

คุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางกายภาพ และการยอมรับ  
ทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวที่ได้รับผลจากอัตราส่วน  
ของแป้งข้าวสาลีเหล็กต่อแป้งข้าวฟ่างดำที่แตกต่างกัน

Nutritional, Physical Properties and Sensory Acceptance of  
Snack Affected by Different Ratios of Sinlek Rice Flour to  
Black Sorghum Flour

นิภาพร กุลณา, ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์\* และน้องนุช สิริวงค์  
สาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

วศะพร จันทร์พัฒน์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Nipapond Kunna, Parisut Chalermchaiwat\* and Nongnuch Siriwong  
Food and Nutrition Program, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture  
Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Wasaporn Chanput

Department of Food Science and Technology Faculty of Agro-Industry  
Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ศึกษาอัตราส่วนแป้งข้าวสาลีเหล็กต่อแป้งข้าวฟ่างดำ 3 ระดับ คือ 60:40, 50:50 และ 40:60 ด้วยเครื่องเอกซเรย์เทอร์สกรูคู ที่สภาวะความชื้นร้อยละ 11 ความเร็วรอบของสกรู 380 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 140 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวสาลีเหล็กเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) และอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และความแข็งลดลง ขณะที่ปริมาณแป้งข้าวฟ่างดำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสี

เหลือง ( $b^*$ ) และอัตราการพองตัวลดลง ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยขนมขบเคี้ยวที่มีปริมาณข้าวฟ่างต่ำสุด (ร้อยละ 60) มีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหารหยาบ เส้นใยอาหาร คาร์โบไฮเดรต ธาตุเหล็ก สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ขนมขบเคี้ยวที่พัฒนาได้ (30 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค) จัดเป็นขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพที่มีเส้นใยอาหารสูง (ร้อยละ 22.26) และเป็นแหล่งของโปรตีน (ร้อยละ 9.94) ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) ผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

**คำสำคัญ :** คุณค่าทางโภชนาการ; แป้งข้าวสาลีเหล็ก; แป้งข้าวฟ่างดำ; ขนมขบเคี้ยว

## Abstract

The objectives of this research were to evaluate the nutritional, physical properties and sensory acceptance of snack. A completely randomized design (CRD) was used to study three ratios of Sinlek rice flour to black sorghum flour which were 60 : 40, 50 : 50 and 40 : 60. Twin screw extruder under conditions of 11 % feed moisture content, 380 rpm screw speed, and 140 °C barrel temperature were used in the production process. The result showed that the increasing in Sinlek flour content enhanced the lightness ( $L^*$ ), yellowness ( $b^*$ ) and expansion ratio, but decreased the redness ( $a^*$ ) and hardness value. Increasing of black sorghum flour content showed the decrease of lightness ( $L^*$ ), yellowness ( $b^*$ ) and expansion ratio, and the increase of redness ( $a^*$ ) and hardness value. Snack with the highest content of black sorghum (60 %) also contained the highest value of protein, fat, crude fiber, dietary fiber, carbohydrate, iron, total phenolic and antioxidant activities. The developed snack (30 g/ serving) was a healthy snack with high fiber (22.26 %) and a source of protein (9.94 %) following by Notification of Ministry of Public Health (No 182). The mean overall liking score of the product was “like slightly”.

**Keywords:** nutritional; Sinlek rice flour; black sorghum; snack

## 1. บทนำ

ขนมขบเคี้ยว คือ ผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปที่สามารถบริโภคได้ทันที มีน้ำหนักเบา เก็บไว้ได้นาน และมีพลังงานสูง นิยมรับประทานเป็นอาหารว่าง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมสูงในกลุ่มวัยผู้ใหญ่ตอนต้น (18-30 ปี) [1] โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการบริโภคขนมขบเคี้ยว คือ กระแสสื่อสังคมออนไลน์ (social media) ซึ่งผู้บริโภคเข้าถึงแหล่งอาหารได้ง่าย

