การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากข้าวฟ่างหางกระรอก เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ต

Formula Optimization for Producing Snack Bar Made from Foxtail Millet (*Setaria italica* Beauv.), Pumpkin Seeds and Oats

ดร.ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์ (Dr.Parisut Chalermchaiwat)[1]* ปาริชาติ สดศรีทอง (Parichart Sodsrithong)**
มัชฌิมา สมบูรณ์ผล (Matchima Somboonpon)** ปัณฑารีย์ ศิริชัย (Pandaree Sirichai)***
อำไพ พรหมณเรศ (Amphai Promnaret)****

(Received: *May 27, 2024*; Revised: *August 2, 2024*; Accepted: *August 5, 2024*)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและขยายขอบเขตการใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างหางกระรอกด้วยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง ศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบหลัก 3 ชนิด ด้วยวิธีการจัดสิ่งทดลองแบบผสม (mixture design) ได้แก่ ข้าวฟ่างหางกระรอก (ร้อยละ 15-20) เมล็ดฟักทอง (ร้อยละ 25-30) และข้าวโอ๊ต (ร้อยละ 45-60) ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณข้าวฟ่างหางกระรอกและเมล็ดฟักทอง ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและไขมันเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสว่าง (L*) และค่าความแข็งลดลง การเพิ่มปริมาณข้าวโอ๊ต ส่งผลให้ความชื้น และ a_w ลดลง แต่มีคะแนนการยอมรับเพิ่มขึ้น ดังนั้น สูตรที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง ประกอบด้วย ข้าวฟ่างหางกระรอก ร้อยละ 20 เมล็ดฟักทอง ร้อยละ 27.50 และข้าวโอ๊ต ร้อยละ 52.50 มีค่า a_w เท่ากับ 0.35 ค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 46.35 และค่าความแข็งเท่ากับ 30.15 นิวตัน มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ ร้อยละ 7.57, 31.09, 19.24, 3.06, 2.36 และ36.68 ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่พัฒนาได้ จำนวน 5 ชิ้น (100 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค) ให้พลังงาน 509 กิโลแคลอรี จัดเป็นอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งเพื่อสุขภาพที่สามารถบริโภคทดแทนมื้ออาหารได้และมีโปรตีนสูง (31.09 กรัม) ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 445) และมีคะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

[1]*Corresponding author: fagrpsch@ku.ac.th*

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
Associate Professor, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

***นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอาหาร โภชนาการ และการกำหนดอาหาร ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
Student, Bachelor of Science Program in Food, Nutrition and Dietetics, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

****นักวิชาการโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
Nutritionist Technical Officer, Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

*****นักวิจัย ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
Researcher of National Corn and Sorghum Research Center, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

ABSTRACT

This research aims to enhance the value of agricultural products and expand the utilization of foxtail millet by developing it into a snack bar. The ratio of three main ingredients (foxtail millet 15-20%, pumpkin seeds 25-30%, and oats 45-60%) was investigated using a mixture design approach to evaluate their impact on the physical, chemical, and sensory properties of the snack bars. The results revealed that increasing the amount of foxtail millet and pumpkin seeds led to higher protein and fat content but lower lightness (L*) and hardness values. On the other hand, increasing oat resulted in lower moisture content and aw value but higher acceptability scores. Therefore, the optimal formulation for producing snack bars consisted of 20% foxtail millet, 27.50% pumpkin seeds, and 52.50% oats. This formulation had an aw of 0.35, lightness (L*) of 46.35, and hardness of 30.15 N. The moisture, protein, fat, ash, crude fiber, and carbohydrate contents were 7.57%, 31.09%, 19.24%, 3.06%, 2.36%, and 36.68%, respectively. The developed snack bars (100 g per serving) provided 509 kcal, making them a healthy snack alternative that can replace a meal and is high in protein (31.09 g) according to the Ministry of Public Health Announcement (No. 445). Additionally, the acceptability scores for all attributes were within the range of “Like slightly” to “Like moderately”.

คำสำคัญ: ข้าวฟ่างหางกระรอก อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง การจัดสิ่งทดลองแบบผสม
Keywords: Foxtail millet, Snack bar, Mixture design

