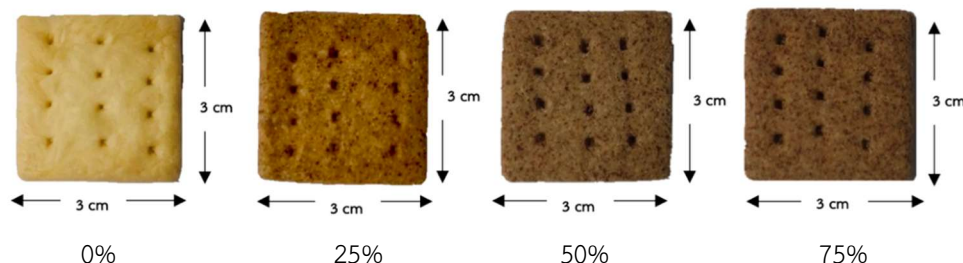


Figure 1 Crackers with different levels of Sangyod Phatthalung rice flour substitution

Table 3 Physical properties of crackers with different levels of Sangyod Phatthalung rice flour substitution.

Formula	Color value			ΔE	Hardness (N)	Count peaks (N)
	L^*	a^*	b^*			
control (0%)	69.18±0.02 ^a	3.56±0.04 ^a	10.52±0.01 ^a	-	14.71±3.68 ^a	4.80±2.28 ^b
25%	62.80±0.07 ^b	3.35±0.06 ^a	6.57±0.02 ^b	7.51	14.19±3.26 ^a	6.60 ±2.30 ^{ab}
50%	60.35±0.70 ^c	2.83±0.37 ^b	3.97±0.69 ^c	11.02	11.28 ±2.85 ^{ab}	8.40 ±1.14 ^a
75%	59.73±0.14 ^c	2.70±0.28 ^b	2.90 ±0.53 ^c	12.17	7.40 ±2.47 ^b	8.60 ±1.14 ^a

Remark: Data are presented as mean ± standard deviation. Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

²The Chulalongkorn Stroke Center of Excellence, King Chulalongkorn Memorial Hospital, the Thai Red Cross Society

สำหรับค่าความเป็นสีแดง (a^*) พบว่า สูตรที่ทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงร้อยละ 25 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการทดแทนในระดับต่ำยังไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโทนสีแดงของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเป็นร้อยละ 50 และ 75 พบว่าค่า a^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจเนื่องมาจากการกลบสีของฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่มีโทนสีน้ำตาลแดงเข้ม ทำให้สีแดงที่วัดได้ลดลง รวมถึงอาจเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกระบวนการอบที่ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปในทิศทางของสีน้ำตาลมากกว่าสีแดง ในด้านค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่า สูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด และค่าดังกล่าวลดลงตามสัดส่วนของฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะสีของ ฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่มีสีน้ำตาลแดงและมีปริมาณรงควัตถุสูงส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลดลง [19] นอกจากนี้ ค่า ΔE ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของสีโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทน โดยสูตรที่ทดแทนร้อยละ 25, 50 และ 75 มีค่าเท่ากับ 7.51, 11.02 และ 12.07 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่มากกว่า 3.0 บ่งชี้ว่าความแตกต่างของสีสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า [26] ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการทดแทนฟลาวัวร์สาธิตด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีอิทธิพลต่อคุณลักษณะด้านสีของแครกเกอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แครกเกอร์ทดแทนฟลาวัวร์สาธิตด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงใน Table 3 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมากขึ้นทำให้ค่าความแข็ง (hardness) ลดลง ในขณะที่ค่าความกรอบ (count peaks) เพิ่มขึ้น โดยพบว่าการทดแทนที่ร้อยละ 25 ยังคงมีค่าความแข็งไม่

