



# การพัฒนาขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งจากเมล็ดงาดำ และกากมะพร้าวโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

## Development of Snack Bar from Black Sesame Seed and Coconut Meal using Extrusion Process

จงสิริ ปัญญ์เอกวงศ์, สุธีรา วัฒนกุล\*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปทุมธานี 12120

Jongsiri Panekwong, Suteera Vatthanakul\*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,  
Thammasat University, Patum Thani 12120

Received 23 January 2021; Received in revised 30 March 2022; Accepted 26 July 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน การพัฒนาสูตรขนมขบเคี้ยวโดยแปรสัดส่วนระหว่างเกล็ดข้าวโพดร้อยละ 70-90 งาดำร้อยละ 5-25 และกากมะพร้าวร้อยละ 5-25 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบผสม ได้สูตรการทดลอง 7 สูตร เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอัดพอง (เอ็กซ์ทรูเดต) ที่ได้ออกมามีความแตกต่างกันในด้านสี ความหนาแน่น อัตราการพอง และความแข็ง เนื่องจากสัดส่วนของวัตถุดิบ โดยสูตรที่มีปริมาณเกล็ดข้าวโพดน้อย ปริมาณงาหรือกากมะพร้าวสูง มีอัตราการพองตัวต่ำ แต่มีความหนาแน่นและความแข็งสูง เมื่อนำเอ็กซ์ทรูเดตทั้ง 7 สูตร มาอัดเป็นแท่งมาโดยผสมกับส่วนผสมของเหลว (กลูโคสไซรัป มอลทิทอลไซรัป เนย และสารไฮโดรคอลลอยด์) ศึกษาค่าทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่ง พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับเอ็กซ์ทรูเดต เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคจำนวน 60 คน โดยได้เลือกสูตรที่ 7 มีอัตราส่วนของวัตถุดิบ เกล็ดข้าวโพด : งาดำ : กากมะพร้าว เท่ากับ 76.5 : 11.75 : 11.75 เป็นสูตรของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่ง โดยพิจารณาจากคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

**คำสำคัญ:** ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่ง; เอ็กซ์ทรูชัน; กากมะพร้าว; งาดำ; มอลทิทอลไซรัป

## Abstract

This research aimed to develop a snack bar using the extrusion process. The development of extruded was done by varying the ratio of corn grit 70-90%, black sesame 5-25%, and coconut meal 5-25% with a mixture design to conduct seven formulations used in the extrusion process. The extruded products were different in color, density, hardness, and expansion rate resulting in the ratio of raw materials in the formulation. The formula contained less corn grit, more black sesame or coconut meal had a low expansion rate while high in density and hardness. Selected the formula of extruded products with a ratio of corn grit: black sesame: coconut meal was equal to 76.5: 11.75: 11.75 by considering the consumer acceptance and nutritional value of the product. Consumer testing (60 consumers) of snacks bar added with black sesame and coconut meal indicated that overall liking of the developed product was “like slightly to like moderately”.

**Keywords:** Snack bar; Extrusion; Coconut meal; Sesame; Maltitol syrup

## 1. บทนำ

ขนมขบเคี้ยวรสหวาน อาทิ ขนมปังกรอบรสหวาน ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่ง และขนมขบเคี้ยวจากผลไม้ (Sweet Biscuits, Snack Bars and Fruit Snacks) มีมูลค่าการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 2 คิดเป็นมูลค่า 4,848 ล้านบาท และมีปริมาณการค้าปลีกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 คิดเป็นปริมาณ 16,000 ตัน ซึ่งประเภทของขนมที่มีการแข่งขันสูงที่สุดในตลาดขนมขบเคี้ยวรสหวานคือ ขนมขบเคี้ยวในรูปแบบแท่ง ในอนาคตคาดการณ์ว่าตลาดขนมขบเคี้ยวรสหวานจะมีมูลค่าการเติบโตที่ร้อยละ 2 และจะมีมูลค่าถึง 5,400 ล้านบาทในปี 2566 [1] สำหรับอาหารขบเคี้ยวในประเทศไทยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางการตลาดเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2562 มีมูลค่าการตลาดสูงถึง 13,880 ล้านบาท แบ่งออกเป็นกลุ่มบิสกิตมูลค่า 12,433.1 ล้านบาท กลุ่มขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง (สแน็คบาร์) มูลค่า 105.9 ล้านบาท และกลุ่มขนมผลไม้มูลค่า 1,341.2 ล้านบาท [2] เนื่องจากขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งมีรูปแบบที่รับประทานง่าย สะดวกต่อการพกพา และมีวางจำหน่ายอยู่ทั่วไปในตลาด ผู้บริโภคจึงนิยมรับประทาน แต่ขนมประเภทดังกล่าวประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต และไขมันเป็นในปริมาณมาก จึงให้

พลังงานค่อนข้างสูง แต่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ ในยุคปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มหันมาใส่ใจด้านสุขภาพเพิ่มมากขึ้น อุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวจึงมีการปรับรูปแบบของผลิตภัณฑ์โดยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ลดปริมาณไขมัน รวมถึงหลีกเลี่ยงการใช้กระบวนการทอดในอาหาร จากการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคในอาหารชนิดแท่งพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีแคลอรีต่ำ และมีใยอาหารสูง [3]

การแปรรูปอาหารโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นเทคนิคการแปรรูปอาหารที่ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เอ็กซ์ทรูเดอร์ กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนการผสม การนวด การทำให้สุก การเนียน และการขึ้นรูปเพื่อให้เกิดรูปร่างของอาหาร ซึ่งรูปร่างของอาหารขึ้นอยู่กับหน้าแปลนของเครื่องมือ [4] ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะมีลักษณะพอง เนื่องจากคุณสมบัติของวัตถุดิบหลักที่ใช้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ข้าวโพดบดหยาบ [5] แป้งสาลี [6] แป้งข้าว [7] แป้งเมล็ดขนุน [8] แป้งข้าวโพดบดหยาบดัดแปร [9] หรือจากองค์ประกอบหลักที่เป็นแป้งส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวให้พลังงานสูง เพื่อให้สอดคล้องกับความสนใจด้านสุขภาพในยุคปัจจุบัน ดังนั้นนักพัฒนา

