

ผลการเสริมใยอาหารจากผงกากแครอทและผงผักแด่ใหม่ต่อสมบัติผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

สุธิดา กิจจาวรเสถียร*, เซาวลิต อุบลากู** , ชญาภัทร กี่อารีโย**,
น้อมจิตต์ สุธิบุตร**, พิสุทธิ หนักแน่น***, ปรีศนีย์ ทับใบแถม**

บทคัดย่อ

ขนมขบเคี้ยวประเภทขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันได้รับความนิยมในทุกช่วงวัย การรับประทานขนมประเภทนี้ส่งผลให้ร่างกายได้รับคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก ด้วยเหตุนี้การเสริมใยอาหารและโปรตีนช่วยให้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของใยอาหารจากผงกากแครอทและโปรตีนจากผงผักแด่ใหม่ต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการเสริมผงกากแครอทและผงผักแด่ใหม่ส่งผลต่อสมบัติในผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่า a^* ค่า b^* ค่าความหนาแน่น (Bulk density) และค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้น ส่วนค่า L^* ค่าความพอง (Expansion) และค่าความเปราะ (Fracturability) ลดลง โดยที่เสริมผงกากแครอทระดับร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และผงผักแด่ใหม่ระดับร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมที่สุดและผู้ชิมให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด อยู่ในระดับความชอบปานกลาง และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันสูตรที่พัฒนาให้พลังงาน ความชื้น โปรตีน ไขมัน แล และใยอาหารสูง ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีค่าน้อยกว่าสูตรควบคุม ($p < 0.05$) ดังนั้นการนำกากแครอทและผักแด่ใหม่ซึ่งวัตถุดิบที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรมีความเป็นไปได้ในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ขนมขบเคี้ยว, ข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43, กากแครอท, ผักแด่ใหม่, เอ็กซ์ทรูชัน

* นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Corresponding author, email: suthida-k@rmutp.ac.th, Tel. 06-4240-9666

Received : May 22, 2025; Revised : July 26, 2025; Accepted : August 6, 2025

Effect of Dietary Fiber Supplementation from Powdered Carrot Pomace and Powdered Silkworm Pupae Protein on the Quality of Extrusion RD 43 Rice Snack

Suthida Kitjaworasastien*, Chaowalit Auppathak**, Chayapat Kee-ariyo**,
Nomjit Suteebut** .Phisut Naknean***, Prassanee Tubbiyam**

Abstract

Extruded snacks are popular across all age groups but are typically high in carbohydrates due to starch as a main ingredient. Adding dietary fiber and protein can enhance their nutritional value. This study aimed to investigate the effects of powdered carrot pomace (fiber) and powdered silkworm pupae (protein) on the physical, chemical, and sensory properties of extruded snacks made from RD 43 rice. Results showed that increasing levels of both powders significantly affected product characteristics ($p < 0.05$). Water activity (a_w), a^* , b^* , bulk density, and hardness increased, while L^* , expansion, and fracturability decreased. The optimal formulation was 10% powdered carrot pomace and 10% powdered silkworm pupae by weight, offering the best physical properties and moderate consumer acceptance in appearance, color, aroma, taste, texture, and overall liking. Chemically, the developed snack had higher energy, moisture, protein, fat, ash, and fiber but lower carbohydrates than the control formula ($p < 0.05$). Thus, using agro-industrial by-products like carrot pomace and silkworm pupae can effectively enhance snack nutrition.

Keywords : Snack, RD 43 Rice, Carrot pomace, Silkworm pupae, Extrusion

* Student in Home Economics Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

** Assistant Professor, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

*** Assistant Professor, Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology Srinakharinwirot University
Corresponding author, email: suthida-k@rmutp.ac.th, Tel. 06-4240-9666

Received : May 22, 2025; **Revised :** July 26, 2025; **Accepted :** August 6, 2025

ความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ตลาดขนมขบเคี้ยวในไทยเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากได้รับความนิยมในทุกช่วงวัย คนไทยบริโภคขนมขบเคี้ยว 1.39 กิโลกรัมต่อคนต่อปี โดยเฉลี่ย และร้อยละ 77 รับประทานเพื่อให้รางวัลตัวเอง คนรุ่นมิลเลนเนียล (18-44 ปี) มักบริโภคขณะทำงาน ท่องเที่ยว หรือทำกิจกรรมยามว่าง ส่งผลให้มีผลิตภัณฑ์และนวัตกรรมหลากหลาย และการพัฒนาสูตรใหม่ๆ ลงสู่ตลาดอย่างต่อเนื่องขนมขบเคี้ยวยอดนิยมในไทยมี 2 ประเภท ได้แก่ 1) มันฝรั่ง และ 2) ขนมขึ้นรูป โดยขนมขึ้นรูปนั้นผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสและโครงสร้างเฉพาะตัว ข้อดีของกระบวนการนี้คือให้ผลผลิตสูงและมีของเสียน้อย โดยวัตถุดิบหลักคือแป้งข้าวชนิดต่างๆ หากรับประทานมากเกินไปจะส่งผลให้ร่างกายได้รับคาร์โบไฮเดรตในปริมาณมากเกินไปความต้องการ ด้วยเหตุนี้การเลือกประเภทแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักจึงช่วยควบคุมปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เข้าสู่ร่างกาย