แตกต่างจากสูตรควบคุม เนื่องจากการทดแทนปริมาณฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงน้อยกว่าฟลาวัวร์สาธิต จึงยังคงมีกลูเตน (gluten) ซึ่งกลูเตนจะมีบทบาทในการเพิ่มความแน่นและความแข็งในแครกเกอร์ เมื่อเติมน้ำและขนาดฟลาวัวร์สาธิต กลูเตนจะเกิดโครงสร้างก่อตัวเป็นตาข่ายยึดหยุ่นช่วยให้แครกเกอร์คงรูปมีความแน่นขึ้น และแครกเกอร์มีปริมาณน้ำต่ำ นอกจากนี้ในการผลิตแครกเกอร์ไม่มีกระบวนการหมัก จึงไม่มีอากาศเข้าไปส่งผลให้แป้งไม่เกิดการพองตัวทำให้แครกเกอร์มีความแข็ง [25] แต่เมื่อทดแทนฟลาวัวร์สาธิตด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในแครกเกอร์ปริมาณที่มากขึ้น ค่าความแข็งจะลดลง เห็นได้ว่าในแครกเกอร์สูตรทดแทนที่ร้อยละ 50 และ 75 มีค่าความแข็งต่ำกว่าสูตรควบคุม แต่เมื่อทดลองทดแทนด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง ที่ร้อยละ 100 ในแครกเกอร์ด้วยวิธีการเดียวกัน ปรากฏว่าแครกเกอร์ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงไม่มีกลูเตน จึงไม่สามารถสร้างโครงสร้างแข็งแรงได้เท่ากับ ฟลาวัวร์สาธิตทำให้แครกเกอร์ที่ได้มีความร่วนและเปราะกว่าจึงมีค่าความแข็งต่ำ [25] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Piyawat et al. (2021) [27] พบว่าเมื่อทดแทน ฟลาวัวร์สาธิตด้วยฟลาวัวร์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่มีกลูเตน ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงและมีค่าต่ำกว่าสูตรที่มีฟลาวัวร์สาธิตเพียงชนิดเดียวในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ และในด้านค่า count peaks ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการวัดจำนวนยอดคลื่นของแรงต้าน (force peaks) ขณะวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยบอกถึงความกรอบ (crispiness) หรือความเปราะ (fracturability) ของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ [28] พบว่าเมื่อทดแทนฟลาวัวร์สาธิตด้วย ฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ค่า count peaks เพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงถึงความกรอบและความเปราะของแครกเกอร์ที่เพิ่มขึ้น [29]

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหลอดเลือดสมองแบบครบวงจร แห่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

Table 4 Chemical properties of crackers with different levels of Sangyod Phatthalung rice flour substitution.

Chemical Properties	Formulations			
	0%	25%	50%	75%
Moisture content (%wb)	1.64±0.12 ^a	1.46±0.03 ^b	1.33±0.03 ^c	0.73± 0.01 ^d
Protein (%db)	5.95±0.47 ^d	6.87±0.11 ^c	7.48±0.23 ^b	8.86±0.20 ^a
Fat (%db)	11.64±0.32 ^d	12.83±0.63 ^c	13.71±0.24 ^b	14.70±0.19 ^a
Crude fiber (%db)	1.48±0.04 ^d	3.90±0.47 ^c	5.22±0.51 ^b	6.90±0.26 ^a
Ash (%db)	1.13±0.07 ^d	1.44±0.02 ^c	1.61±0.02 ^b	1.72±0.26 ^a
Carbohydrate (%db)	78.16±0.19 ^a	73.50±0.89 ^b	70.65±0.87 ^c	67.09±0.45 ^d
Calorie (Kcal/g)	5.04±0.11 ^d	5.27±0.04 ^c	5.42±0.02 ^b	5.55±0.02 ^a
Water activity (a _w)	0.13±0.01 ^a	0.07±0.00 ^b	0.04±0.00 ^c	0.02±0.00 ^d

Remark: wb= wet basis, db = dry basis. Data are presented as mean ± standard deviation. Values in the same row followed by different letters are significantly different (p≤0.05).