ผลิตภัณฑ์จึงให้ความสนใจในการเลือกวัตถุดิบ โดยผู้วิจัยเลือกใช้ข้าวโพดบดหยาบ งาดำ และกากมะพร้าว เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีคุณสมบัติแตกต่างจากขนมขบเคี้ยวอื่นๆ โดยงาดำเป็นพืชที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง อันได้แก่ วิตามินอี (vitamin E) และซีซามอล (sesamol) โดยเฉพาะซีซามอลนั้นเป็นสารที่พบเฉพาะในเมล็ดงาดำเท่านั้น ประกอบกับเมล็ดงาดำมีปริมาณแคลเซียมสูง สามารถใช้เป็นแหล่งแคลเซียม และแหล่งโปรตีนที่ดีของพืชได้ [10] ในส่วนของกากมะพร้าวนั้นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมกะทิ และอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว กากมะพร้าวที่เหลือยังคงมีใยอาหารอยู่ในปริมาณมาก จะช่วยเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว กากมะพร้าวที่นำมาใช้สามารถหาได้ง่าย เนื่องจากประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรจากมะพร้าวสูงเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ [11] จึงมีส่วนช่วยเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบทางการเกษตร นอกจากนี้มอลทิทอลสามารถละลายน้ำได้ทำให้สารละลายที่มีความหนืด น้ำตาลมอลทิทอลเป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ โดยให้พลังงานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสร้อยละ 50 มีแคลอรีประมาณ 2.1 kcal/g จึงเหมาะกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการลดพลังงานหรืออาหารพลังงานต่ำ นอกจากนี้น้ำตาลมอลทิทอลยังเหมาะสำหรับผู้ที่ เป็นโรคเบาหวาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลมอลทิทอลแทนน้ำตาลซูโครสจะช่วยลด glycemic index (GI) ของอาหาร ไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นสูงเพราะดูดซึมได้ช้า [12]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในรูปแบบแท่งให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้นเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพด้วยเมล็ดงาดำและกากมะพร้าว

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

ข้าวโพดบดหยาบ รุ่นจี 2 ขนาด 30-50 เมช (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งข้าวสาลีไทย จำกัด, ประเทศไทย) เมล็ดงาดำตราไรท์พิช (บริษัท ไทยซีเรียลเวิลด์ จำกัด, ประเทศไทย) เตรียมงาดำโดยนำเมล็ดงาดำมาคัดแยกเอาสิ่งสกปรกออก กากมะพร้าวอบแห้งเตรียมโดยนำกากมะพร้าวที่ผ่านการคั่นกะทิออก มาอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60°C นาน 4 hrs. จากนั้นนำกากมะพร้าวแห้งที่ได้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C

เครื่องเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ (Hermann Berstorff Laboratory Co-rotating Twin Screw Extruder ZE 25x33D, ประเทศเยอรมัน) และตู้อบลมร้อนแบบถาด (Carbinet dryer) รุ่น CD-1 ยี่ห้อ PML กลูโคสไฮริปตรา ซ (DE = 42) จากบริษัทไทยกลูโคส จำกัด มอลทิทอลไฮริปจากบริษัทสยามซอร์บิทอล (มอลทิทอลร้อยละ 67.8) เนยเค็มตราออร์คิด แชนแทนกัมจากบริษัท ฟู้ดแอนด์เคมิคอล และกัมอะราบิกจากบริษัท จัมโบ้เทรดดิ้ง

### 2.2 วิธีการทดลอง

#### 2.2.1 พัฒนาสูตรขนมขบเคี้ยวจากเกล็ดข้าวโพด เมล็ดงาดำ และกากมะพร้าวด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (เอ็กซ์ทรูเดต)

การพัฒนาขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันใช้ส่วนประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ข้าวโพดบดหยาบ งาดำ และกากมะพร้าวอบแห้ง ศึกษาปริมาณส่วนผสมโดยใช้แผนการทดลองแบบจาก Constrained Mixture Design กำหนดขอบเขตของเกล็ดข้าวโพดอยู่ในช่วงร้อยละ 70-90 งาดำและกากมะพร้าวอยู่ในช่วงร้อยละ 5-25 จะได้สูตรที่มีอัตราส่วนผสมของเกล็ดข้าวโพด: เมล็ดงาดำ: กากมะพร้าว ดัง Table 1 นำเกล็ดข้าวโพด เมล็ดงาดำ และกากมะพร้าวผสมให้เข้ากัน แล้ววัดปริมาณความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้น นำส่วนผสมเกล็ด

ข้าวโพด เมล็ดงาดำ และกากมะพร้าวตามสูตรมาแปรรูป โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ที่สภาวะดังนี้ ความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ 15-25 kg./hrs. ความเร็วรอบสกรู 250 rpm ความชื้นร้อยละ 15 ตั้งค่าโปรไฟล์ อุณหภูมิบาร์เรลแต่ละส่วนดังนี้ H1=30°C, H2=45°C, H3=55°C, H4=125°C, H5=140°C, H6=150°C และ H7=115°C อุณหภูมิที่หน้าแปลนเท่ากับ 115°C เอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ได้จะมีขนาดและลักษณะคล้ายเมล็ดข้าว นำเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ได้มาไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C นาน 10 min. (จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 5) เก็บรักษาเอ็กซ์ทรูเดอร์ในถุงลามิเนตปิดสนิท ก่อนนำทดสอบด้านต่างๆ ภายใน 48 hrs. โดยวัดค่าคุณภาพ ได้แก่

1) คำนวณความหนาแน่น โดยใช้กระบอกที่ทราบปริมาตรและน้ำหนักที่แน่นอน นำเอ็กซ์ทรูเดอร์ใส่ให้เต็มกระบอก บันทึกน้ำหนักของขนมอัดพองที่อยู่ภายในกระบอก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน คำนวณหาความหนาแน่นโดยใช้สูตร ทำการทดลอง 5 ซ้ำ

2) วัดปริมาณน้ำอิสระ (aw) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab รุ่น CX2 ประเทศสหรัฐอเมริกา) ใส่ตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดลงในถ้วยวัดปริมาณน้ำอิสระในปริมาณ 1 ใน 3 ของถ้วย เกลี่ยผิวหน้าให้เท่ากัน บันทึกค่าที่ได้

3) วัดอัตราการพองตัวโดยวัดความกว้าง ความยาวของเอ็กซ์ทรูเดอร์เพื่อหาอัตราการพองตัวด้านกว้างและด้านยาว ตามวิธีของ Anton และคณะ [13]

4) วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable micro system รุ่น TA-XT2i ประเทศอังกฤษ) ด้านความแข็งโดยใช้หัววัด Cylinder Probe ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm. วิธีการวัดใช้เอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน 5 ชิ้น กำหนด Pre-test 2 mm./sec. Test Speed 1 mm./sec. Post-Test Speed 10 mm./sec. วางเรียงกันในแนวนอนเป็นเส้นตรง วัดค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดตัวอย่างลงไป 2.5 mm. ดัดแปลงจาก Kim และคณะ [14]

**Table 1** The formulation and initial moisture content of extruded by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal with constrained mixture design.