พฤติกรรมการบริโภครวมถึงกำลังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคมีภาวะน้ำหนักเกินและภาวะอ้วนเพิ่มมากขึ้นเป็น 10 เท่า ในรอบ 40 ปีที่ผ่านมา [2] จึงเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ประกอบกับปัจจุบันนี้ยังพบว่า มีผู้ที่แพ้กฐูเตนเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ทำจากแป้งสาลีมีการนำเอาแป้งชนิดอื่นมาใช้ประโยชน์ทดแทนมากขึ้น ได้แก่ แป้งข้าวแป้งมันเทศสีม่วง แป้งบัว แป้งกล้วย เป็นต้น [3] ซึ่ง

ข้าวของไทยเป็นวัตถุดิบที่มีความน่าสนใจ ง่าย ราคาถูก การพองตัวดี และมีกลิ่นรสอ่อน จึงเหมาะสำหรับนำมาแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยว [4] อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการปรับปรุงคุณภาพของข้าวให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เช่น ข้าวสินเหล็ก (*Oryza sativa* L. cv. Sinlek) เป็นข้าวที่ดัดแปลงพันธุ์มาจากข้าวเจ้าหอมนิลและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งอุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญ คือ โปรตีนและเส้นใยอาหาร และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระและธาตุเหล็กสูงอีกด้วย จึงเหมาะสำหรับผู้ที่เป็นโรคเบาหวานและผู้ที่มีธาตุเหล็ก [5] ข้าวฟ่าง (*Setaria italica* L. Beauvois.) เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์เพราะมีราคาถูก แต่ปัจจุบันมีการแปรรูปข้าวฟ่างเป็นแป้งเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นทางเลือกสำหรับผู้แพ้อาหาร เพราะในข้าวฟ่างมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะเส้นใยอาหารและโปรตีน มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าข้าวฟ่างสีดํา สีน้ำตาล และสีแดง มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แทนนิน สารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินสูง [6]

ประโยชน์ของวัตถุดิบดังกล่าว จึงมีแนวคิดในการนำแป้งข้าวสินเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางกายภาพ และประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวสินเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ที่มาจากการใช้วัตถุดิบในประเทศและเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ ได้แก่ ข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็ก จากอำเภอหนองฉาง จังหวัดอุทัยธานี คัดเลือกเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ และข้าวฟ่างดำพันธุ์กินรี 2 จากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Fitz mill (Fitzpatrick, รุ่น E-187 India) ให้เป็นผงแป้งขนาดอนุภาค 177 ไมครอน แล้วบรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์แบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัตถุประสงค์ ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Hunter-Lab, รุ่น Colourflex USA) และค่าปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ด้วยเครื่อง  $a_w$  (Aqualab, รุ่น 4TE USA) จำนวน 3 ซ้ำ

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร ตามวิธีของ AOAC (2010) [7] วิเคราะห์เส้นใยอาหาร (เส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารละลายน้ำ) โดยใช้ชุดวิเคราะห์ total dietary fiber (Megazyme international, Ireland) ตามวิธีของ AACC total dietary fiber (TDF) method, 32-05.01 และ the AACC soluble/insoluble dietary fiber method (for oat products), 32-21.01 วิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กตามวิธี in-house method based on AOAC 984.27 (2016) [8] วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลเป็น mg GAE/100 g sample ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging activity, DPPH) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลเป็นหน่วย mg TE/100 g sample และความ

สามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (ferric reducing antioxidant power assay, FRAP) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ใช้  $\text{FeSO}_4$  เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลเป็นหน่วย  $\text{mg FeSO}_4/100 \text{ g sample}$  ตามวิธีของ Chalermchaiwat และคณะ [9] และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (cyaniding 3-glucoside) ด้วยวิธี pH differential วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 นาโนเมตร รายงานผลเป็นหน่วย  $\text{mg}/100 \text{ g sample}$  ตามวิธีของ Lee และคณะ [10] จำนวน 3 ซ้ำ