บทนำ

Snackification คือ พฤติกรรมการบริโภคอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการรับประทานอาหารมื้อหลักสามมื้อตามปกติมาเป็นการบริโภคอาหารขนาดเล็ก (อาหารว่าง) บ่อยครั้งมากขึ้นตลอดทั้งวัน แนวโน้มนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายโดยมีสาเหตุหลักมาจากวิถีชีวิตที่เร่งรีบ ผู้บริโภคมีเวลาน้อยลงสำหรับการนั่งรับประทานอาหารมื้อใหญ่ ประกอบกับความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารว่างที่มีวางจำหน่ายมากขึ้น [1] แม้ว่าผู้คนส่วนใหญ่ยังคงมีความเชื่อว่าการรับประทานอาหารว่างบ่อยครั้งนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ดีต่อสุขภาพ แต่ก็อาจเป็นโอกาสในการเพิ่มความถี่ในการบริโภคสารอาหารที่มีประโยชน์ เช่น โปรตีน และใยอาหาร ได้เช่นกัน หากเลือกอาหารว่างที่เหมาะสม [2] นอกจากนี้ ในปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มให้ความสำคัญกับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารมากขึ้น เช่นเดียวกับกรณีของอาหารว่าง ผู้บริโภคต้องการอาหารว่างที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ อุดมไปด้วยสารอาหาร รวมทั้งยังสามารถทดแทนมื้ออาหารได้ ผู้ผลิตจึงต้องปรับตัวเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารว่างที่มีคุณภาพดี มีคุณค่าทางโภชนาการ และตอบสนองกับความต้องการของผู้บริโภค

อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง (Snack bar) คือ ตัวอย่างหนึ่งของอาหารว่างที่สามารถทดแทนมื้ออาหารได้ มีส่วนประกอบคือ ธัญพืช ถั่ว ผักและผลไม้ ผสานกับสารยึดเกาะเพื่อขึ้นรูปเป็นแท่ง [3] ซึ่งจากการสำรวจของ Mordor Intelligence [4] พบว่า ในปี 2567 แนวโน้มมูลค่าตลาดของ snack bar ในประเทศไทยนั้นคาดว่าจะอยู่ที่ 32.26 ล้านเหรียญสหรัฐ และคาดว่าจะสูงถึง 41.68 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 2572 คิดเป็นค่าเติบโตเฉลี่ย CAGR ที่ร้อยละ 5.26 ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตลาด snack bar เติบโตขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของผู้บริโภคที่มีความตระหนักรู้ด้านสุขภาพ การเติบโตขึ้นของประชากรที่หันมาออกกำลังกาย การรับประทานอาหารว่างระหว่างมื้อในขณะเดินทาง ความสะดวกในการ

พกพา และคุณประโยชน์ทางโภชนาการที่ครบถ้วน รวมทั้งจากการสำรวจแนวโน้มเชิงพฤติกรรมการบริโภคและอุตสาหกรรมที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งในปี 2565 พบว่า อนาคตของอุตสาหกรรมอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากธัญพืช มีความสัมพันธ์กับการพัฒนาสูตรให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยไม่ลดทอนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลง และในขณะเดียวกันยังต้องยกระดับความเป็นธรรมชาติและความยั่งยืนให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ [2]

ข้าวฟ่างหางกระรอก (foxtail millet) เป็นธัญพืชเมล็ดเล็กที่มีการเพาะปลูกมานานกว่า 5,000 ปี พบกระจายพันธุ์ทั่วไปในเขตอบอุ่นและเขตร้อนของโลก ทั้งในทวีปเอเชีย ยุโรป อเมริกา และแอฟริกา จัดเป็นพืชตระกูลหญ้าใน Family Gramineae (Poaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Setaria italica Beauv*. เมล็ดข้าวฟ่างหางกระรอกเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารมนุษย์ เนื่องด้วยมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ โปรตีน ใยอาหาร วิตามินบี และสารต้านอนุมูลอิสระ ปัจจุบันข้าวฟ่างหางกระรอกเริ่มมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มากขึ้น เพราะเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง มีแมลงศัตรูรบกวนน้อย สามารถใช้ทดแทนธัญพืชอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ด้วยเหตุนี้ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงได้ดำเนินการศึกษาทดลองปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่างหางกระรอก 2 สายพันธุ์ ได้แก่ กินรี 1 และ กินรี 2 ภายใต้โครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่าง (ศ.2.1) เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและสามารถปลูกได้ตลอดปี [5] อย่างไรก็ตาม ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สูง ข้าวฟ่างหางกระรอกจึงควรได้รับการส่งเสริมให้มีการบริโภคเป็นอาหารของมนุษย์นอกเหนือจากการใช้เป็นอาหารสัตว์ นอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนมีสุขภาพที่ดีอีกด้วย

ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและขยายขอบเขตการใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างหางกระรอก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้าวฟ่างหางกระรอกมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่างหางกระรอก

งานวิจัยนี้ใช้ข้าวฟ่างหางกระรอกพันธุ์กินรี 1 ซึ่งเก็บเกี่ยวเมื่อเดือนเมษายน พ.ศ.2566 โดยเมล็ดมีเนื้อแข็ง แห้ง และมีสีคงที่ตรงตามพันธุ์ [5] นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (4±2 องศาเซลเซียส) ก่อนนำมาวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2019) [6] จำนวน 3 ซ้ำ รายงานหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก (% wet basis)

1.2 ค่าพลังงานสะสมของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter (ยี่ห้อ PARR รุ่น 6100, ประเทศสหรัฐอเมริกา) จำนวน 3 ซ้ำ รายงานหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อกรัม (Kcal/g)

2. การศึกษาสูตรมาตรฐานในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

2.1.1 ข้าวโอ๊ต นำมากระจายลงบนถาดแล้วนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำออกมาเกลี่ยให้ทั่วเพื่อกระจายความร้อน จากนั้นนำไปอบต่อเป็นเวลา 5 นาที [7] ข้าวโอ๊ตหลังอบ มีค่า

ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.26 ซึ่งได้ตามมาตรฐานธัญชาติอบแห้ง มผช.1504/2562 ซึ่งได้กำหนดค่า a_w ไว้ที่ไม่เกิน 0.6 [8]

2.1.2 เม็ดมะม่วงหิมพานต์ นำมาหั่นครึ่งในแนวขวาง จากนั้นนำไปกระจายลงบนถาด อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 นาที [7] เม็ดมะม่วงหิมพานต์หลังอบ มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 0.18 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานเม็ดมะม่วงหิมพานต์อบ มผช.684/2565 ซึ่งได้กำหนดค่าความชื้นไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก [9]

2.1.3 เมล็ดฟักทอง นำมากระจายลงบนถาด อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยเมล็ดฟักทองหลังอบมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 0.29 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานเมล็ดฟักทองอบ มผช.740/2565 ที่ได้กำหนดค่าความชื้นไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก [10]

2.1.4 งาดำ นำไปคั่วในกระทะอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที สังเกตได้จากเมล็ดมีความพองตัว และมีกลิ่นหอม งาดำหลังคั่วที่ได้ มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.41 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานงาคั่ว มผช. 686/2563 ซึ่งได้กำหนดค่า a_w ไว้ที่ไม่เกิน 0.6 [11]

2.1.5 ข้าวฟ่างหางกระรอก นำไปล้างน้ำจำนวน 3 ครั้ง ผึ่งให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ข้าวฟ่างหางกระรอกอบแห้ง มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.28 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานธัญชาติอบแห้ง มผช.1504/2562 ซึ่งได้กำหนดค่า a_w ไว้ที่ไม่เกิน 0.6 [8]

2.2 ขั้นตอนการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง

แบ่งส่วนผสมออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแห้ง ได้แก่ ข้าวโอ๊ต เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เมล็ดฟักทอง งาดำ และส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำเชื่อมข้าวฟ่าง เนยถั่ว และกลูโคสไซรัป (แบะแซ) เริ่มการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งด้วยการนำน้ำเชื่อมข้าวฟ่าง เนยถั่ว และกลูโคสไซรัป เทลงในอ่างผสม คลุกเคล้าส่วนผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ตามด้วยส่วนผสมของแห้ง คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยพิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด 3.10x6.50 เซนติเมตร โดยชั่งน้ำหนักแท่งละ 20 กรัม นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำมาพักให้คลายความร้อน นำไปเก็บรักษาในถุงพลาสติกโพลีเอทีลีนที่อุณหภูมิห้อง (27±2 องศาเซลเซียส)

2.3 ศึกษาสูตรมาตรฐานของอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง

ศึกษาสูตรมาตรฐาน 2 สูตร (A และ B) โดยดัดแปลงจากสูตรอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งของ Erin Clarke (2024) [12] ทั้งสองสูตรจัดเป็นลักษณะอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งแบบเหนียวนุ่ม (chewy bar) ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 25-30 [13] โดยมีวัตถุดิบที่แตกต่างกันคือ กลูโคสไซรัป ปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งสูตรมาตรฐาน

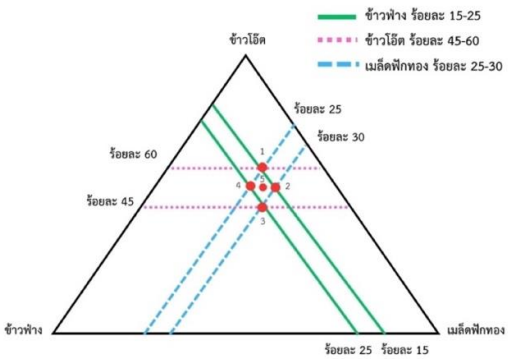
วัตถุดิบ	สูตร A (กรัม)	สูตร B (กรัม)
ข้าวโอ๊ต	150	150
เม็ดมะม่วงหิมพานต์	100	100
เมล็ดฟักทอง	110	110
งาดำ	30	30
เนยถั่ว	50	50
น้ำเชื่อมข้าวฟ่าง	130	130
กลูโคสไซรัป	-	10

หลังจากนั้น นำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ผลิตได้จากข้อ 2.3 มาประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยการให้คะแนนการยอมรับโดยวิธี 9-point Hedonic Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุดและ 9 = ชอบมากที่สุด) กับผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน กลุ่มเป้าหมายอายุ 18-35 ปี [14] ซึ่งเป็นนิสิต อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 50 คน เกณฑ์ในการคัดเลือกผู้ทดสอบชิมคือ ต้องเป็นผู้ที่รู้จักและเคยรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งมาก่อน และมีความสมัครใจที่จะทดสอบผลิตภัณฑ์ คุณลักษณะที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ความแข็ง รสชาติโดยรวม และการยอมรับโดยรวม เพื่อนำตัวอย่างที่ได้คะแนนการยอมรับสูงที่สุดไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. ศึกษาสูตรการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่เหมาะสม