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแครกเกอร์ทดแทนฟลาวร์สาลีด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง แสดงใน Table 4 พบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้า เพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนของฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง เนื่องจากฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.5–9.0 ไขมันร้อยละ 2.5–3.0 [30] แต่ฟลาวร์สาลีชนิดโปรตีนต่ำหรือฟลาวร์เค้ก (cake flour) มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6–8 ไขมันร้อยละ 0–1.2 [31] ซึ่งมีปริมาณโปรตีน และไขมันต่ำกว่าฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง เมื่อนำฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมาทดแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใยหยาบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Punfujinda et al. (2025) [32] พบว่า เมื่อใช้ฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์เค้กส่งผลให้ปริมาณเส้นใยหยาบเพิ่มขึ้น รวมถึงพลังงานของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่ทดแทนฟลาวร์สาลีด้วย ฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.04–5.55 กิโลแคลอรีต่อกรัม เนื่องจากคุณค่า

ทางโภชนาการในข้าวสังข์หยดสูงกว่าในฟลาวร์สาลิดังที่กล่าวข้างต้น จึงส่งผลให้ค่าพลังงานเพิ่มขึ้นด้วย

ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ ส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและความชื้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เนื่องจากในฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต(ร้อยละ 70.95) [2] ต่ำกว่าฟลาวร์สาลี (ร้อยละ 76.20) [33] เมื่อปริมาณฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงเพิ่มขึ้น ปริมาณ ฟลาวร์สาลิลดลงส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง และมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของสูตรควบคุมเท่ากับ 0.13 ค่าปริมาณน้ำอิสระสูตรทดแทนด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงอยู่ในช่วง 0.02–0.07 โดยค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์มีค่าต่ำกว่า 0.6 [34] จึงสามารถจัดว่าเป็นประเภทอาหารแห้งที่มีความปลอดภัยต่อเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและปลอดภัยต่อผู้บริโภค [35] จากคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทดแทนฟลาวร์สาลีด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่พัฒนาได้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการในด้านโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้า ที่ดีขึ้น

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

²The Chulalongkorn Stroke Center of Excellence, King Chulalongkorn Memorial Hospital, the Thai Red Cross Society

Table 5 Antioxidant analysis of crackers with different levels of Sangyod Phatthalung rice flour substitution.

Formula	TPC (mg GAE/100g dry weight)	DPPH (% radical scavenging)	FRAP (mg FeSO ₄ /100g dry weight)
0%	342.00±30.16 ^d	15.34±0.96 ^d	273.04±22.82 ^d
25%	630.69±7.49 ^c	25.42±0.32 ^c	385.76±28.71 ^c
50%	679.86±26.11 ^b	29.14±1.29 ^b	612.00±26.59 ^b
75%	732.50±31.25 ^a	36.57±0.09 ^a	704.23±26.75 ^a

Remark: Data are presented as mean ± standard deviation. Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

2.2 สารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทดแทนฟลาวัวร์สาลีด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

จากการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระของแครกเกอร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงปริมาณที่แตกต่างกัน ดังที่แสดงใน Table 5 พบว่า การทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในปริมาณที่มากขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แครกเกอร์สูตรทดแทน ที่ร้อยละ 75 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงที่สุด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุมคิดเป็น 2.14, 2.38 และ 2.58 เท่า ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระอาจเนื่องมาจากการมีอยู่ของรงควัตถุธรรมชาติในข้าวสังข์หยดพัทลุง โดยเฉพาะกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งและกำจัดอนุมูลอิสระ สารประกอบดังกล่าวสามารถทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ จึงช่วยลดความเสียหายจากกระบวนการออกซิเดชันได้ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Srisawat et al.