## 2.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสาลี เหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยว

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีเหล็กต่อแป้งข้าวฟ่างดำ ในอัตราส่วนร้อยละ 60 : 40, 50 : 50 และ 40 : 60 กระบวนการผลิตเริ่มจากนำแป้งข้าวสาลีเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำผสมในเครื่องผสมอาหาร ความเร็วเบอร์ 2 ผสมนาน 10 นาที นำส่วนผสมที่ได้ไปแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ที่สภาวะความชื้นร้อยละ 11 ความเร็วรอบของสกรู 380 รอบ ต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 140 องศาเซลเซียส ดัดแปลงตามวิธีของ Devi และคณะ [11] เมื่อได้ขนมขบเคี้ยวแล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วจึงนำขนมขบเคี้ยวที่ได้ไปบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ( $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส) นำไปตรวจสอบคุณภาพดังนี้

2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสี และค่าปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ตามวิธีการข้อ 2.1.1 วัดค่าเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง (hardness) ด้วยเครื่อง texture TA.XT plus analyzer ใช้หัววัด P50 สภาวะที่ใช้ทดสอบ ความเร็วก่อนทดสอบ (pre-test

speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วขณะทดสอบ (test speed) 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหลังทดสอบ (post-test speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกดหัววัดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง รายงานหน่วยเป็นนิวตัน (N) ดัดแปลงตามวิธีของ Pardhi และคณะ [12] และอัตราส่วนการพองตัว (expansion ratio) โดยการคำนวณจาก อัตราส่วนการพองตัว = เส้นผ่านศูนย์กลางของขนมขบเคี้ยว ÷ เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าแปลน (die) รายงานหน่วยเป็นเท่า ดัดแปลงตามวิธีของ Ding และคณะ [13] จำนวน 10 ซ้ำ

2.2.2 คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ใย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร หยาบ เส้นใยอาหาร ธาตุเหล็ก สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตามวิธีการข้อ 2.1.2

2.2.3 ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) กับผู้ทดสอบ กลุ่มเป้าหมายอายุ 18-30 ปี จำนวน 50 คน ในคุณลักษณะด้านสี ความพอง กลิ่นรส ความกรอบ รสชาติ และความชอบโดยรวม

2.2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ นำข้อมูลคุณภาพของข้าวสาลีเหล็กเปรียบเทียบกับข้าวฟ่างดำ มาวิเคราะห์ด้วยวิธี paired samples t-test ส่วนข้อมูลคุณภาพทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสาลีเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยว นั้น มาจากการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม

สำเร็จรูปทางสถิติ

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 3.1 ผลการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ

ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบเริ่มต้น ได้แก่ ข้าวกล้องสีนเหล็ก และข้าวฟ่างดำ พบว่าข้าวสีนเหล็กมีปริมาณความชื้น ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าข้าวฟ่างดำ เนื่องจากข้าวสีนเหล็กมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลที่มีปริมาณร้อยละ 6.50 และมีสัดส่วนของแป้งร้อยละ 90.50 ลักษณะแป้งที่ได้จึงมีสีขาวปนน้ำตาลอ่อน [14] ทำให้มีความสว่างสูงกว่าข้าวฟ่างดำ ข้าวฟ่างดำมีปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ปริมาณโปรตีนไขมัน ใยอาหารหยาบ เส้นใยอาหาร และธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวสีนเหล็กถึง 1, 4, 3, 10, 3 และ 3 เท่าตามลำดับ เนื่องจากเมล็ดข้าวฟ่างดำที่ไ้ยังไม่ผ่านกระบวนการสีเอาเปลือกอ่อนสีดำที่หุ้มอยู่ออกจึงทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการและสารประกอบอื่น ๆ สูงกว่าข้าวสีนเหล็ก [14,15] โดยโปรตีนส่วนใหญ่ที่พบในข้าวฟ่าง คือ โปรลามีน (prolamine) และจากปริมาณไขมันที่พบสูงในข้าวฟ่างดำ Afify และคณะ [16] อธิบายว่าปริมาณไขมันที่พบส่วนใหญ่ในข้าวฟ่างเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ ลิโนเลอิก ลิโนเลนิก และยังมีกรดไขมันโอเมกา 3 และกรดไขมันโอเมกา 6 ด้วย [17] นอกจากนี้ข้าวฟ่างดำยังมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แอนโทไซยานินทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่าข้าวสีนเหล็กถึง 7, 13, 1 และ 2 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Dykes และคณะ และ Awika และคณะ [18,19] ที่รายงานว่าพบสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่างดำ โดยเฉพาะแทนนินและแอนโทไซยานินในปริมาณที่สูงกว่าธัญพืชชนิดอื่น 3-4 เท่า