3.1 ศึกษาอัตราส่วนของข้าวฟ่าง : เมล็ดฟักทอง : ข้าวโอ๊ตที่เหมาะสม

ศึกษาอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง โดยจัดสิ่งทดลองแบบผสม (Mixture Design) ศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปริมาณข้าวฟ่างร้อยละ 15-25 ปริมาณข้าวโอ๊ตร้อยละ 45-60 ปริมาณเมล็ดฟักทองร้อยละ 25-30 ได้ภาพซ้อนทับกันของวัตถุดิบที่ทำการศึกษาดังภาพที่ 1 ได้สูตรการทดลองแตกต่างกันทั้งหมด 5 สูตร แสดงดังตารางที่ 2 และนำไปผลิตเป็นอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งตามวิธีการข้อที่ 2.2 โดยปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำมาศึกษาอัตราส่วนนั้น ได้มาจากการทดลองเบื้องต้น (preliminary study) และเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง พิจารณาจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางกายภาพ (ความแข็ง) เคมี (โปรตีน) และทางประสาทสัมผัส (คะแนนการยอมรับ)



ภาพที่ 1 Mixture Design แสดงการทับซ้อนกันของอัตราส่วนข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ต

ตารางที่ 2 สิ่งทดลองที่มีอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ตที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลองที่	ข้าวฟ่าง (ร้อยละ)	เมล็ดฟักทอง (ร้อยละ)	ข้าวโอ๊ต (ร้อยละ)
1	15	25	60
2	15	30	55
3	25	30	45
4	25	25	50
5	20	27.50	52.50

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

นำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ผลิตได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ดังนี้

3.2.1 วิเคราะห์สี ในระบบ CIE LAB โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Colorflex EZ 45-0(LAV), ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานค่าความสว่าง (L*) (ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีดำ ค่า 100 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีขาว) ค่าความเป็นสีแดง (a*) (+ หมายถึง วัตถุที่มีสีแดง, - หมายถึง วัตถุที่มีสีเขียว) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) (+ หมายถึง วัตถุที่มีสีเหลือง , - หมายถึง วัตถุที่มีสีน้ำเงิน) ทำการวัดค่า จำนวน 3 ซ้ำ

3.2.2 วิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA.XT plus, Stable Micro System, ประเทศอังกฤษ) ใช้หัววัดแบบ Three-point bending สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ ความเร็วก่อนทดสอบ (Pre-test speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วขณะทดสอบ (Test speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหลังการทดสอบ (Post-test speed) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยรายงานค่า ความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (Cohesiveness) วัดค่าจำนวน 10 ซ้ำ รายงานผลเป็นหน่วยนิวตัน (N)

3.3 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

นำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ผลิตได้ตามอัตราส่วนในข้อ 3.1 มาศึกษาคุณภาพทางเคมี ดังนี้

3.3.1 วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง Water Activity Metter (AQUA Lab, 4TE, ประเทศสหรัฐอเมริกา) จำนวน 3 ซ้ำ

3.3.2 วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ตามวิธีการข้อ 1.1

3.3.3 ค่าพลังงานสะสมของผลิตภัณฑ์ ตามวิธีการข้อ 1.2

3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ได้จากข้อ 3.1 มาประเมินทางประสาทสัมผัสตามวิธีการข้อ 2.3

3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสูตรมาตรฐานด้วย T-test เปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics Version 26

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่างหางกระรอก

ข้าวฟ่างหางกระรอกพันธุ์กินรี 1 มีลักษณะเป็นเป็นธัญพืชเมล็ดเล็ก สีเหลืองน้ำตาล (ภาพที่ 2) มีองค์ประกอบทางเคมีแสดงตามตารางที่ 3 ผลการศึกษาพบว่า ข้าวฟ่างหางกระรอกในงานวิจัยนี้ มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 27.87 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kalsi R, Bhasin J K. [15] และ Arora L, et al. [16] ที่พบว่าข้าวฟ่างหางกระรอก มีปริมาณโปรตีนสูงอยู่ที่ร้อยละ 9-18 นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ยังสอดคล้องกับข้อมูลในฐานข้อมูลของสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่รายงานว่า เมล็ดข้าวฟ่างหางกระรอก มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต อยู่ที่ร้อยละ 10.90, 18.10, 4.90, 1.90, 0.40 และ74.90 ตามลำดับ [5]