Formulation	% corn grit	% black sesame	% coconut meal	% initial moisture content
1	90	5	5	15
2	80	15	5	15
3	70	25	5	15
4	70	15	15	15
5	70	5	25	15
6	80	5	15	15
7	76.5	11.75	11.75	15

**2.2.2 การคัดเลือกสูตรขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งจากเอ็กซ์ทรูเดอร์เมล็ดข้าวโพด เมล็ดงาดำ และกากมะพร้าว**

เอ็กซ์ทรูเดอร์ทั้ง 7 สูตรจากข้อ 2.2.1 มาอัดเป็นรูปแบบแท่งโดยผสมเข้ากับส่วนผสมของเหลว (ไซรัป)

ประกอบด้วยกลูโคสไซรัปและมอลทิทอลไซรัปที่ระดับร้อยละ 45 เนยร้อยละ 10 อะรา-บิกกัมร้อยละ 1 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.5 ซึ่งในส่วนของไซรัปที่จะนำไปคลุกผสมกับเอ็กซ์ทรูเดอร์นั้นจะเตรียมด้วยปริมาณและวิธีการเดียวกัน สำหรับวิธีในการเตรียมส่วนผสมของเหลว

เริ่มจากการละลายเนยลงในกระทะทองเหลืองด้วยไฟอ่อนๆ ตามด้วยกลูโคสไซรัปและมอททิทอลไซรัป ใช้ไม้พายคนให้เข้ากันตลอดเวลา เติมน้ำมันและอะราบิกัมลงไป รักษาอุณหภูมิที่ 90°C นาน 3 min. นำเอ็กซ์ทรูเดตมาผสมเข้ากับไซรัปคลุกเคล้าให้เข้ากัน ในอัตราส่วนของเอ็กซ์ทรูเดต : ส่วนผสมของเหลว (ไซรัป) เท่ากับ 1:1 หรือ 100g. : 100g. อัดลงในถาดอะลูมิเนียม ใช้ไม้พายเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วทั้งถาด จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น นำมาตัดเป็นแท่งขนาด 3 cm. x 8 cm. จัดเรียงใส่ถาดอะลูมิเนียม เพื่อนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 90°C นาน 30 min. ได้เป็นขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งผสมงาดำและกากมะพร้าว ตัวอย่างที่ได้จะนำไปวัดค่าคุณภาพดังนี้

1) วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Stable micro system รุ่น TA-XT2i ประเทศอังกฤษ) โดยใช้วิธีกด 3 จุด Three Point Bending Test โดยตัดแปลงจากวิธีของ Kim และคณะ [14] กำหนดระยะระหว่างฐาน 5 cm. Pre-test 1 mm./sec., Test Speed 2 mm./sec., Post-Test Speed 10 mm./sec. ใช้ตัวอย่างขนาด 3 cm. x 8 cm. วัดแรงกดสูงสุดที่ทำให้ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งแตกออกจากกัน กดตัวอย่างลง 10 mm.

2) วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Hunter lab color รุ่น Color Flex 450 ประเทศสหรัฐอเมริกา) นำเอ็กซ์ทรูเดตใส่ถ้วยวัดสีในปริมาณ 1 ใน 3 ของถ้วย เกลี่ยผิวหน้าให้เท่ากัน วัดความสว่าง (L\*) ค่าสีแดง (a\*) และสีเหลือง (b\*) บันทึกค่าสีที่ได้ แปลงค่า a\* และ b\* ที่ได้เป็นค่า Chroma (C\*) และค่า Hue angle (h)

3) วัดปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab รุ่น CX2 ประเทศสหรัฐอเมริกา) ใส่ตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดลงในถ้วยวัดปริมาณน้ำอิสระในปริมาณ 1 ใน 3 ของถ้วย เกลี่ยผิวหน้าให้เท่ากัน บันทึกค่าที่ได้

4) ประเมินผลทางประสาทสัมผัสให้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 60 คน ซึ่งเป็นผู้ที่เคยรับ

ประทานผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งอย่างน้อย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ร่วมกับการประเมินความชอบแบบ 9-point hedonic scale (9=ชอบมากที่สุด และ 1=ไม่ชอบมากที่สุด) ตัวอย่างทั้ง 7 สูตรจะถูกกำหนดเป็นเลขสุ่ม 3 หลัก ใช้ตัวอย่างประมาณ 2 ซ้อนชา ใส่ถุงซิปล็อคเพื่อใช้ในการทดสอบ และแบ่งการทดสอบออกเป็นช่วง ช่วงแรก 4 ตัวอย่าง และช่วงถัดไปอีก 3 ตัวอย่าง ประเมินคุณลักษณะด้านสี (color) ความกรอบ (crispness) กลิ่นรสเนย (buttery flavor) กลิ่นรสงา (sesame flavor) กลิ่นรสมะพร้าว (coconut flavor) และความชอบโดยรวม (overall liking) ซึ่งผู้ทดสอบจะดื่มน้ำเพื่อล้างปากก่อนการทดสอบตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

### 2.3 สถิติที่ใช้ในการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Constrained Mixture Design ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และถ้าพบปัจจัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลอง จากนั้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการเชิงเส้น (Linear model) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ  $Y_i = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$  ทั้งนี้กำหนดให้  $Y_i$  คือคุณภาพทางประสาทสัมผัส และ  $X_i$  คือ ปริมาณร้อยละของส่วนประกอบแต่ละชนิด ได้แก่  $X_1$  คือ ปริมาณของเกล็ดข้าวโพด  $X_2$  คือ ปริมาณของเมล็ดงาดำ และ  $X_3$  คือ ปริมาณของกากมะพร้าว จากนั้นคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมโดยสร้างกราฟ contour plot ของคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

## 3. ผลและการอภิปรายผล

### 3.1 ผลการพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากเกล็ดข้าวโพดเมล็ดงาดำ และกากมะพร้าวด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (เอ็กซ์ทรูเดต)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ เพื่อช่วยเสริมสร้างคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์

จากวัตถุดิบคือ งาดำ และกากมะพร้าว โดยงาดำเป็นแหล่งของแคลเซียม ส่วนกากมะพร้าวเป็นแหล่งของเส้นใย เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเมล็ดข้าวโพด งาดำ และกากมะพร้าว วางแผนการทดลองแบบ Constrained Mixture Design เพื่อนำมาใช้เป็นสูตรขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ได้ผลการตรวจวัดค่าคุณภาพดังนี้