#### 3.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสีนเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยว

ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสีนเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวสีนเหล็กเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40, 50 และ 60 ตามลำดับนั้น จะทำให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) และอัตราการพองตัวของขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และความแข็งลดลง ขณะที่แป้งข้าวฟ่างดำเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) และอัตราการพองตัวของขนมขบเคี้ยวลดลง แต่ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากในแป้งข้าวฟ่างดำมีปริมาณของเส้นใยอาหารไม่ละลายน้ำสูง ซึ่งเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะไปขัดขวางการพองตัวของขนมขบเคี้ยวโดยจะไปลดการดูดซับน้ำในระหว่างกระบวนการผลิตทำให้ส่งผลต่อการขยายตัวของแป้งโด ลักษณะของขนมขบเคี้ยวที่ได้จึงมีการพองตัวต่ำ [20] ซึ่งมีความสัมพันธ์กันกับค่าความแข็งและค่าสีที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การที่วัตถุดิบมีปริมาณของโปรตีนสูงจะทำให้อัตราการพองตัวของขนมขบเคี้ยวลดลงด้วยเช่นกัน [11]

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี การพองตัว กลิ่นรส ความแข็ง รสชาติ และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวระดับต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าความชอบด้านการพองตัวและความแข็งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยการเพิ่มปริมาณข้าวสีนเหล็กสูงสุดในขนมขบเคี้ยว (ร้อยละ 60) ส่งผลให้ได้คะแนนความชอบด้านการพองตัวสูงที่สุด เนื่องจากในข้าวสีนเหล็กมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและมีโปรตีนต่ำกว่าข้าวฟ่างดำ ทำให้ขนมขบเคี้ยวพองตัวได้ดี ขณะที่

คะแนนความชอบด้านความแข็ง โดยการใช้ปริมาณข้าวสีนเหล็กและข้าวฟ่างดำเท่ากัน (ร้อยละ 50) ส่งผลให้ได้คะแนนความชอบสูงที่สุด เนื่องจากสัดส่วนของแป้งข้าวสีนเหล็กต่อแป้งข้าวฟ่างดำมีความพอดี ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวที่ได้จึงไม่แข็งกระด้าง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในข้าวฟ่างดำมีปริมาณของไขมันสูง ซึ่งไขมันเป็นส่วนที่ช่วยทำให้เนื้อสัมผัส

ไม่แข็งกระด้าง [4] อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคให้คะแนนในคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวยังไม่ได้ปรุงแต่งรสชาติ ผลวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวสีนเหล็กและแป้งข้าวฟ่างดำ (ตารางที่ 3) พบว่า

**Table 1** Physical and nutritional properties of Sinlek rice and black sorghum.

Properties	Sinlek rice	Black sorghum
Physical properties:		
Color value		
L*	81.00±0.06*	50.81±0.27
a*	0.70±0.02	3.47±0.09*
b*	11.81±0.07	13.83±0.22*
Water activity (a <sub>w</sub> )	0.48±0.00	0.54±0.00*
Nutritional properties (% dry basis):		
Moisture	10.16±0.19*	9.77±0.04
Ash	1.25±0.01	4.18±0.08*
Protein	7.78±0.31	11.50±0.07*
Fat	2.26±0.06	8.46±0.13*
Crude fiber	0.79±0.06	7.68±0.45*
Carbohydrate	87.92±0.56*	68.18±0.55
Total dietary fiber	5.71±0.21	19.69±0.81*
Insoluble dietary fiber	3.34±0.34	18.04±0.53*
Soluble dietary fiber	2.37±0.55*	1.65±0.28
Iron (mg/100 g sample)	1.82±0.10	5.08±0.15*
TPC (mg GAE/100 g sample)	37.25±2.21	250.05±4.46*
TAC (mg/100 g sample)	0.54±0.02	15.59±0.13*
Antioxidant activities		
DPPH (mg TE/100 g sample)	37.09±0.51	49.30±0.09*
FRAP (mg FeSO <sub>4</sub> /100 g sample)	298.14±4.49	485.80±14.83*