ภาพที่ 2 ข้าวฟ่างหางกระรอกพันธุ์กินรี 1

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่างหางกระรอกพันธุ์กินรี 1

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	13.48±4.28
โปรตีน (ร้อยละ)	27.87±1.71
ไขมัน (ร้อยละ)	1.94±0.09
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)	1.53±1.02
เถ้า (ร้อยละ)	1.72±0.16
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	52.77±6.36
พลังงานสะสม (กิโลแคลอรี/กรัม)	3.94±0.03

2. ผลการศึกษาสูตรมาตรฐานในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของสูตรอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่แตกต่างกัน 2 สูตร ด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale แสดงดังตารางที่ 4 จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งทั้ง 2 สูตร พบว่า อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งสูตร B ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากกว่าสูตร A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งสูตร B มีรสชาติหวานเพิ่มขึ้นจากกลูโคสไซรัป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติกลมกล่อม มีการเกาะตัวกันได้ดี และรับประทานง่ายมากขึ้น ในขณะที่การยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และความแข็ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จึงคัดเลือกอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง สูตร B มาเป็นสูตรมาตรฐานในการวางแผนการทดลองแบบผสมในขั้นตอนต่อไป

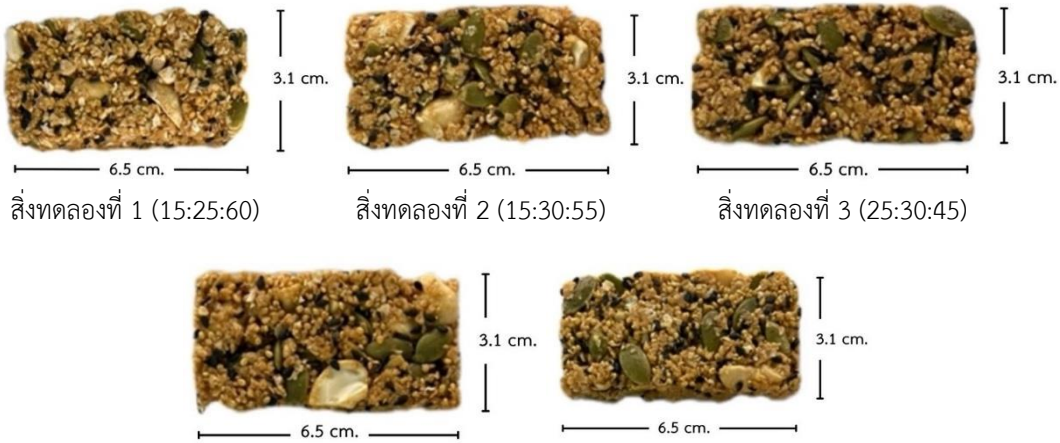
ตารางที่ 4 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของสูตรอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	สูตรอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง	
	สูตร A	สูตร B
ลักษณะปรากฏ^{ns}	6.82±1.53	6.82±1.57
กลิ่นรส^{ns}	6.28±1.68	6.70±1.71
ความแข็ง^{ns}	5.36±2.15	5.84±1.93
รสชาติโดยรวม	6.00±1.83^{b}	6.74±1.85^{a}
การยอมรับโดยรวม	6.28±1.47^{b}	6.78±1.69^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรชนิดต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
:^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

3. ผลการศึกษาอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ตที่เหมาะสม

ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ตที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 3 จากการสังเกต พบว่า ผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมีขนาด 3.10x6.50 เซนติเมตรเท่ากัน เนื่องจากใช้พิมพ์ขนาดเดียวกัน แต่มีความแตกต่างด้านความสว่างของผลิตภัณฑ์และการเกาะตัวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนของวัตถุดิบนั่นเอง



สิ่งทดลองที่ 1 (15:25:60) สิ่งทดลองที่ 2 (15:30:55) สิ่งทดลองที่ 3 (25:30:45)

สิ่งทดลองที่ 4 (25:25:50) สิ่งทดลองที่ 5 (20:27.50:52.50)

ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ตที่แตกต่างกัน

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่าอัตราส่วนของวัตถุดิบส่งผลต่อค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์ เมื่อเพิ่มปริมาณข้าวโอ๊ต ค่าความสว่าง (L*) และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวโอ๊ตมีสีขาว ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีความสว่างขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ (ภาพที่ 3) และข้าวโอ๊ตยังมีลักษณะเป็นเม็ดแบน เมื่อนำไปอัดเป็นแท่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกาะตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น ในขณะเดียวกัน สิ่งทดลองที่ 2 และ3 มีค่าความสว่าง (L*) และค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากสีเขียวและขนาดใหญ่ของเมล็ดฟักทองส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำและเกาะตัวกันได้ยาก จากการวิเคราะห์ค่าการเกาะติด (Cohesiveness) พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าการเกาะติดสะท้อนถึงความสามารถในการเกาะตัวกันเองของเนื้ออาหารหรือแรงยึดเหนี่ยวภายในโครงสร้างของอาหาร [17] ในกรณีของอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง ทั้ง 5 สิ่งทดลองมีค่าการเกาะติดที่น้อยไม่แตกต่างกัน แสดงว่าส่วนผสมต่าง ๆ มีการเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ อาจเป็นเพราะมีปริมาณสารยึดเกาะเท่ากัน ไม่จำเป็นต้องใช้แรงกดมากในการกัดหรือบดเคี้ยว ส่งผลให้อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ได้ มีเนื้อสัมผัสนุ่ม หนึบ เคี้ยวง่ายไม่ติดฟันทั้ง 5 สูตร