(2010) [36] ซึ่งพบว่าการนำข้าวสังข์หยดพัทลุงมาใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารส่งผลให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทดแทนฟลาวัวร์สาลีด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

ผลประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ทดแทนฟลาวัวร์สาลีด้วยฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง แสดงใน Table 6 พบว่า แครกเกอร์ที่ทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ร้อยละ 25 ได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับสูตรควบคุม เนื่องจากการทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ร้อยละ 25 เป็นปริมาณที่ทดแทนฟลาวัวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในสัดส่วนที่น้อยกว่าฟลาวัวร์ข้าวสาลีจึงทำให้แครกเกอร์ในสูตรทดแทนร้อยละ 25 ยังคงมีลักษณะใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ส่งผลให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหลอดเลือดสมองแบบครบวงจร แห่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

Table 6 Sensory evaluation of crackers with different levels of Sangyod Phatthalung rice flour substitution.

Formula	Apperance	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall liking
0%	7.38±1.19 ^a	7.32±1.25 ^a	7.16±0.76 ^a	6.64±0.85 ^b	6.32±1.46 ^b	6.36±1.27 ^b
25%	6.98±1.02 ^{ab}	6.88±1.25 ^{ab}	6.60±1.08 ^b	6.78±0.97 ^b	6.58±1.10 ^{ab}	6.52±1.48 ^{ab}
50%	6.84±1.09 ^b	6.70±1.34 ^b	6.54±0.99 ^b	7.26±0.94 ^a	6.90±1.07 ^a	7.02±1.30 ^a
75%	6.58±1.27 ^b	6.36±1.39 ^b	6.22±0.97 ^b	6.14±1.01 ^c	5.62±1.60 ^c	5.98±1.39 ^b

Remark: Data are presented as mean ± standard deviation. Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

แต่เมื่อทดแทนปริมาณข้าวสังข์หยดพัทลุงที่เพิ่มขึ้น แครกเกอร์จะมีลักษณะที่แตกต่างจากสูตรควบคุมมากขึ้น จะเห็นได้ว่าในสูตรการทดแทนฟลาวร์สาธิตด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดที่ร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ได้รับคะแนนความชอบแตกต่างจากสูตรควบคุมในทุกคุณลักษณะ แต่ในสูตรทดแทนที่ร้อยละ 75 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมน้อยกว่าสูตรทดแทนที่ร้อยละ 50 ซึ่งได้รับค่าคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม เนื่องจากการทดแทนฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงในสูตรที่ร้อยละ 75 เป็นปริมาณที่มากเกินไปทำให้เนื้อสัมผัสมีความร่วน แครกเกอร์มีสีที่เข้ม มีกลิ่นรสของข้าวที่ชัดมากขึ้น จึงส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lekjing et al. (2019) [37] ได้พัฒนาขนมขบเคี้ยวทดแทนฟลาวร์สาธิตด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุง พบว่า คะแนนด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวที่ใช้ฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงร้อยละ 50 แทนฟลาวร์สาธิตนั้น สูงกว่าขนมขบเคี้ยวที่ใช้ฟลาวร์สาธิต ร้อยละ 100 (สูตรควบคุม) และการแทนที่ฟลาวร์สาธิตด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ร้อยละ 50 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวเนื่องจากมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดเช่นเดียวกับแครกเกอร์สูตรการทดแทนที่ร้อยละ 50 ที่พัฒนาได้ ในขณะที่แครกเกอร์สูตรทดแทนที่ร้อยละ 25 มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม แต่เมื่อทดแทนในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 50 คะแนนความชอบโดยรวมลดลง เนื่องจากฟลาวร์ข้าว

สังข์หยดพัทลุงส่งผลทำให้สีของแครกเกอร์เข้มขึ้น แครกเกอร์มีกลิ่นรสข้าวมากเกินไป คะแนนความชอบโดยรวมจึงลดลงเช่นกัน จากการประเมินทางประสาทสัมผัสในการทดแทนฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ร้อยละ 50 ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดอยู่ในระดับชอบปานกลาง มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 ซึ่งมีคะแนนสูงกว่าสูตรทดแทนด้วยฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงร้อยละ 0, 25 และ 75 ดังนั้นสูตรการทดแทนฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ร้อยละ 50 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมต่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์จากฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงต่อไป