ข้าวพันธุ์ กข 43 เป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ที่ 57.5 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และมีค่าต่ำกว่าข้าวหอมมะลิ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว ซึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ที่ 69 87 และ 98 ตามลำดับ นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ กข 43 ยังมีปริมาณอะไมโลส (Amylose) ที่ร้อยละ 18.82 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เมื่อหุงแล้วเมล็ดข้าวสุกมีความอ่อนนุ่ม เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกอิ่มนาน และไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดพุ่งสูง (ธาริณี นิลกำแหง, 2564) ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มปัจจุบันที่ประชาชนทั่วไปให้ความสนใจในสุขภาพและตระหนักถึงปัญหาด้านสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเลือกรับประทานอาหาร ขนม และของว่างต่างๆ มีความพิถีพิถันมากขึ้น นอกจากนี้ผู้บริโภคในประเทศไทยยังมองหาผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพเพิ่มเติมเพื่อที่จะทำให้อารมณ์ดีลงเมื่อกินขนมขบเคี้ยว อีกทั้งผู้ที่ชอบทดลองรสชาติใหม่ๆ ยินดีจะจ่ายเงินเพิ่มขึ้นให้กับสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (ขวัญฤทัย สุนทรธรรมรัตน์, 2565)

การแก้ปัญหาขยะอาหาร (Food waste) เป็นเป้าหมายหนึ่งในการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ของสหประชาชาติ ขององค์กรสหประชาชาติ ที่ต้องทำให้สำเร็จภายในปี 2030 โดยทั่วโลกมีอาหารถูกทิ้งมากกว่า 1,300 ล้านตันต่อปี โดยคนไทย 1 คนสร้างขยะอาหารเฉลี่ย 254 กิโลกรัมต่อปี โดยแหล่งที่มาหลักคือ เศษอาหาร อาหารเหลือทิ้ง และอาหารส่วนเกินที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น ผักผลไม้ตกรีด กากพืชจากการผลิตน้ำผักผลไม้ (Saurabh & Mukesh, 2022) กรณีของแครอทตกรีดและกากแครอท (Carrot pulp) เป็นตัวอย่างของผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมที่มักถูกทิ้ง โดยกากแครอทที่เหลือจากการสกัดน้ำทั่วโลกมีประมาณ 45 ล้านตันต่อปี ซึ่งยังสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ นำมาสกัดสารสำคัญ เช่น เพคติน กรดอินทรีย์ หรือหมักก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ กากแครอทยังเป็นแหล่งใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยลดคอเลสเตอรอล เสริมสารต้านอนุมูลอิสระ และลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งและโรคหัวใจ (Pratik et al., 2023)

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ประกาศให้แมลงเป็นแหล่งโปรตีนหลักในอนาคต เพื่อรองรับจำนวนประชากรโลกที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 10,000 ล้านคนในปี 2050 นอกจากนี้ การบริโภคแมลงยังช่วยลดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการทำปศุสัตว์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงร้อยละ 10 ของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากมนุษย์ ตลาดแมลงทั่วโลกมีมูลค่ากว่า 400 ล้านดอลลาร์ และคาดว่าจะเติบโตถึง 2,067.9 ล้านดอลลาร์ในปี 2027 ในยุโรป และแมลงเริ่มเป็นที่ยอมรับในฐานะอาหารแห่งความยั่งยืน ปัจจุบันบางประเทศนำแมลงมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเสริม อาหารเลี้ยงเด็ก และผลิตภัณฑ์เสริม

โปรตีน โดยประเทศไทยสามารถผลิตแมลงเศรษฐกิจได้มากกว่า 7,000 ตันต่อปี (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้ากระทรวงพาณิชย์, 2565)

ดักแด้ไหม (Silkworm pupae) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผ้าไหม และเป็นอาหารพื้นถิ่นที่มีโปรตีนสูง อุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ และกรดไขมันจำเป็น (เช่น กรดไลโนเลอิกและไลโนเลนิก ที่ช่วยลดไขมันในเลือด ป้องกันโรคหัวใจและมะเร็ง เป็นต้น) และมีฟอสโฟลิปิดสูง ซึ่งเป็นโครงสร้างของเยื่อเซลล์สำคัญในร่างกายสูง (กรมหม่อนไหม, 2565)