\*Means within the same row are significant difference (p ≤ 0.05); TPC = total phenolic content, TAC = total anthocyanin content, GAE = gallic acid equivalent, TE = Trolox equivalent, FeSO<sub>4</sub> = ferrous sulfate.

**Table 2** Physical properties and sensory acceptance of snack from Sinlek flour and black sorghum flour by extrusion process.

Properties	Sinlek flour : Black sorghum flour		
	60 : 40	50 : 50	40 : 60
Physical properties			
Color value			
L*	56.95±0.25 <sup>a</sup>	52.93±0.43 <sup>b</sup>	50.91±1.23 <sup>c</sup>
a*	2.46±0.13 <sup>b</sup>	2.61±0.07 <sup>a</sup>	2.70±0.06 <sup>a</sup>
b*	15.20±0.17 <sup>a</sup>	12.81±0.07 <sup>b</sup>	12.57±0.15 <sup>c</sup>
Water activity (a <sub>w</sub> )	0.30±0.01 <sup>a</sup>	0.23±0.02 <sup>b</sup>	0.30±0.01 <sup>a</sup>
Expansion ratio (fold)	1.55±0.03 <sup>a</sup>	1.47±0.04 <sup>b</sup>	1.43±0.03 <sup>c</sup>
Hardness (N)	89.09±5.69 <sup>b</sup>	93.81±7.74 <sup>ab</sup>	95.69±5.95 <sup>a</sup>
Sensory acceptance score			
Color <sup>ns</sup>	6.52±1.50	6.06±1.58	5.94±1.62
Expansion ratio	7.00±1.21 <sup>a</sup>	6.84±1.48 <sup>b</sup>	6.04±1.69 <sup>c</sup>
Flavor <sup>ns</sup>	6.26±1.50	6.36±1.59	5.80±1.84
Hardness	6.96±1.35 <sup>ab</sup>	7.12±1.39 <sup>a</sup>	6.52±1.57 <sup>b</sup>
Taste <sup>ns</sup>	5.88±1.57	6.04±1.79	5.60±1.78
Overall liking <sup>ns</sup>	6.52±1.20	6.52±1.43	6.06±1.52

<sup>a-c</sup>Means within the same row with different superscripts are significant difference ( $p \leq 0.05$ ); <sup>ns</sup>Means within the same row are not significant difference ( $p > 0.05$ ).

ขนมขบเคี้ยวที่มีปริมาณของแป้งข้าวฟ่างต่ำสูงสุด (ร้อยละ 60) (รูปที่ 1) มีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร ใยอาหาร เส้นใยอาหาร ธาตุเหล็ก สารประกอบ ฟีนอลิก ทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด แต่ไม่พบปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เนื่องจากอุณหภูมิสูงที่ใช้ในระหว่างการผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (140 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ความเสถียรของสารแอนโทไซยานินและรงควัตถุในวัตถุดิบลดลง โดย cyanidin 3- glucoside และ cyanidin 3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส [21] อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าเมื่อแป้งข้าวฟ่างต่ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ขนมขบเคี้ยวมีปริมาณของ

โปรตีน เส้นใยอาหาร ธาตุเหล็ก และสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบที่มาจากข้าวฟ่างดำมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เมื่อคิดคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) พบว่าขนมขบเคี้ยวที่พัฒนาได้จัดเป็นแหล่งของโปรตีน (ร้อยละ 9.94) และมีเส้นใยอาหารสูง (ร้อยละ 22.26) ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) ใดๆก็ตาม ขนมขบเคี้ยวที่พัฒนาได้ทั้ง 3 สิ่งทดลองนั้น มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าขนมขบเคี้ยวที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีพลังงานและไขมันสูง เส้นใยอาหารต่ำ (ร้อยละ 0-4) และโปรตีนต่ำ (ร้อยละ 0-5) [22]

**Table 3** Nutritional properties of snack from different ratios of Sinlek rice flour to black sorghum flour by extrusion process.