**3.1.1 ค่าทางกายภาพ**

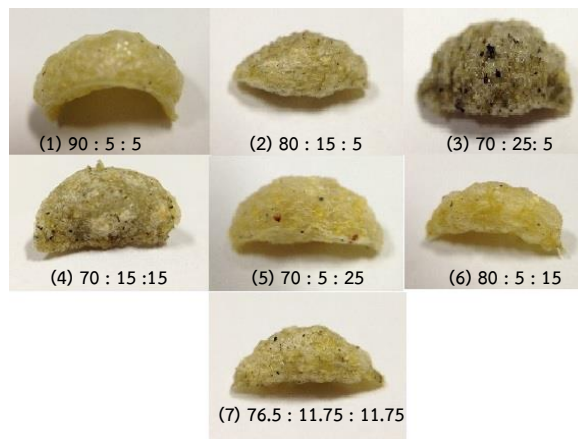
ขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำและกากมะพร้าวที่ผ่านการอัดพองหรือเอ็กซ์ทรูเดตจะมีลักษณะรูปร่างเป็นวงรี มีปลายทั้ง 2 ด้านแหลม (Figure 1) เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดตพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แสดงดัง Table 2 ส่วนปริมาณ

น้ำอิสระส่วนใหญ่มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตรที่ 7 พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระสูงกว่าสูตรอื่นๆ (0.231) ส่วนสูตรที่ 4 มีปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุด (0.164) แต่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักอาจเนื่องมาจากการควบคุมความชื้นของวัตถุดิบก่อนนำเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ โดยกำหนดให้มีความชื้นร้อยละ 15 และเมื่อได้เอ็กซ์ทรูเดตออกมาก็ได้นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C นาน 10 min. (จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 5) ซึ่งเป็นระดับของความชื้นที่เหมาะสมของขนมขบเคี้ยวบพองกรอบ [15]

**Table 2** The moisture content and water activity of 7 extrudes by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal.

Formulation	Ratios of corn grit to black sesame to coconut meal	Moisture content (%)	Water activity ( $a_w$ )
1	90:5:5	3.50±0.37 <sup>a</sup>	0.174±0.01 <sup>ab</sup>
2	80:15:5	3.99±0.12 <sup>a</sup>	0.194±0.014 <sup>ab</sup>
3	70:25:5	3.50±1.06 <sup>a</sup>	0.196±0.009 <sup>ab</sup>
4	70:15:15	2.88±1.29 <sup>a</sup>	0.164±0.037 <sup>b</sup>
5	70:5:25	3.57±0.72 <sup>a</sup>	0.177±0.024 <sup>ab</sup>
6	80:5:15	3.28±0.93 <sup>a</sup>	0.191±0.079 <sup>ab</sup>
7	76.5:11.75:11.75	3.87±0.73 <sup>a</sup>	0.231±0.069 <sup>a</sup>

mean±SD; a-b means within each column indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ) using Duncan's multiple range test.



**Figure 1** The appearance of 7 extrudes by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal.

Table 3 แสดงค่าความแข็ง ความหนาแน่นและ อัตราการพองตัวด้านกว้างของเอ็กซ์ทรูเดตเสริมงาดำ และกากมะพร้าวพบว่า เอ็กซ์ทรูเดตเสริมงาดำและกากมะพร้าวสูตรที่มีความหนาแน่นต่ำและอัตราการพองตัวด้านกว้างต่ำจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งสูง โดยสูตรที่ 5 เป็นสูตรมีความแข็งสูงที่สุด (78.53 N) อาจเนื่องมาจาก สูตรที่ 5 นี้มีปริมาณกากมะพร้าวในส่วนผสมสูงกว่าสูตรอื่น (ร้อยละ 25) ซึ่งกากมะพร้าวมีเส้นใยอาหารในปริมาณสูง ถึงร้อยละ 10.86 [12] อาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเอ็กซ์ทรูเดตกล่าวคือ ใยอาหารจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวได้น้อย จึงส่งผลให้ความแข็งสูงที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยอาหารเข้าเสริมฟักทองผง โดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันของสุสาลักษณ์ [16] และการพัฒนาอาหารเข้าเสริมรำข้าวจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันของสิริรัตน์ [17] พบว่าเมื่อเพิ่มวัตถุดิบฟักทองผง และรำข้าวที่มีปริมาณเส้นใยสูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี

อัตราการพองตัวต่ำ และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าสูง นอกจากนี้มีรายงานวิจัยของ Stojceska และคณะ [7] ศึกษาการใช้ dietary fiber จากผลไม้และผัก ได้แก่ แอปเปิ้ล แครอท บีทรูท และแครนเบอร์รี่ เป็นส่วนผสมในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่สภาวะเดียวกันพบว่า ปริมาณใยอาหารของวัตถุดิบส่งผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อพิจารณาสูตรที่มีงาดำในปริมาณมากคือ สูตรที่ 3 พบว่ามีความหนาแน่นมาก และพองตัวต่ำ เนื่องจากเมล็ดงาดำมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 50 [10] โดยปกติไขมันจะช่วยให้การหล่อลื่น และลดความหนืดของโด เนื่องจากไขมันจะลดการพองตัวของเม็ดแป้งในระบบของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเนื่องจากจะมีผลต่อการดูดซึมน้ำของแป้ง [18] แต่ถ้ามีปริมาณไขมันมากกว่าร้อยละ 4 ในส่วนผสมจะส่งผลให้อัตราการพองตัวลดลง เพราะต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อทำให้โดพองตัว [19] สูตรที่ 3 จึงมีอัตราการพองตัวด้านกว้างตัวต่ำ (2.69)

**Table 3** The hardness, density and expansion rate of 7 extrudes by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal.

Formulation	Hardness (N)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Expansion rate	
			longitudinal	sectional
1 (90:5:5)	30.09±1.37 <sup>e</sup>	0.108±0.002 <sup>c</sup>	1.37±0.11 <sup>b</sup>	3.13±0.33 <sup>a</sup>
2 (80:15:5)	59.49±4.79 <sup>b</sup>	0.156±0.012 <sup>b</sup>	1.43±0.08 <sup>a</sup>	2.83±0.33 <sup>c</sup>
3 (70:25:5)	54.78±5.32 <sup>c</sup>	0.182±0.029 <sup>a</sup>	1.35±0.06 <sup>bc</sup>	2.69±0.23 <sup>d</sup>
4 (70:15:15)	58.45±6.81 <sup>bc</sup>	0.154±0.030 <sup>b</sup>	1.28±0.05 <sup>d</sup>	2.58±0.15 <sup>d</sup>
5 (70:5:25)	78.53±4.09 <sup>a</sup>	0.162±0.014 <sup>ab</sup>	1.25±0.04 <sup>d</sup>	2.62±0.17 <sup>d</sup>
6 (80:5:15)	45.70±3.86 <sup>d</sup>	0.141±0.037 <sup>b</sup>	1.33±0.13 <sup>bc</sup>	2.99±0.45 <sup>b</sup>
7 (76.5:11.75:11.75)	49.02±3.76 <sup>d</sup>	0.150±0.019 <sup>b</sup>	1.32±0.12 <sup>c</sup>	2.84±0.26 <sup>c</sup>

mean±SD; a-e means within each column indicate significant differences (p≤ 0.05) using Duncan's multiple range test.