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ซึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง ที่เสริมใยอาหารจากกากแครอทและเสริมโปรตีนจากดักแด้ไหม โดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน รวมถึงการใช้ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเป็นทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภคทุกกลุ่มอายุ นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้ทางการเกษตร ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และสนับสนุนเศรษฐกิจและสังคม ที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 12 เรื่องการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน ซึ่งมุ่งเน้นการลดของเสียและใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (SDG Thailand, 2024)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี ของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงดักแด้ไหมที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน
2. ศึกษาสัดส่วนปริมาณผงกากแครอทและผงดักแด้ไหมที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน
3. ศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของสูตรควบคุมกับสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงดักแด้ไหม ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ผ่านการคัดเลือก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมสูตรควบคุมและกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน
 - 1.1 เตรียมส่วนผสมทั้งหมด (ตารางที่ 1)
 - 1.2 เทส่วนผสมทั้งหมดผสมในเครื่องผสมอาหาร Kitchen Aid™ ไฟขนาด 300 วัตต์ ความเร็วเบอร์ 2 ผสมนาน 10 นาที
 - 1.3 ร้อนส่วนผสมที่ได้ ผ่านตะแกรง 60 เมช แล้วนำไปแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ (Twin-Screw Extruder) (บริษัท Chareontat Co.,Ltd, รุ่น CTE-D22L32, ประเทศไทย) ที่สภาวะความชื้นที่ ร้อยละ 20 ใช้ความเร็วรอบของสกรู 380 รอบ ต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 140 องศาเซลเซียส
 - 1.4 นำผลผลิตจากข้อ 3 ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 15 กองอาหารและมูลนิธิสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2566) ผึ่งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) ประมาณ 5 นาที แล้วบรรจุใส่ถุงอูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิท

ตารางที่ 1 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

วัตถุดิบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
แป้งข้าวพันธุ์ กข 43	92.3
น้ำมันรำข้าว	2.89
น้ำตาลทรายขาว	3.85
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.96

ที่มา : ดัดแปลงจาก ภาพิมล ประจักษ์พันธ์ และคณะ, 2566

2. ขั้นตอนการเตรียมแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ผสมผงกากแครอต และผงผักแต้ใหม่

2.1 การเตรียมแป้ง หลังจากกำจัดสิ่งเจือปนออกจากข้าวสารพันธุ์ กข 43 แล้ว บดข้าวที่ได้ให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร (ยี่ห้อ SGE รุ่น ECO, ประเทศไทย) เป็นเวลา 3 นาที นำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จากนั้นบรรจุแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ใต้สภาวะสุญญากาศ

2.2 การเตรียมผงกากแครอต กำจัดสิ่งเจือปนออกจากกากแครอต ลวกกากแครอตที่ได้ในน้ำที่เดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 นาที แล้วนำมอลดความร้อนด้วยการแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ใช้กระชอนตักกากแครอตที่เย็นแล้ว สะเด็ดน้ำ แล้วเทใส่ถาดอบวางแผ่นรองกระดาษซับน้ำไว้เพื่อซับน้ำ เกลี่ยกากแครอตในถาดให้มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง นำกากแครอตแห้งที่ได้มาบดละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำผงที่ได้มาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช แล้วบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ใต้สภาวะสุญญากาศ

2.3 การเตรียมผักแต้ใหม่ คัดเลือกสิ่งเจือปนออกจากผักแต้ใหม่ ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาไหลผ่านอัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที เป็นเวลา 3 นาที ใช้กระชอนตักสะเด็ดน้ำ นำผักแต้ใหม่ที่ได้มาลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 นาที จากนั้นนำไปใส่ในถาดอบที่วางแผ่นรองกระดาษซับน้ำไว้เพื่อซับน้ำ เกลี่ยผักแต้ใหม่ให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในถาดอบ แล้วนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 10 ชั่วโมง นำผักแต้ใหม่ที่ได้มาบดละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพรเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำผงที่ได้มาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช แล้วบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ใต้สภาวะสุญญากาศ

3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอตและผงผักแต้ใหม่ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

นำวัตถุดิบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ผงกากแครอต และผงผักแต้ใหม่ มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (โดยใช้เครื่องวัดค่า Water Activity รุ่น 4TE) และค่าสีในระบบ L^* , a^* และ b^* (โดยใช้เครื่องประเมิน Konica Minolta รุ่น CR-400 Series) และสมบัติทางเคมี ได้แก่ พลังงาน โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้น และเถ้า เสนอโดยอาหาร (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 2023)