Properties	Sinlek rice flour : Black sorghum flour		
	60 : 40	50 : 50	40 : 60
Nutritional properties (% dry basis)			
Moisture	4.34±0.04 <sup>a</sup>	3.29±0.13 <sup>b</sup>	4.42±0.03 <sup>a</sup>
Ash	2.31±0.07 <sup>b</sup>	2.44±0.02 <sup>a</sup>	2.46±0.08 <sup>a</sup>
Protein <sup>ns</sup>	9.80±0.02	9.75±0.24	9.94±0.09
Fat	0.90±0.05 <sup>b</sup>	0.91±0.03 <sup>b</sup>	1.20±0.20 <sup>a</sup>
Crude fiber	3.57±0.53 <sup>c</sup>	4.12±0.08 <sup>b</sup>	4.31±0.46 <sup>a</sup>
Carbohydrate	83.42±0.46 <sup>a</sup>	82.77±0.14 <sup>a</sup>	82.09±0.48 <sup>b</sup>
Total dietary fiber	8.14±0.76 <sup>c</sup>	9.75±0.51 <sup>b</sup>	11.13±0.21 <sup>a</sup>
Insoluble dietary fiber	6.58±0.27 <sup>c</sup>	8.12±0.11 <sup>b</sup>	9.44±0.09 <sup>a</sup>
Soluble dietary fiber	1.56±0.49 <sup>c</sup>	1.63±0.11 <sup>b</sup>	1.70±0.30 <sup>a</sup>
Iron (mg/100 g sample)	2.41±0.04 <sup>b</sup>	2.78±0.04 <sup>a</sup>	2.86±0.08 <sup>a</sup>
TPC (mg GAE/100 g sample)	84.53±9.63 <sup>b</sup>	110.81±5.60 <sup>a</sup>	118.26±7.13 <sup>a</sup>
TAC (mg/100 g sample)	ND	ND	ND
Antioxidant activities			
DPPH (mg TE/100 g sample)	35.43±0.25 <sup>b</sup>	39.14±1.49 <sup>a</sup>	39.49±0.11 <sup>a</sup>
FRAP (mg FeSO <sub>4</sub> /100 g sample)	351.29±11.34 <sup>c</sup>	361.01±0.04 <sup>b</sup>	366.93±10.28 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup>Means within row with different superscripts are significant difference (p ≤ 0.05); <sup>ns</sup>Means within the same row are not significant difference (p > 0.05); TPC = Total phenolic content, TAC = Total anthocyanin content, GAE = Gallic acid equivalent, TE = Trolox equivalent, FeSO<sub>4</sub> = Ferrous sulfate. ND = Not detected



**Figure 1** Developed snack from Sinlek flour and black sorghum flour

#### 4. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำข้าวสาลีเหล็กและข้าวฟ่างดำที่เป็นวัตถุดิบในประเทศมาผลิตเป็นขนมขบเคี้ยว ซึ่งการใช้อัตราส่วนแป้งข้าวสาลีเหล็กต่อแป้งข้าวฟ่างดำร้อยละ 40 : 60 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีคุณค่าทางโภชนาการและมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ซึ่งขนมขบเคี้ยวที่พัฒนาได้จัดเป็นแหล่งของโปรตีน (ร้อยละ 9.94) และเส้นใย



อาหารสูง (ร้อยละ 22.26) ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) จัดเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