สรุปผล

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงทดแทนฟลาวร์สาธิตสามารถช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ให้ดีขึ้น สุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยการทดแทนที่ระดับร้อยละ 50 ส่งผลให้ปริมาณโปรตีน และเส้นใยหยาบเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุมเป็น 1.26 และ 3.53 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ประเมินด้วยวิธี DPPH และ FRAP เพิ่มขึ้นเป็น 1.99, 1.90 และ 2.24 เท่า ตามลำดับ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ยังได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าแครกเกอร์จากฟลาวร์ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีศักยภาพในการเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกเพื่อสุขภาพ สามารถเพิ่ม

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

²The Chulalongkorn Stroke Center of Excellence, King Chulalongkorn Memorial Hospital, the Thai Red Cross Society

มูลค่าให้กับข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทย และมีแนวโน้มต่อยอดสู่การพัฒนาเชิงพาณิชย์เพื่อสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร ทั้งนี้การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตควรมุ่งเน้นการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเชิงลึก เช่น ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ดัชนีน้ำตาล และฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อยืนยันศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในฐานะอาหารเพื่อสุขภาพอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Maximize Market Research. (2023). Crackers market worldwide industry analysis, Future plans and forecast. Market Research. [Online] Available from <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-crackers-market/114649/>. [Accessed July 19, 2025].
- [2] Zydenbos, S. and Humphrey, T.V. (2003). Biscuits, cookies and crackers nature of the products. encyclopedia of food sciences and nutrition. 2016: 524-528. doi:10.1016/B0-12-227055-X/00103-6
- [3] Kohyama, K., Nishinari, K. and Nishibata, T. (1997). Rheological studies on the gel-sol transition of food hydrocolloids. Food Hydrocolloids. 11(4): 387-393. doi:10.1016/S0268-005X(97)80037-5
- [4] Huang, Y., Chen, Z., Chen, B., Li, J., Yuan, X., Wang, W., Dai, T., Chen, H., Wang, Y., Wang, R., Wang, P., Guo, J., Dong, Q., Liu, C., Wei, Q., Cao, D. and Liu, L. (2023). Dietary sugar consumption and health: umbrella review. The British Medical Journal. 5(381): 1-18. doi:10.1136/bmj-2022-071609
- [5] Rossukon, W., Sridonpai, P. and Prachansuwan, A. (2024). Effects of nut and legume powder substitution in crackers prepared with wheat flour on postprandial plasma glucose response among healthy Thai adults. Malaysian Journal of Nutrition. 30(1): 95-106. doi:10.31246/mjn-2023-0056
- [6] Vasques, C.T., Mendes, M.P., Silva, D.M.B. and Monteiro, A.R.G. (2020). Reduction in sodium chloride content in saltine crackers through an edible coating. Czech Journal of Food Sciences. 38(4): 237-241. doi:10.17221/221/2019-CJFS
- [7] The Thai Rice Mills Association (TRMA). (2022). Report on wholesale rice prices in Bangkok market. The Thai Rice Mills Association. [Online] Available from <https://www.bangkokbiznews.com>. [Accessed July 19, 2025]. (in Thai).
- [8] Kovaleva, A. and Ryazantseva, I. (2019). Development of healthy crackers: Reducing sodium and replacing sugar with sweeteners. Food Science Journal. 15(3): 145-152. doi:10.1039/9781788016155-00439
- [9] Siamrath. (2025). Sangyod rice a native rice variety from Phatthalung, registered as GI. Siamrath. [Online] Available from <https://siamrath.co.th>. [Accessed July 19, 2025]. (in Thai).
- [10] Laokuldilok, T., Shoemaker, C.F., Jongkaewwattana, S. and Tulyathan, V. (2011). Antioxidants and antioxidant activity of several pigmented rice brans. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 59(1): 193-199. doi:10.1021/jf103649q
- [11] Saeton, S. (2012). Sangyod rice from Phatthalung: the first rice variety in the