4. ศึกษาสัดส่วนปริมาณผงกากแครอตและผงผักแต้ใหม่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมาศึกษาสัดส่วนปริมาณผงกากแครอตและผงผักแต้ใหม่ที่แตกต่างกัน โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial 3 x 3 ใช้ผงกากแครอตร่วมกับผงผักแต้ใหม่ ในอัตราส่วนของผงกากแครอตที่ระดับร้อยละ 5 10 และ 15 และอัตราส่วนของผงผักแต้ใหม่ที่ระดับร้อยละ 5, 10 และ 15 มาเสริมในส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ทั้งหมด ได้จำนวน 10 สิ่งทดลอง (ดังตารางที่ 2) มาวิเคราะห์สมบัติ ดังนี้

4.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่า Water activity รุ่น 4TE ทำการวิเคราะห์ 10 ซ้ำๆ ละ 2 กรัม/ตัวอย่าง

2) ค่าสีในระบบ L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องประเมิน Konica Minolta รุ่น CR-400 Series ทำการวิเคราะห์ 10 ซ้ำๆ ละ 2 กรัม/ตัวอย่าง

3) ค่าความหนาแน่น (Bulk density) ทำการชั่งน้ำหนักภาชนะเปล่าที่ใช้สำหรับบรรจุขนมและบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะที่ชั่งไว้แล้ว ชั่งน้ำหนักรวมของทั้งสองอย่างและบันทึกน้ำหนัก รายงานหน่วยเป็นกรัม/ลิตร (g/L) ทำการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ โดยการคำนวณจากสูตร

$$\text{ค่าความหนาแน่น} = \frac{(\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์} + \text{น้ำหนักภาชนะ}) - \text{น้ำหนักภาชนะ}}{\text{ปริมาตร}}$$

4) อัตราการพองตัว (Expansion ratio) รายงานหน่วยเป็นเท่า (Fold) ทำการวิเคราะห์ 10 ซ้ำๆ ละ 2 กรัม/ตัวอย่างโดยการคำนวณจากสูตร

$$\text{อัตราการพองตัว} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของผลิตภัณฑ์}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางหัวรูเปิด (Die)}}$$

5) ค่าเนื้อสัมผัส โดยวิธีแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Oration Manual for TAXT Plus Analyzer Stable Micro System Ltd., ประเทศอังกฤษ) โดยวัดค่าแบบ TPA ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาด 50 มม. (P/50) สภาวะความเร็วก่อนการกดอยู่ที่ 5 mm/sec สภาวะความเร็วหลังการกดอยู่ที่ 5 mm/sec รายงานค่าเป็น Hardness และ Fracturability รายงานหน่วยเป็นกรัม (g) ทำการวิเคราะห์ 10 ซ้ำๆ ละ 1 กรัม/ตัวอย่าง

4.2 การประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) แล้วประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ซึ่งเป็นอาจารย์และนักศึกษาคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้ผงกากแครอตและผงผักแต่ใหม่เสริมในส่วนผสมของแป้งทั้งหมด

สูตรที่	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	ผงกากแครอต	ผงผักแต่ใหม่
0	0	0
1	5	5
2	5	10
3	5	15
4	10	5
5	10	10
6	10	15
7	15	5
8	15	10
9	15	15

5. ศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของสูตรควบคุมกับสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอตและผงผักแต่ใหม่ ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ผ่านการคัดเลือก

นำสูตรควบคุมกับสูตรที่ผ่านการคัดเลือก มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร คาร์โบไฮเดรตรวม และพลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี/100 กรัม) ตามวิธีของ (AOAC, 2023)

การวิเคราะห์ข้อมูล

โดยคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน Analysis of Variances (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ผลทางสถิติ IBM SPSS Statistics 23 Python Software Foundation

การพิทักษ์สิทธิผู้ให้ข้อมูล

หมายเลขจริยธรรมการวิจัย เลขที่ IRB-COE-068-2024 วันที่เอกสารออกรับรอง 9 ธันวาคม 2567 ผู้วิจัยไม่มีการเก็บข้อมูลที่สามารถระบุถึงตัวบุคคลได้ ในแบบประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสเท่านั้น มีการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลที่สำคัญของอาสาสมัครไม่ให้ถูกเปิดเผย เพื่อถูกเก็บเป็นความลับและข้อมูลจะใช้เพื่องานวิจัยเท่านั้น

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอตและผงผักแด่ใหม่ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