## 5. References

- [1] New Nutrition Business, Top 2016 Trends from New Nutrition Business, Available Source: <http://www.fdbusiness.com/top-2016-trends-from-new-nutrition-business>, March 15, 2016.
- [2] Khaikaew, T., World Health Organization Warns “Obesity in Children” has been Increasing Worldwide 10 Times Over the Last 40 Years, Available Source: <https://www.voathai.com/a/child-obesity-epidemic-tk/416569.html>, June 5, 2018. (in Thai)
- [3] National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Special Report: Department of Agriculture Shows Innovation of Lotus Flour and Sweet Potato Substitutes for Wheat Flour, Available Source: [http://www.acfs.go.th/read\\_news.php?id=11897&ntype=09](http://www.acfs.go.th/read_news.php?id=11897&ntype=09), June 20, 2018. (in Thai)
- [4] Charoenkun, A., 2010, Introduction to Food Processing (Chapter 1-5), Science and Food Technology, Faculty of Science, University of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok, 148 p. (in Thai)
- [5] Sudkaew, N., 2007, Inhibition of anemia, balsam and cancer with Sinlek rice and Riceberry rice: Great value of rice in the treatment of diseases, *Nat. Agric. J.* 10: 15-21. (in Thai)
- [6] Fans, A., 2018, The High-Fiber, Gluten-Free Ancient Grain: Sorghum Flour, Available Source: <https://draxe.com/sorghum-flour>, March 13, 2018.
- [7] AOAC, 2010, Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th Ed., The Association, Arlington, VA.
- [8] AOAC, 2016, Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th Ed., The Association, Arlington, VA.
- [9] 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 Sci. Technol. J.* 64: 490-496.
- [10] Lee, J., Durst, R. and Wrolstad, RE., 2005, Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study, *AOAC Int. J.* 88: 1269-1278.
- [11] Devi, N.L., Shobha, S., Tang, X., Shaur, S.A., Dogan, H. and Alavi, S., 2013, Development of protein-rich sorghum-based expanded snacks using extrusion technology, *Food*

- Prop. J. 16: 263-276.
- [12] Pardhi, S.D., Singh, B., Nayik, G.A. and Dar, B.N., 2017, Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology, Saudi Soc. Agric. Sci. J. 8: 7-16.
- [13] Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G. and Marson, H., 2006, The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks, Food Eng. J. 3: 142-148.
- [14] Naivikul, O., 2015, Rice: Science and Technology, Kasetsart University, Bangkok, 366 p. (in Thai)
- [15] Pookpakdee, A., Thongphanak, P., Aekatasanawan, C., Pothisoong, T., Chuvathiwat, P. and Aunwanich, W., 2011, Plant Varieties Developed by Kasetsart University, Kasetsart University Research and Development Institute, Bangkok, 249 p. (in Thai)
- [16] Afify, M. R. A., El-Beltagi, H. S., Abd El-Salam, S.M. and Omran, A.A., 2012, Oil and fatty acid contents of white sorghum varieties under soaking, cooking, germination and fermentation processing for improving cereal quality, Not. Bot. Hort. Agrobi. J. 40: 86-92.
- [17] Self Nutrition Data, 2014, Sorghum Nutrition Facts and Calories, Available Source: <http://nutritiondata.self.com/facts/cereal-grains-and-pasta/5732/2>, March 3, 2018.
- [18] Dykes, L., Rooney, W.L. and Rooney, L.W., 2013, Evaluation of phenolics and antioxidant activity of black sorghum hybrids, Cereal Sci. J. 58: 278-283.
- [19] Awika, M.J., Rooney, L.W. and Waniska, R. D., 2004, Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties, Food Chem. J. 90: 293-301.
- [20] Selani, M.M., Canniattibrazaca, S.G., Dias, C.T., Ratnayake, W.S., Flores, R.A. and Bianchini, A., 2014, Characterization and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fiber enhancement, Food Chem. J. 163: 23-30.
- [21] Department of Science Service and Ministry of Science and Technology, Anthocyanin, Available Source: <http://www.chaipanich.co.th/userfiles/files/.pdf>, June 20, 2018. (in Thai)
- [22] Thongbasirilai, N., Srisura, V., Serisuchat, W., 2014, Handbook of to Classifying Foods, Snack, Milk and Beverages According to Nutrition Standards, 2nd Trial Version, National Buddhism, Nonthaburi, 76 p. (in Thai)