**3.2 ผลการคัดเลือกสูตรขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งจาก เอ็กซ์ทราเดตเกล็ดข้าวโพด เมล็ดงาดำ และกากมะพร้าว**

**3.2.1 ค่าทางกายภาพขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งจากเอ็กซ์ทราเดตเกล็ดข้าวโพด เมล็ดงาดำ และกากมะพร้าว**

ผลจาก Table 4 แสดงค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่ง โดยสีของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับส่วนผสมหลักของที่มีอัตราส่วนของเกล็ดข้าวโพด งาดำ และกากมะพร้าวแตกต่างกันไป หากพิจารณาจากค่าสีผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทราเดตมีความแตกต่างกันในแต่ละสูตร เนื่องมาจากสีของวัตถุดิบเริ่มต้น เกล็ดข้าวโพดนั้นมีสีเหลือง เมล็ดงาดำมีสีน้ำตาลออกน้ำตาลเข้ม ส่วนกากมะพร้าวนั้นมีสีขาวถึงน้ำตาลอ่อน สีของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งจึงขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้พบว่า สูตรที่ 1 มีค่าความสว่าง L\* (56.97) สูงกว่าสูตรอื่นเพราะว่ามีอัตราส่วนของเกล็ดข้าวโพดซึ่งมีค่าความสว่าง L\* เท่ากับ 79.87 ในปริมาณมากถึงร้อยละ

90 และสูตรที่ 3 มีงาดำซึ่งมีค่า L\* เท่ากับ 20.63 เป็นส่วนผสมร้อยละ 25 มีค่า สูตรที่ 3 จึงมีค่า L\* ต่ำที่สุดเท่ากับ 40.73 ในงานวิจัยของ [17] ได้ผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมงาดำโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทราดชันพบว่าการใช้งาดำเป็นส่วนประกอบมีผลต่อค่าสีผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยค่าสี L\* ของตัวอย่างที่ใส่งาดำที่ระดับร้อยละ 4 มีค่า L\* เท่ากับ 74.27 ส่วนสูตรควบคุมไม่มีการใส่งาดำค่า L\* เท่ากับ 85.64 และสังเกตความแตกต่างของค่า C\* มีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกับค่า L\* ค่าสี h บอกเฉดสีของผลิตภัณฑ์ โดยค่า h ที่ได้มีค่าเข้าใกล้มุม 90 องศาแสดงว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งมีสีเข้าใกล้สีเหลือง ทั้งนี้เพราะวัตถุดิบหลักที่ใช้คือเกล็ดข้าวโพดซึ่งเติมในส่วนผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 70-90 โดยเกล็ดข้าวโพดที่เติมลงไปนั้นมีค่าสีเหลืองและค่าความสว่างมากกว่าวัตถุดิบตัวอื่นๆ ในส่วนผสม



**Table 4** The color, Hardness and Water activity of 7 snack bars by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal.

Formulations	Color			Hardness (N)	Water activity (a <sub>w</sub> )
	L*	C*	h		
1 (90:5:5)	54.19±0.76 <sup>b</sup>	26.11±0.79 <sup>a</sup>	85.00±0.30 <sup>c</sup>	10.02±0.53 <sup>d</sup>	0.277±0.050 <sup>ab</sup>
2 (80:15:5)	44.68±0.80 <sup>d</sup>	18.00±0.25 <sup>c</sup>	86.18±0.51 <sup>a</sup>	13.02±1.38 <sup>b</sup>	0.314±0.011 <sup>a</sup>
3 (70:25:5)	38.12±0.56 <sup>e</sup>	13.06±0.33 <sup>e</sup>	85.96±0.14 <sup>a</sup>	12.44±1.50 <sup>bc</sup>	0.303±0.020 <sup>ab</sup>
4 (70:15:15)	47.19±0.69 <sup>c</sup>	15.63±0.92 <sup>d</sup>	85.45±0.17 <sup>b</sup>	12.40±1.22 <sup>bc</sup>	0.294±0.009 <sup>ab</sup>
5 (70:5:25)	55.46±0.37 <sup>a</sup>	24.50±0.65 <sup>b</sup>	84.52±0.17 <sup>d</sup>	17.95±1.22 <sup>a</sup>	0.265±0.024 <sup>b</sup>
6 (80:5:15)	55.32±1.46 <sup>a</sup>	24.20±0.95 <sup>b</sup>	84.37±0.48 <sup>d</sup>	11.56±1.01 <sup>c</sup>	0.300±0.065 <sup>ab</sup>
7 (76.5:11.75:11.75)	47.93±0.58 <sup>c</sup>	17.47±0.52 <sup>c</sup>	85.45±0.16 <sup>b</sup>	11.81±0.63 <sup>c</sup>	0.273±0.013 <sup>ab</sup>

mean±SD; a-e means within each column indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ) using Duncan's multiple range test.