นำวัตถุดิบหลักที่ใช้ 3 ชนิด ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอตและผงผักแด่ใหม่ ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ผงกากแครอต และผงผักแด่ใหม่ (ดังภาพที่ 1) มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 1 (ก) แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 (ข) ผงกากแครอต (ค) ผงผักแด่ใหม่

ตารางที่ 3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ผงกากแครอต และผงผักแด่ใหม่

คุณสมบัติ	แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43	ผงกากแครอต	ผงผักแด่ใหม่
สมบัติทางกายภาพ			
ค่าสี			
L*	7.13 ± 0.01	81.48 ± 0.01	57.31 ± 0.01
a*	54.51 ± 0.01	4.33 ± 0.01	5.31 ± 0.00
b*	12.55 ± 0.06	24.95 ± 0.06	23.88 ± 0.06
ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a _w)	0.53 ± 0.06	0.54 ± 0.06	0.50 ± 0.00
สมบัติทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)	11.43 ± 0.05	11.05 ± 0.00	5.16 ± 0.05
โปรตีน (ร้อยละ)	8.30 ± 0.00	5.81 ± 0.00	59.17 ± 0.00
ไขมัน (ร้อยละ)	1.28 ± 0.00	0.98 ± 0.00	19.64 ± 0.00
เถ้า (ร้อยละ)	0.38 ± 0.06	2.33 ± 0.06	4.35 ± 0.00
เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	0.14 ± 0.00	16.73 ± 0.00	6.77 ± 0.00
คาร์โบไฮเดรตรวม (ร้อยละ)	78.61 ± 0.06	79.83 ± 0.06	11.68 ± 0.00
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	359.16 ± 0.06	351.38 ± 0.06	460.16 ± 0.06

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

L* บ่งบอกค่าความสว่าง

a* เป็นค่า (+) บ่งบอกถึงความเป็นสีแดง (-) บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว

b* เป็นค่า (+) บ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง (-) บ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพพบว่า ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 มีค่า L^* ต่ำ (7.13) และค่า a^* สูง (54.51) ขณะที่ค่า b^* อยู่ที่ 12.55 มีค่าความเป็นสีเหลืองเล็กน้อย สำหรับผงกากแครอท พบว่ามีค่า L^* สูง (81.48) และค่า a^* ต่ำ (4.33) มีค่าความสว่างและสีแดงอมส้มเล็กน้อย ส่วนค่า b^* สูง (24.95) มีค่าความเป็นสีเหลืองอย่างเด่นชัด ผงดักแด้ใหม่มีค่า L^* ปานกลาง (57.31) ค่า a^* ต่ำ (5.31) และค่า b^* สูง (23.88) บ่งบอกถึงความสว่างปานกลาง มีค่าสีแดงอมส้มเล็กน้อย และสีเหลืองที่ค่อนข้างชัดเจน ทั้งนี้ วัตถุดิบทุกชนิดมีค่าความปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 0.50–0.54

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีผงดักแด้ใหม่มีค่าความชื้นน้อยที่สุด (ร้อยละ 5.16) ในขณะที่แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 (ร้อยละ 11.43) และผงกากแครอท (ร้อยละ 11.05) มีค่าความชื้นใกล้เคียงกัน ส่วนค่าโปรตีนไขมัน และเถ้าในผงดักแด้ใหม่มีปริมาณสูงที่สุด (ร้อยละ 59.17 19.64 และ 4.35 ตามลำดับ) ในด้านเส้นใยอาหาร ผงกากแครอทมีค่ามากที่สุด (ร้อยละ 16.73) สำหรับคาร์โบไฮเดรตรวม พบว่า แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 (ร้อยละ 78.61) และผงกากแครอท (ร้อยละ 79.83) มีปริมาณสูง ในขณะที่ผงดักแด้ใหม่มีค่าน้อยที่สุด (ร้อยละ 11.68) อย่างไรก็ตาม ผงดักแด้ใหม่ให้พลังงานสูงที่สุด (460.16 กิโลแคลอรี/100 กรัม) เนื่องจากมีโปรตีนและไขมันในปริมาณมาก ขณะที่แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 และผงกากแครอทให้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน (359.16 และ 351.38 กิโลแคลอรี/100 กรัม ตามลำดับ)

2. ผลการศึกษาสัดส่วนปริมาณผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 มาเสริมผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ในสัดส่วนของผงกากแครอทที่ร้อยละ 0 5 10 และ 15 และสัดส่วนของผงดักแด้ใหม่ที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 เสริมในปริมาณของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ทั้งหมด แล้วจึงนำมาผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันทั้งหมดได้จำนวน 10 สิ่งทดลอง (ดังภาพที่ 2) และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และการประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6