ตารางที่ 5 คุณภาพทางกายภาพของอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ต แตกต่างกัน

คุณภาพทางกายภาพ	ข้าวฟ่าง : เมล็ดฟักทอง : ข้าวโอ๊ต				
	สิ่งทดลองที่ 1 15:25:60	สิ่งทดลองที่ 2 15:30:55	สิ่งทดลองที่ 3 25:30:45	สิ่งทดลองที่ 4 25:25:50	สิ่งทดลองที่ 5 20:27.50:52.50
ค่าความสว่าง (L*)	49.39±2.56^{a}	45.53±1.74^{bc}	43.02±2.23^{c}	46.37±2.53^{ab}	46.35±2.97^{ab}
ค่าสีแดง-สีเขียว (a*)^{ns}	5.01±0.99	5.01±1.47	5.95±1.24	5.68±1.35	5.32±1.03
ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b*)^{ns}	25.71±1.61	26.24±1.15	26.19±1.64	26.99±2.52	26.30±1.64
ค่าความแข็ง (นิวตัน)	38.82±5.39^{a}	30.15±4.20^{b}	24.97±3.18^{c}	21.66±2.76^{c}	23.32±2.76^{c}
ค่าการเกาะติด (นิวตัน)^{ns}	0.05±0.02	0.05±0.02	0.05±0.03	0.05±0.01	0.04±0.01

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรชนิดต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
:^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ตแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 6 พบว่า ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของสิ่งทดลองทั้ง 5 สูตร อยู่ในช่วง 0.35-0.46 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ (ค่า a_w ต่ำกว่า 0.60) และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของอาหารขบเคี้ยวอบกรอบ (มผช. 355/2566) ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร มีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ [18] และมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.53-7.57 ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 15 จึงจัดเป็นอาหารแห้ง (Dried food) [19] ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่นาน ซึ่งโดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งตามท้องตลาดจะมีอายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 3 เดือนถึง 1 ปี จากผลการศึกษาปริมาณโปรตีนพบว่า สิ่งทดลองที่ 2 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 1 มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดเนื่องจากองค์ประกอบของโปรตีนในวัตถุดิบมีความแตกต่างกันตามธรรมชาติ โดยข้าวฟ่างมีโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาเป็นเมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ต ตามลำดับ โดยทั้ง 5 สิ่งทดลองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าค่าเฉลี่ยในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งทั่วไปในยุโรป อเมริกา และแคนาดา (12.6 กรัม ต่อ 100 กรัม) [2] จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโปรตีนสูง เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 20 ของThai RDIs ขึ้นไป ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 445 พ.ศ. 2566 [20] นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Arora L, et al. [12] และ Passi P, et al. [21] ซึ่งได้นำข้าวฟ่างหางกระรอกมาใช้ทั้งรูปแบบเต็มเมล็ด และบดเป็นแป้งเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีและข้าวในผลิตภัณฑ์อาหารอินเดีย เช่น ขนมปัง คุกกี้ เครื่องดื่ม (Sattu) และพุดดิ้งข้าวอินเดีย (Kheer) เป็นต้น ซึ่งพบว่าสูตรที่ใช้ข้าวฟ่างหางกระรอกมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรปกติ ในขณะที่ปริมาณไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากผลการศึกษาค่าพลังงานสะสมด้วยเครื่อง Bomb calorimeter พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งทั้ง 5 สิ่งทดลอง จำนวน 1 ชิ้น (20 กรัม) มีพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 101.20 กิโลแคลอรี ดังนั้น เมื่อปริมาณต่อหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับ 5 ชิ้น (100 กรัม) จะมีพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 506 กิโลแคลอรี ซึ่งเป็นค่าพลังงานเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับ 1 มื้ออาหาร จากปริมาณพลังงานที่ควรได้รับสำหรับคนไทยในช่วงอายุ 18-35 ปี อยู่ที่ประมาณ 500-600 กิโลแคลอรี [22] แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่พัฒนาได้นั้นสามารถบริโภคทดแทนมื้ออาหาร หรือตามพฤติกรรม Snackification ได้

ตารางที่ 6 คุณภาพทางเคมีของอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ต แตกต่างกัน