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง และปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์แสดงใน Table 4 พบว่าค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห้งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งของเอ็กซ์ทราเดตแสดงใน Table 3 โดยสูตรที่ 1 เป็นสูตรของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห้งที่มีค่าความแข็งน้อยที่สุดเท่ากับ 10.02 N อาจเนื่องมาจากว่าส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตมีเกล็ดข้าวโพดเป็นส่วนประกอบในปริมาณมากที่สุด ดังนั้นเอ็กซ์ทราเดตที่มีส่วนผสมของแป้งมากจะสามารถผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีอัตราการพองตัวสูงกว่าสูตรอื่น มีความหนาแน่นน้อยกว่า ลักษณะภายในมีความโปร่ง และมีรูพรุนมากกว่า สอดคล้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวโพดบดหยาบตัดแปรด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทราดชัน [9] ส่วนค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.265-0.314 ซึ่งไม่เกิน 0.400 ซึ่งเป็นอาหารที่อยู่ในช่วง Low Moisture Food (LMF) มีความปลอดภัยจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ [21]

### 3.2.2 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห้งจากเอ็กซ์ทราเดตเกล็ดข้าวโพดเมล็ดงาดำ และกากมะพร้าว

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห้งเสริมงาดำ และกากมะพร้าวจากผู้บริโภคจำนวน 60 คนที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 60 คน ซึ่งเป็นผู้ที่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห้งอย่างน้อย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ให้คะแนนความชอบโดยใช้ 9-point hedonic scale แสดงใน Table 5 คะแนนค่าสีของสูตรที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด (7.1 คะแนน) และสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนน้อยที่สุด (4.4 คะแนน) เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสีที่ได้จากเครื่องวัดสีพบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มีความสว่างค่าสี L\* สูง (56.97) ได้รับคะแนนมาก ส่วนสูตรที่ 3 ค่า L\* ต่ำ (40.73) จึงได้รับคะแนนน้อย ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ที่มีความสว่างมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสีคล้ำเพราะดูน่ารับประทานมากกว่า แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย คะแนนด้านความกรอบ พบว่ามีความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวด้านกว้าง ในผลิตภัณฑ์ที่มีการพอง

ตัวมาก มีโครงสร้างที่เป็นโพรงอากาศขนาดใหญ่และมีรูพรุนจำนวนมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ ได้รับความชอบสูงอย่างเช่นผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 ในทางกลับกันสูตรที่ 3 และสูตรที่ 5 มีอัตราการพองตัวด้านกว้างต่ำจึงได้คะแนนความกรอบน้อยลงไปด้วย ด้านกลิ่นรสจากผู้ทดสอบยอมรับในสูตรที่ปริมาณงาร้อยละ 5-15 โดยสูตรที่ใช้ปริมาณงาร้อยละ 11.75 ได้รับคะแนนสูงสุด (6.1 คะแนน) ส่วนสูตรที่ 3 มีปริมาณงาสูงถึงร้อยละ 25 ได้รับคะแนนความชอบต่ำสุด อาจจะเพราะว่าเมื่อใช้งาในปริมาณสูงจะมีกลิ่นรสน้ำมันเขียว และมีกลิ่นที่ที่เกิดจากน้ำมัน ด้านกลิ่นรสมะพร้าวผู้บริโภครับการยอมรับในสูตรที่ใช้ปริมาณกากมะพร้าวร้อยละ 11-25 แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภครับชอบกลิ่นรสมะพร้าวในผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 ได้คะแนนในทุกๆ ด้านสูงสุด โดยได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (6.2 คะแนน) สันนิษฐานได้ว่าผู้บริโภครับการพิจารณารส และความกรอบของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยหลัก สูตรที่ได้รับคะแนนความชอบรองลงมาคือสูตรที่ 5 และ

7 (6.1 คะแนน) สูตรที่ 1 มีคะแนนความชอบคุณลักษณะในทุกๆ ด้านสูงกว่าสูตรอื่น ตามด้วยสูตรที่ 7 ดังแสดงใน Table 5 โดยสูตรที่ 1 และสูตรที่ 7 นั้นมีคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาด้านคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวที่พัฒนาได้พบว่า สูตรที่ 1 มีเกลือขาวโพด งาดำ และกากมะพร้าวในอัตราส่วน 90 : 5 : 5 ส่วนสูตรที่ 7 มีอัตราส่วน 76.5 : 11.75 : 11.75 เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 สูตรพบว่า สูตรที่ 7 มีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่า เพราะในงามีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย มีสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งยังมีแคลเซียมในปริมาณที่มากกว่าสูตรที่ 1 ด้วย [10] อีกทั้งยังมีปริมาณของกากมะพร้าวมากกว่า ซึ่งในส่วนของกากมะพร้าวมีใยอาหารอยู่ประมาณร้อยละ 10.86 [12] ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งสูตรที่ 7 เป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคและมีคุณค่าทางโภชนาการมากที่สุด

**Table 5** The sensory score of 7 snack bars by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal.

Formulations	Color	Crispness	Buttery flavor	sesame flavor	Coconut flavor	Overall liking
1 (90:5:5)	7.1±1.3 <sup>a</sup>	6.0±1.9 <sup>a</sup>	6.5±1.7 <sup>a</sup>	6.0±1.3 <sup>a</sup>	6.2±1.4 <sup>a</sup>	6.5±1.4 <sup>a</sup>
2 (80:15:5)	5.6±1.5 <sup>b</sup>	5.0±1.7 <sup>b</sup>	6.0±1.3 <sup>c</sup>	5.8±1.5 <sup>ab</sup>	5.7±1.6 <sup>bcd</sup>	5.4±1.5 <sup>d</sup>
3 (70:25:5)	4.0±1.7 <sup>d</sup>	4.2±1.9 <sup>d</sup>	5.3±1.7 <sup>d</sup>	5.4±1.9 <sup>c</sup>	5.4±1.5 <sup>d</sup>	4.8±1.8 <sup>e</sup>
4 (70:15:15)	5.1±1.4 <sup>c</sup>	5.0±1.9 <sup>bc</sup>	5.9±1.6 <sup>c</sup>	5.6±1.5 <sup>bc</sup>	5.7±1.8 <sup>cd</sup>	5.5±1.6 <sup>cd</sup>
5 (70:5:25)	6.7±1.4 <sup>a</sup>	4.5±2.1 <sup>cd</sup>	5.9±1.6 <sup>c</sup>	5.7±1.4 <sup>abc</sup>	6.1±1.7 <sup>ab</sup>	5.6±1.6 <sup>cd</sup>
6 (80:5:15)	6.7±1.6 <sup>a</sup>	5.0±1.8 <sup>bc</sup>	6.1±1.7 <sup>bc</sup>	5.6±1.5 <sup>bc</sup>	5.9±1.5 <sup>abc</sup>	5.9±1.7 <sup>bc</sup>
7 (76.5:11.75:11.75)	5.8±1.4 <sup>b</sup>	5.1±1.9 <sup>b</sup>	6.5±1.4 <sup>ab</sup>	6.1±1.6 <sup>a</sup>	6.1±1.6 <sup>ab</sup>	6.1±1.7 <sup>ab</sup>

mean±SD; a-e means within each column indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ) using Duncan's multiple range test.

โดยจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Response surface method (RSM) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ Linear model เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นรส งาดำ กลิ่นรสมะพร้าวและความชอบโดยรวมกับการแปรปริมาณเกล็ดข้าวโพด งาดำ และกากมะพร้าวของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห่งดั่งสมการ  $Y_i = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$  โดยกำหนด  $Y_i$  คือค่า Linking หรือความชอบโดยรวม และ  $X_i$  คือปริมาณส่วนผสมแต่ละชนิด ได้แก่ เกล็ดข้าวโพด ( $X_1$ ) งาดำ ( $X_2$ ) และกากมะพร้าว ( $X_3$ ) ตาม Table 6 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร  $X_1$  หรือเกล็ดข้าวโพดมีมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า เกล็ดข้าวโพดมีอิทธิพลต่อค่าคะแนนความชอบมากที่สุด โดยเมื่อพิจารณาจาก Figure 2 พบว่าเมื่อเกล็ดข้าวโพดเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมเพิ่ม

ขึ้น อาจเนื่องจากเกล็ดข้าวโพด (องค์ประกอบส่วนใหญ่ เป็นแป้ง) ที่ใช้ในการแปรส่วนผสมส่งผลให้เนื้อสัมผัสกรอบ พองตัวได้ดี สอดคล้องกับที่นิพนธ์ และคณะ [9] กล่าวว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ใช้ ความเร็วรอบของสกรู และปริมาณของการใช้แป้งข้าวโพด โดยในงานวิจัยนี้มีการควบคุมความชื้นเริ่มต้นและความเร็วรอบของสกรูคงที่ตลอดการทดลอง ดังนั้นเมื่อนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห่งที่พัฒนาได้ให้ผู้ทดสอบเคี้ยวสูตรที่มีปริมาณแป้งมากกว่าผู้บริโภคจะมีความรู้สึกถึงความกรอบมากกว่า และกรอบในระดับพอดี มีกลิ่นรส งาดำและกลิ่นรสมะพร้าวที่เหมาะสมจึงทำให้ผู้ทดสอบขึ้นชอบ

**Table 6** The predictive regression models for sensory quality (sesame flavor, coconut flavor and overall liking) of snack bars by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal.

Dependent variable	Predictive model	R <sup>2</sup>	Model signification
Sesame flavor	$6.008X_1 + 5.531X_2 + 5.691X_3$	0.99	0.00
Coconut flavor	$6.417X_1 + 5.419X_2 + 6.059X_3$	1.00	0.00
Overall liking	$6.418X_1 + 4.902X_2 + 5.742X_3$	0.99	0.00

**Noted:** X1 means corn grit, X2 means black sesame and X3 means coconut meal

แผนภาพจากการทดลองแบบส่วนผสม Constrained mixture design (Figure 2) โดยแปลงสเกลส่วนผสมเกล็ดข้าวโพดร้อยละ 70-90 งาดำและกากมะพร้าวร้อยละ 5-25 แสดงให้เห็นช่วงสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเกล็ดข้าวโพด งาดำ และกากมะพร้าวของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห่งอยู่ในโซนสีแดง โดยจะได้ปริมาณของเกล็ดข้าวโพดอยู่ในช่วงร้อยละ 75-90 งาดำร้อยละ 5-15 และกากมะพร้าวร้อยละ 5-20 ซึ่งสูตรที่ 7

ที่มีอัตราส่วนของเกล็ดข้าวโพด : งาดำ : กากมะพร้าว เท่ากับ 76.5 : 11.75 : 11.75 อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดังแสดงใน Figure 2(d)

#### 4. สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาขนมขบเคี้ยวรูปแบบแห่งจากเอ็กซ์ทรูเดตเกล็ดข้าวโพด เมล็ดงาดำ และกากมะพร้าวโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่สภาวะความเร็วใน

การป้อนวัตถุดิบ 15-25 kg./hrs. ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ความชื้นร้อยละ 15 และอุณหภูมิบาร์เรล 180°C ได้ศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ เกล็ดข้าวโพด งาดำ และกากมะพร้าว โดยใช้แผนการทดลอง Constrained Mixture Design กำหนดขอบเขตของ เกล็ดข้าวโพดอยู่ในช่วงร้อยละ 70-90 งาดำและกากมะพร้าวอยู่ในช่วงร้อยละ 5-25 ได้อัตราส่วนการใช้มาทั้งหมด 7 สูตร เกล็ดข้าวโพดปริมาณที่ร้อยละ 70-90 งาดำที่ร้อยละ 5-25 และกากมะพร้าวร้อยละ 5-25 จากสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ต่างกันมีผลต่อค่าสี ความหนาแน่น อัตราการพองตัว และความแข็งของผลิตภัณฑ์ ในสูตรที่ใช้งาดำปริมาณร้อยละ 25 จะได้คะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมต่ำ เพราะสีมีความสว่างน้อยและพองตัวต่ำ

สูตรที่ใช้กากมะพร้าวสูงร้อยละ 25 ก็มีผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ทำให้ค่าความแข็งมาก มีความกรอบน้อย เมื่อนำขนมขบเคี้ยวที่ได้มาอัดแท่งโดยการผสมกับส่วนผสมของเหลว (ไซรัป) ที่ได้จากการพัฒนาแล้ว พบว่าสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดมีอัตราส่วนของ เกล็ดข้าวโพด : งาดำ : กากมะพร้าว เท่ากับ 90 : 5 : 5 คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมไม่แตกต่างจากสูตรที่ใช้ อัตราส่วนผสมเท่ากับ 76.5 : 11.75 : 11.75 ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผู้ทดลองได้เลือกสูตรขนมขบเคี้ยวที่มีอัตราส่วนของเกล็ดข้าวโพด: งาดำ : กากมะพร้าว เท่ากับ 76.5 : 11.75 : 11.75 นี้ เป็นสูตรของขนมขบเคี้ยวรูปแบบแท่งสูตรเพื่อสุขภาพที่มีเสริมคุณประโยชน์ด้วยงาดำ และกากมะพร้าว