ภาพที่ 2 สัดส่วนปริมาณผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน จำนวน 10 สิ่งทดลอง

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่าสี L^* a^* และ b^* ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงผักไคโม ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรักชัน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ				
ปริมาณผงกากแครอท และผงผักไคโม (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	L^*	a^*	b^*
0:0	0.26±0.00 ^h	73.37±0.26 ^a	-0.63±0.019 ^h	4.81±0.25 ^e
5:5	0.31±0.00 ^g	67.42±0.83 ^b	6.79±0.25 ^g	23.27±0.33 ^d
5:10	0.32±0.00 ^f	63.98±0.95 ^c	8.11±0.19 ^f	23.47±0.13 ^d
5:15	0.33±0.00 ^e	63.72±0.25 ^c	8.24±0.13 ^{ef}	24.17±0.10 ^d
10:5	0.34±0.00 ^d	62.95±0.61 ^d	8.49±0.12 ^e	24.94±0.11 ^b
10:10	0.34±0.00 ^d	60.78±0.57 ^d	9.67±0.09 ^d	24.88±0.29 ^b
10:15	0.35±0.00 ^c	59.23±0.28 ^f	9.50±0.24 ^d	24.54±0.57 ^b
15:5	0.36±0.00 ^b	58.40±0.21 ^g	10.11±0.10 ^c	24.30±0.25 ^c
15:10	0.38±0.00 ^b	58.35±0.74 ^g	10.23±0.23 ^b	25.56±0.46 ^a
15:15	0.47±0.00 ^a	56.25±0.38 ^h	10.91±0.23 ^a	25.57±0.26 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$)

L^* บ่งบอกค่าความสว่าง

a^* เป็นค่า (+) บ่งบอกถึงความเป็นสีแดง (-) บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว

b^* เป็นค่า (+) บ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง (-) บ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน

จากตารางที่ 4 พบว่า สูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีค่า a_w ต่ำที่สุดที่ 0.26 และสัดส่วนที่ร้อยละ 15:15 อยู่ที่ 0.47 ส่วนค่าสี พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลง โดยสูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีค่า L^* สูงที่สุดที่ 73.37 มีความสว่างมากที่สุด และที่สัดส่วนร้อยละ 15:15 มีค่า L^* ต่ำที่สุดที่ 56.25 บ่งบอกถึงผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มที่สุดมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) ส่วนสูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีค่า a^* เป็นลบ (-0.63) บ่งบอกถึงโทนสีเขียวเล็กน้อย ที่สัดส่วนร้อยละ 15:15 มีค่า a^* สูงที่สุดที่ 10.91 ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นสีแดงมากที่สุด ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีค่า b^* ต่ำที่สุดที่ 4.81 และที่สัดส่วนร้อยละ 15:15 และ 15:10 มีค่า b^* สูงที่สุดที่ 25.57 และ 25.56 ตามลำดับ บ่งบอกความเป็นสีเหลืองมากที่สุด

ตารางที่ 5 ค่าความหนาแน่น ค่าความพอง ค่าความแข็ง และค่าความเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ				
ปริมาณ ผงกากแครอท และผงผักไค้ใหม่ (ร้อยละ)	ค่าความ หนาแน่น (Bulk density) (g/L)	ค่าความพอง (Expansion ratio) (fold)	ค่าความแข็ง (Hardness) (g)	ค่าความเปราะ (Fracturability) (g)
0:0	0.26±0.00 ^g	4.41±0.19 ^a	946.41±727.05 ^{cd}	19,685.70±458.82 ^a
5:5	0.28±0.00 ^f	4.34±0.50 ^b	1,270.67±966.31 ^{cd}	18,172.67±219.41 ^c
5:10	0.28±0.00 ^f	4.00±0.09 ^c	1,475.90±945.66 ^{cd}	13,413.65±702.37 ^a
5:15	0.29±0.00 ^d	3.80±0.22 ^{cd}	1,516.95±660.96 ^{cd}	12,973.43±569.23 ^c
10:5	0.26±0.00 ^d	3.81±0.16 ^{cd}	1,658.32±630.91 ^{cd}	11,793.63±272.83 ^c
10:10	0.30±0.00 ^g	3.63±0.15 ^{de}	1,690.41±880.14 ^{cd}	11,366.60±827.76 ^b
10:15	0.30±0.00 ^c	3.59±0.09 ^e	1,869.29±1623.55 ^c	11,324.96±773.39 ^d
15:5	0.31±0.00 ^b	3.65±0.08 ^{de}	1,946.86±416.65 ^{cd}	11,071.75±204.07 ^a
15:10	0.32±0.00 ^e	3.32±0.20 ^f	1,957.44±679.21 ^b	11,224.85±807.04 ^d
15:15	0.36±0.00 ^a	3.21±0.13 ^f	2,819.36±2504.04 ^a	10,191.38±127.95 ^b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$)