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหลอดเลือดสมองแบบครบวงจร แห่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

- world to receive Geographical Indication (GI) certification. Kasetsart University Agricultural Library. [Online] Available from https://agkb.lib.ku.ac.th/rd/search_detail/result/378876. [Accessed July 19, 2025]. (in Thai).
- [12] Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G., and Berghofer, E. (2011). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*. 124(1): 132-140. doi:10.1016/j.foodchem.2010.05.115
- [13] Yawadio, R., Tanimori, S., and Morita, N. (2007). Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rice and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*. 101(4): 1616-1625. doi:10.1016/j.foodchem.2006.04.016
- [14] Office of Agricultural Economics (OAE). (2020). Nutritional Value of Sangyod rice. [Online] Available from <https://oae.go.th/home>. [Accessed July 19, 2025]. (in Thai).
- [15] Guo, H., Ling, W., Wang, Q., Liu, C., Hu, Y., Xia, M. and Feng, X. (2012). Effect of anthocyanin-rich extract from black rice on hyperlipidemia and insulin resistance in fructose-fed rats. *Plant Foods for Human Nutrition Journal*. 62(1): 1-6. doi:10.1007/s11130-006-0031-7
- [16] Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C., and Priyawiwatkul, W. (2015). Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *Food Science and Technology*. 64(1): 490–496. doi:10.1016/j.lwt.2015.04.066
- [17] Kovaleva, A., Galchenko, S. and Kolchanov, A. (2021). Development of technology and formulation of cracker of high nutritional value. *BIO Web of Conferences*. 32(2021): 1-4. doi:10.1051/bioconf/20213203013
- [18] Uivarasan, A.M., Cozmata, L.M., Lukinac, J., Jukić, M., Šelo, G., Peter, A., Nicula, C. and Cozmata, A.M. (2024). Whole black rice flour improves the physicochemical, glycemic, and sensory properties of cracker snacks. *Foods: An Open Access journal* 13(10): 1503. doi:10.3390/foods13101503
- [19] AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC International (21st ed). The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- [20] Faris, N.A., Tamimi, J.Z., Ghamdi, F.A., Baridi, N.A., Zaheb, R.A., Jabryn, D.H., Jahani, A.H. and Mousa, L.A. (2021). Total phenolic content in ripe date fruits (*Phoenix dactylifera* L.): A systematic review and meta-analysis. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6): 3566–3577. doi:10.1016/j.sjbs.2021.03.033
- [21] Hansakul, P., Srisawat, U., Itharat, A. and Lerdvuthisophon, N. (2011). Phenolic and flavonoid contents of Thai rice extracts and their correlation with antioxidant activities using chemical and cell assays. *Journal of the Medical Association of Thailand*. 94(7): 122–130. (in Thai)

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University²The Chulalongkorn Stroke Center of Excellence, King Chulalongkorn Memorial Hospital, the Thai Red Cross Society