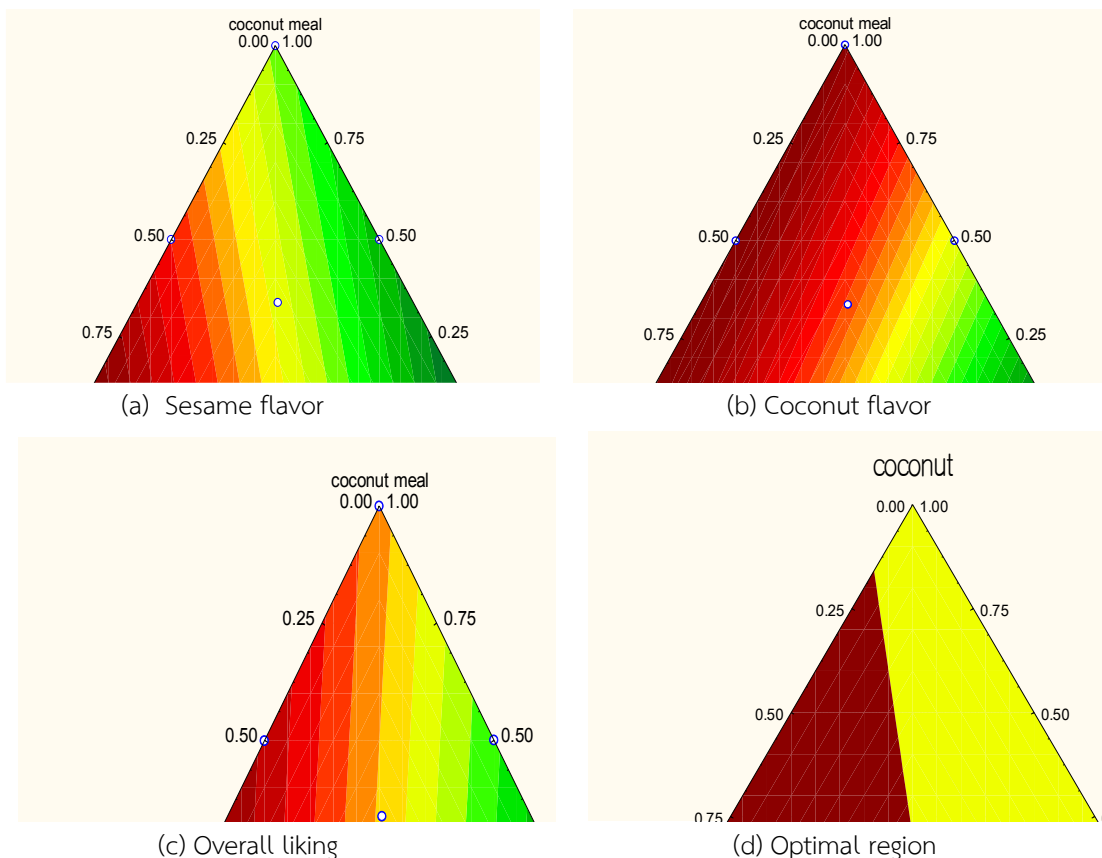


Figure 2 Contour plot of for sensory quality (sesame flavor, coconut flavor and overall liking) of snack bars by varying the amount of corn grit, black sesame and coconut meal.

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ พร้อมทั้งกรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนอำนวยความสะดวกช่วยเหลือใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

## 6. References

- [1] Department of International Trade Promotion. 2021, Report of Singapore snack food market [online]. Available Source: [https://www.ditp.go.th/contents\\_attach/564191/564191.pdf](https://www.ditp.go.th/contents_attach/564191/564191.pdf). January 5, 2021, (in Thai)
- [2] Food Intelligence Center Thailand. 2020, Market of biscuit, snack bar and fruit snack in Thailand [online]. Available Source: <http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=309>. January 5, 2021. (in Thai)
- [3] Mahanna, K., Moskowitz, H. and Lee, S.Y, 2009, Assessing consumer expectations for food bars by conjoint analysis, *Journal of Sensory Studies*. 24: 851–870.
- [4] Rungsardthong, V. 2003, Food processing technology. Text and Journal Publication, Bangkok. 477 p. (in Thai)
- [5] Phawaphuthanon, N., 2009, Processing of puffed snack fortified with pennywort by extrusion, Master Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, 84 p. (in Thai)
- [6] Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A. and Ibanoglu, S., 2009, The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products, *Journal of Food Chemistry*. 114: 226-232.
- [7] Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A. and Ibanoglu, S. 2010, The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products, *Journal of Food Chemistry*. 121: 156-164.
- [8] Limroongreungrat, K., Doykumdee, R. and Chanchalor, S., 2013, Development of Extruded Snack from Jackfruit Seed Flour, *Agricultural Science Journal*. 44(2) (Suppl.): 201-204. (in Thai)
- [9] Limsangouan, N., Charunuch, C., Butsuwan, P., Srichayet, P. and Puntaburt, K., 2018, Effect of modified corn grit flour by extrusion process on physical properties and its sensory characteristics in extruded snack, *Ubon Ratchathani Journal Science and Technology*. 2(2): 69-78. (in Thai)
- [10] Hahm, T., Park, S., and Lo, Y., 2009, Effect of germination on the chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum L.*) seeds, *Bioresource Technology*. 100: 1643-1647.
- [11] FAOSTAT. 2010, Food and Agricultural commodities production. [online]. Available from: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Accessed October 8, 2012.
- [12] Sukhonthara, S. 2016, Development of Germinated Riceberry Thai Egg Custard with Reduced Sugar, *Srinakharinwirot Science Journal*, 32(2): 195-209. (in Thai)
- [13] Maliwan, P., Chaiphech, S. and Nualsritong, P., 2008, Evaluation of Nutritive Value of Coconut Meal in Indigenous Chicken, Research Report, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

- [14] Anton, A. A., Fulcher, R. G. and Arntfield, S. D. 2009, Physical and nutritional impact of fortification of corn starchbased extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*. 113(4): 989-996.
- [15] Kim, E.H.J., Corrigan, V.K., Hedderley, D.I., Motoi, L., Wilson, A.J. and Morgenstern, M.P. 2009, Predicting the sensory texture of the cereal snack bars using instrumental measurements. *Journal Texture Studies* 40: 457-481.
- [16] Boonyasirikool, P. 2001, Production of snack food: green pea snack, *Food Journal*, 3(1): 10-22. (in Thai)
- [17] Kaowphong, S., 2006, Effects of Ingredients and Extrusion Conditions on Quality of Breakfast Cereal Fortified with Pumpkin Powder, Master Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, 105 p. (in Thai)
- [18] Phunchaisri, S., 2008, Formula Development and Operating Conditions for Rice Bran Fortified Breakfast Cereal by Extrusion, Master Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, 134 p. (in Thai)
- [19] Anukulwattana, K. and Sukkasem, T. 2018, Product Development of Snack from Black Glutinous Rice (*Oryza sativa* L.) cv. Leum Phua, *KKU Science Journal*, 46(2): 427-433. (in Thai)
- [20] Lounnetngern, J. 2007, Effects of Ingredients and Extrusion Conditions on Quality of Snack Food Fortified with Sesame, Master Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, 117 p. (in Thai)
- [21] Jay, J. M., Loessner, M. J. and Golden, D. A. 2005, *Modern food microbiology*. 7th ed. Springer Science and Business Media Inc., New York.