L* บ่งบอกค่าความสว่าง

a* เป็นค่า (+) บ่งบอกถึงความเป็นสีแดง (-) บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว

b* เป็นค่า (+) บ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง (-) บ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน

จากตารางที่ 5 พบว่า สูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่ 0.26 Density (g/L) และที่สัดส่วนร้อยละ 15:15 มีค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 0.36 Density (g/L) ด้านค่าความพองของสูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีการขยายตัวมากที่สุด มีค่าสูงสุดที่ 4.41 (Fold) และที่สัดส่วนร้อยละ 15:15 มีการขยายตัวน้อยที่สุด ต่ำสุดที่ 3.21 (Fold) ด้านค่าความแข็งสูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีค่าความแข็งต่ำสุดที่ 946.41 (g) และที่สัดส่วนร้อยละ 15:15 มีค่าความแข็งสูงสุดที่ 2,819.36 (g) ด้านค่าความเปราะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่เสริมเพิ่มขึ้น โดยสูตรควบคุม (ร้อยละ 0:0) มีค่าความเปราะสูงสุดที่ 19,685.70 (g) และที่สัดส่วนร้อยละ 15:15 มีค่าความเปราะต่ำสุดที่ 10,191.38 (g)

ตารางที่ 6 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงผักดกแด่ใหม่ ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

ปริมาณผง กากแครอท และผง ผักดกแด่ใหม่ (ร้อยละ)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0:0	7.62±1.19 ^a	7.48±1.26 ^{ab}	7.16±1.16 ^{abc}	7.28±1.14 ^{ab}	7.28±0.97 ^{ab}	7.74±0.84 ^{ab}
5:5	7.52±1.12 ^a	7.40±1.02 ^{ab}	7.38±0.98 ^{ab}	6.90±1.03 ^{bc}	7.32±0.83 ^{ab}	7.58±1.12 ^{abc}
5:10	7.40±0.99 ^{ab}	7.74±0.85 ^{ab}	7.10±0.93 ^{abcd}	7.33±0.86 ^{ab}	7.32±0.89 ^{ab}	7.75±0.81 ^{ab}
5:15	7.46±0.99 ^{ab}	7.46±0.83 ^{ab}	6.92±1.04 ^{cd}	7.24±1.20 ^{ab}	7.20±0.92 ^b	7.67±0.80 ^{ab}
10:5	7.46±0.93 ^{ab}	7.58±0.81 ^{ab}	7.42±0.97 ^{ab}	7.26±1.13 ^{ab}	6.90±0.98 ^{bc}	7.68±0.92 ^{ab}
10:10	7.56±0.97 ^a	7.74±1.02 ^{ab}	7.50±0.90 ^a	7.42±0.89 ^{ab}	7.66±1.12 ^a	7.80±1.08 ^a
10:15	7.56±1.12 ^a	7.52±0.97 ^{ab}	6.96±1.04 ^{cd}	7.20±1.04 ^b	7.24±0.98 ^{ab}	7.32±1.01 ^{cd}
15:5	7.08±1.00 ^{bc}	6.86±1.04 ^{cb}	7.08±0.90 ^{bcd}	6.98±0.99 ^b	6.98±1.24 ^b	7.22±1.01 ^{cd}
15:10	7.22±0.99 ^{abc}	7.20±0.94 ^{ab}	6.86±0.80 ^{cd}	6.92±1.02 ^{bc}	6.92±1.11 ^{bc}	7.06±1.15 ^{de}
15:15	6.84±0.83 ^c	6.74±0.97 ^d	6.74±1.24 ^d	6.52±1.09 ^c	6.36±0.85 ^c	6.80±1.01 ^e

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบชิม 50 คน

a,b,c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 6 ผลการประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของการศึกษาปริมาณการเสริมผงกากแครอทและผงผักดกแด่ใหม่ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ต่างกัน จำนวน 10 สิ่งทดลอง พบว่า ผู้ชิมให้การยอมรับปริมาณผงกากแครอทและผง ผักดกแด่ใหม่ที่ดีส่วน ร้อยละ 10 : 10 ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบที่ระดับชอบปานกลาง โดยมีคะแนนค่าเฉลี่ย 7.56 7.74 7.50 7.42 7.66 และ 7.80 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

3. ผลศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของสูตรควบคุมกับสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงผักดกแด่ใหม่ ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ผ่านการคัดเลือก