- [22] Chairerk, N., Pongyeela, P. and Chungsiriporn, J. (2021) Ethanol extraction of active ingredients and antioxidants from germinated sangyod rice. *Applied Science and Engineering progress*. 14(1): 52-59. doi:10.14416/j.asep.2019.03.003
- [23] Junli, Lv., Lu, Y., Yingjian, L., Yuge, N., Linwei, L., Costa, J. and Liangli, Y. (2012). Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour. *Food Chemistry*. 135(2): 325–331. doi:10.1016/j.foodchem.2012.04.141
- [24] Yamsaray, M., Sreewongchai, T., Phumichaib, C. and Chalermchaiwat, P. (2022). Yield and nutritional properties of improved red pericarp Thai rice varieties. *ScienceAsia*. 49: 155–160. doi:10.2306/scienceasia1513-1874.2022.144
- [25] Wangpankhajorn, P., Maneechot, S., Junsri, M., Jannu, T. and Samakradhamrongthai, R.S. (2020). Effect of substitution of wheat flour with Sungyod rice flour on physical and sensory qualities in cookies. *Journal of Science and Technology*. 9(2): 56-63. (in Thai).
- [26] Luo, M.R., Cui, G. and Rigg, B. (2001). The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research & Application*. 26(5): 340- 350. doi:10.1002/col.1049
- [27] Piyawat, U., Wattanachant, S. and Nitithamyong, A. (2021). Physicochemical properties and antioxidant activity of gluten-free crackers substituted with Riceberry flour. *Molecules*. 26(13): 3982. doi:10.3390/molecules26133982
- [28] Suwonsichon, S. (2021). Sensory evaluation of food: Principles and practices. Kasetsart University Agricultural Library. [Online] Available from https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/BKN_AGRO/search_detail/result/341121%0A [Accessed May 21, 2025].
- [29] Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C.A., Caballero, P.A. and Apesteguía, A. (2007). Effect of dietary fiber on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*. 224(1): 109–117. doi:10.1007/s00217-006-0299-7
- [30] Pongpinyopap, S. and Lertrakarnnon, P. (2017). Physicochemical properties and antioxidant activity of Sangyod rice. *Journal of Agricultural Science*. 48(1): 61–70. (in Thai).
- [31] Frey, M. (2024). Flour Nutrition Facts and Health Benefits. Verywellfit. [Online] Available from <https://www.verywellfit.com/flour-nutrition-facts-calories-and-health-benefits-4119166>. [Accessed May 21, 2025].
- [32] Punfujinda, C., Pongprajak, A., Anunvrapong, A., Boukaew, S. and Chumkaew K. (2025). Nutritional properties, bioactive compounds, antioxidant activities, and consumer acceptance of butter cake enhanced with Sangyod rice (*Oryza sativa* L.) flour. *Journal of Innovative Research and Scientific Studies*. 8(1): 924-938. doi:10.53894/ijirss.v8i1.4469
- [33] United States Department of Agriculture. (2024). FoodData Central: Wheat flour, whole-grain. U.S. Department of Agriculture. FoodData Central. [Online] Available from <https://fdc.nal.usda.gov/>

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหลอดเลือดสมองแบบครบวงจร แห่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

fdc-app.html#/food-details/170379/
nutrients. [Accessed May 21, 2025].

- [34] Ministry of Public Health Notification. (2013). Food in a Hermetically Sealed Container. Faolex. [Online] Available from <https://faolex.fao.org/docs/pdf/tha159844.pdf>. [Accessed May 21, 2025].
- [35] Ministry of Public Health Notification. (2013). Food category 2 – Standardized or quality-defined food in hermetically sealed containers. Food. [Online] Available from <https://food.fda.moph.go.th>. [Accessed April 7, 2025].
- [36] Srisawat, U., Panunto, W., Kaendee, N., Tanuchit, S., Itharat, A., Lerdvuthisophon, N. and Hansakul, P. (2010). Determination of phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant activities in water extracts of Thai red and white rice cultivars. The Journal of the Medical Association of Thailand. 7:83-91. doi:10.1055/s-0030-1264431.
- [37] Lekjing, S., Noonim, P., Boottajean, S. and Chantawong, P. (2019). Effect of substitution of wheat flour with Sangyod brown rice flour on physicochemical and sensory qualities in snack product. Khon Kaen Agricultural Journal. 24(1): 679-684. (in Thai).

*Corresponding author e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

²The Chulalongkorn Stroke Center of Excellence, King Chulalongkorn Memorial Hospital, the Thai Red Cross Society