คุณภาพทางเคมี	ข้าวฟ่าง : เมล็ดฟักทอง : ข้าวโอ๊ต				
	สิ่งทดลองที่ 1 15:25:60	สิ่งทดลองที่ 2 15:30:55	สิ่งทดลองที่ 3 25:30:45	สิ่งทดลองที่ 4 25:25:50	สิ่งทดลองที่ 5 20:27.50:52.50
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.39±0.00^{c}	0.41±0.01^{b}	0.46±0.01^{a}	0.41±0.01^{bc}	0.35±0.00^{d}
ความชื้น (ร้อยละ)	6.53±0.11^{c}	6.57±0.08^{c}	7.28±0.27^{b}	7.18±0.11^{b}	7.57±0.08^{a}
โปรตีน (ร้อยละ)	26.05±0.89^{b}	31.81±4.76^{a}	29.51±1.38^{ab}	29.99±2.94^{ab}	31.09±2.61^{ab}
ไขมัน (ร้อยละ)^{ns}	15.39±6.72	16.57±6.36	21.55±0.96	20.71±1.49	19.24±0.09
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)^{ns}	3.93±0.96	3.73±0.90	3.57±0.44	3.38±1.03	3.66±1.72
เถ้า (ร้อยละ)^{ns}	2.84±0.02	2.88±0.07	2.98±0.05	2.82±0.23	3.06±0.21
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)^{ns}	45.76±6.58	37.71±6.57	34.47±2.25	33.79±2.29	34.61±4.94
พลังงานสะสม(กิโลแคลอรี/กรัม)^{ns}	4.92±0.21	4.99±0.09	5.21±0.05	5.09±0.14	5.09±0.05

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรชนิดต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
:^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.3 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ให้คะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะอยู่ในช่วง 6.53-7.93 คะแนน (ตารางที่ 7) ซึ่งหมายถึง ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยสิ่งทดลองที่ 1, 2 และ 5 มีค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และความแข็งสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ต ส่งผลต่อคะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดฟักทองและข้าวโอ๊ต ส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของข้าวโอ๊ตเพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของข้าวฟ่างและเมล็ดฟักทองที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสลดลง แต่คะแนนการยอมรับด้านความแข็งเพิ่มขึ้นโดยสัมพันธ์กับค่าความแข็งในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพที่ลดลง ซึ่งเป็นข้อสังเกตได้ว่า ผู้ทดสอบชิมในงานวิจัยนี้อาจชอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีลักษณะเหนียวนุ่ม (chewy bar) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับด้านรสชาติโดยรวม และการยอมรับโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากทั้ง 5 สิ่งทดลองมีส่วนผสมของน้ำเชื่อมข้าวฟ่างและกลูโคสไซรัปที่ให้รสชาติหวานในอัตราส่วนที่เท่ากัน ดังนั้น เมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสแล้วนั้น สูตรที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งคือ สิ่งทดลองที่ 5 ซึ่งประกอบด้วย ข้าวฟ่างร้อยละ 20 เมล็ดฟักทองร้อยละ 27.50 และข้าวโอ๊ตร้อยละ 52.50 เนื่องจากเป็นสูตรที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด ปริมาณโปรตีนสูง ได้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และความแข็งสูงที่สุด ในขณะที่คุณภาพด้านอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 7 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ผลิตจากอัตราส่วนของข้าวฟ่าง เมล็ดฟักทอง และข้าวโอ๊ตแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	สิ่งทดลองที่ 1 15:25:60	สิ่งทดลองที่ 2 15:30:55	สิ่งทดลองที่ 3 25:30:45	สิ่งทดลองที่ 4 25:25:50	สิ่งทดลองที่ 5 20:27.5:52.50
ลักษณะปรากฏ	7.77±0.81^{ab}	7.93±0.81^{a}	7.30±0.81^{b}	7.43±0.81^{b}	7.60±0.82^{ab}
กลิ่นรส	7.27±1.08^{a}	6.93±1.08^{ab}	6.57±1.08^{b}	6.67±1.08^{b}	6.77±1.08^{ab}
ความแข็ง	6.77±1.27^{b}	6.80±1.27^{b}	6.53±1.27^{b}	6.73±1.27^{b}	7.40±0.75^{a}
รสชาติโดยรวม^{ns}	7.00±1.08	6.87±1.08	6.90±1.08	6.83±1.08	7.17±1.08
การยอมรับโดยรวม^{ns}	7.13±1.07	6.90±1.07	6.93±1.07	6.93±1.07	6.97±1.07

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรชนิดต่างกันตามแนวนอนแสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
:^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุปผลการทดลอง

สูตรที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งประกอบด้วย อัตราส่วนของข้าวฟ่างร้อยละ 20 เมล็ดฟักทองร้อยละ 27.50 และข้าวโอ๊ตร้อยละ 52.50 และมีอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวเป็น 1:1 เนื่องจากเป็นสูตรที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด มีปริมาณโปรตีนสูง และได้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และความแข็งสูงที่สุด โดยผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่พัฒนาได้จำนวน 5 ชิ้น (100 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค) ให้พลังงาน 509 กิโลแคลอรี จัดเป็นอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งเพื่อสุขภาพที่มีโปรตีนสูง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำข้าวฟ่างหางกระรอกมาใช้เพิ่มมูลค่า ขยายขอบเขตการใช้ประโยชน์ สร้างความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวฟ่าง และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะการเป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งที่มีโปรตีนสูงตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข และยังสามารถบริโภคทดแทนมื้ออาหารที่ตอบโจทย์กับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการขยายผลจากงานวิจัยสู่การผลิตจริงในเชิงพาณิชย์จึงควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในการศึกษาครั้งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนข้าวฟ่างหางกระรอกพันธุ์กินรี 1 และน้ำเชื่อมข้าวฟ่าง สำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Hover T. Snackification can only grow in one way: healthy. Euromonitor International [Internet]. 2024 Mar 22 [cited 2024 May 18]. Available from: https://www.euromonitor.com/article/snackification-can-only-grow-in-one-way-healthy
2. Boukid F, Klerks M, Pellegrini N, Fogliano V, Sanchez-Siles L, Roman S, et al. Current and emerging trends in cereal snack bars: implications for new product development. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2022;73(5):610–29.

3. Siwilai S. Development of snack bar products fortified with chicken protein powder produced from Sangyod Phatthalung brown rice flour and white jasmine brown rice flour 105 with a twin-screw extruder [PhD thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 2018. Thai.
4. Mordor Intelligence. Thai snack bar industry size & share analysis - Growth trends & forecasts (2024-2029) [Internet]. 2024 [cited 2024 May 18]. Available from: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/thailand-snack-bar-market
5. Kasetsart University Research and Development Institute. KU Research Weekly: Foxtail millet [Internet]. 2021 Jun 12 [cited 2024 Feb 5]. Available from: https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=66357
6. AOAC. Official method of analysis of Association of Official Analytical Chemists. 18th ed. Gaithersburg (MD): AOAC International; 2019.
7. Mullikas Bakeri. Temperature for baking various nuts [Internet]. 2015 Nov 21 [cited 2024 Jan 5]. Available from: http://mullika48.blogspot.com/2015/11/blog-post_91.html. Thai.
8. Ministry of Industry. Announcement of the Ministry of Industry (No. 2269) B.E. 2562 Re: Thai community product standard of muesli. [Announcement]. Ministry of Industry; 2019 Jul 26. Thai.
9. Ministry of Industry. Announcement of the Ministry of Industry (No. 57) B.E. 2565 Re: Thai community product standard of roasted cashew nuts. [Announcement]. Ministry of Industry; 2022 May 20. Thai.
10. Ministry of Industry. Announcement of the Ministry of Industry (No. 60) B.E. 2565 Re: Thai community product standard of roasted pumpkin seeds. [Announcement]. Ministry of Industry; 2022 May 20. Thai.
11. Ministry of Industry. Announcement of the Ministry of Industry (No. 2349) B.E. 2563 Re: Thai community product standard of roasted sesame. [Announcement]. Ministry of Industry; 2020 Jul 3. Thai.
12. Clarke E. Well plated by Erin: Healthy granola bars [Internet]. 2024 Feb 21 [cited 2024 Mar 10]. Available from: https://www.wellplated.com/healthy-granola-bars/#wprm-recipe-container-35076
13. Janria C, Aromkeng T. Using crispy Riceberry flake to replace rolled oats in cereal bar [BSc thesis]. Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon; 2014. Thai.
14. Kunna N, Thongkorn S, Nonprasat P, Phugsin P. Development of high fiber cereal bar product from Sinlek brown. Dusit Thani College Journal. 2021;15(1):268-85. Thai.
15. Kalsi R, Bhasin JK. Nutritional exploration of foxtail millet (Setaria italica) in addressing food security and its utilization trends in food system. eFood. 2023;4(5):e111.
16. Arora L, Aggarwal R, Dhaliwal I, Gupta OP, Kaushik P. Assessment of sensory and nutritional attributes of foxtail millet-based food products. Frontiers in Nutrition. 2023;10:1146545.
17. Coleman EC, Birney SR, Altomare RE. Methods for making improved texture cereal bars. US Patent No. 8,110,231. 2012 Feb 7.

18. Food Division. Guide to requesting permission for snack products and related laws. Nonthaburi: Food and Drug Administration; 2023. 153 p. Thai.
19. Tungserawong S. The importance of temperature and humidity measurement in the food industry. Engineering Today. 2013;40(229):68-71. Thai.
20. Ministry of Public Health. Announcement of the Ministry of Public Health (No. 445) B.E. 2566 under the Food Act B.E. 2522 Re: Nutrition label. [Announcement]. Ministry of Public Health; 2023 Jan 5. Thai.
21. Passi P, Kaur K, Kaur J, Kaul S. Quality characterization, bread making properties and storage stability of foxtail millet incorporated bread ready-mix. Journal of Stored Products Research. 2023;104:102208.
22. Committee on the Revision of Nutrient Recommended Intake for Thais. Dietary reference intake for Thais 2020. Nonthaburi: Department of Nutrition, Ministry of Public Health; 2020. Thai.