นำสูตรควบคุมกับสูตรที่ได้รับการคัดเลือก คือ ปริมาณเสริมผงกากแครอทและผงผักดกแด่ใหม่ ร้อยละ 10 : 10 มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของสูตรควบคุมกับสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ (ต่อตัวอย่าง 100 กรัม)

สมบัติทางเคมี	สูตรควบคุม ร้อยละ 0	สูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ (ร้อยละ10:10)
ความชื้น (ร้อยละ)	8.38±0.64 ^b	8.44±0.05 ^a
โปรตีน (ร้อยละ)	7.33±0.15 ^b	8.11±0.46 ^a
ไขมัน (ร้อยละ)	3.70±0.15 ^b	4.41±0.41 ^a
เถ้า (ร้อยละ)	1.29±0.00 ^b	1.60±0.17 ^a
เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	0.43±0.00 ^b	6.69±0.61 ^a
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	79.30±0.00 ^a	77.44±0.42 ^b
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	379.82±0.00 ^b	381.98±0.15 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (p≤0.05)

จากตารางที่ 7 พบว่า สมบัติทางเคมีของสูตรควบคุมกับสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ซึ่งเสริมด้วยผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ ที่สัดส่วนร้อยละ 10 : 10 เป็นสูตรที่ผู้ทดสอบชิมยอมรับมากที่สุดและมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีตรงตามคุณลักษณะของขนมขบเคี้ยวพบว่า ส่วนสูตรควบคุมมีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร คาร์โบไฮเดรตรวม ร้อยละ 8.38 7.33 3.70 1.29 0.43 และ 79.30 ตามลำดับ และมีพลังงานทั้งหมด 379.82 กิโลแคลอรี/100 กรัม ส่วนสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่เสริมด้วยผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ในสัดส่วนร้อยละ 10 : 10 มีพลังงานทั้งหมด 381.98 กิโลแคลอรี/100 กรัม ค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร คาร์โบไฮเดรตรวม ร้อยละ 8.44 8.11 4.41 1.60 6.69 และ 77.44 ตามลำดับ

การอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี ของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงดักแด้ใหม่ ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 แสดงให้เห็นว่าค่าสี มีค่าความสว่าง (L*) ค่อนข้างต่ำ (7.13) เมื่อเทียบกับผงกากแครอท (81.48) และผงดักแด้ใหม่ (57.31) ค่า a* ที่เป็นบวกและมีค่าสูง (54.51) บ่งชี้ถึงความเป็นสีแดงที่เด่นชัดของแป้งข้าวเจ้า กข 43 ในขณะที่ค่า b* ที่เป็นบวก (12.55) แสดงถึงความเป็นสีเหลืองเล็กน้อย ผงกากแครอท มีค่า L* สูง (81.48) แสดงถึงความสว่าง ค่า a* ที่เป็นบวก (4.33) บ่งบอกถึงความเป็นสีแดงเล็กน้อย และค่า b* ที่สูง (24.95) แสดงถึงความเหลืองที่เด่นชัด ซึ่งเป็นลักษณะของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2561) ผงดักแด้ใหม่มีค่า L* ปานกลาง

(57.31) ค่า a^* ที่เป็นบวก (5.31) แสดงถึงความเป็นสีแดงเล็กน้อย และค่า b^* ที่ค่อนข้างสูง (23.88) บ่งบอกถึงโทนสีน้ำตาลอมเหลือง (พัฒน์วิษณุ จูภาวัง และ วรางคณา สมพงษ์, 2564) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของแป้งข้าวเจ้า กข 43 ผงกากแครอท และผงผักไค้ใหม่ อยู่ที่ 0.53 0.54 และ 0.50 ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาและป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่เกิน 0.60 (กองอาหารและมูลนิธิสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2566)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง (ร้อยละ 78.61) และมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 8.30) ไขมัน (ร้อยละ 1.28) เกลือ (ร้อยละ 0.38) และมีเส้นใยอาหาร (0.14) ที่ต่ำกว่าผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ และมีพลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 359.16 กิโลแคลอรี/100 กรัม ซึ่งส่วนใหญ่มาจากคาร์โบไฮเดรต ส่วนผงกากแครอทมีปริมาณเส้นใยอาหารที่สูงมาก (176.73) เมื่อเทียบกับวัตถุดิบอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 79.83) ใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 และมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 5.81) ไขมัน (ร้อยละ 0.98) และเกลือ (ร้อยละ 2.33) ที่สูงกว่าเล็กน้อย ผงกากแครอทมีพลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 351.38 กิโลแคลอรี/100 กรัม ซึ่งมาจากทั้งคาร์โบไฮเดรตและใยอาหาร ส่วนผงผักไค้ใหม่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างอย่างชัดเจนจากวัตถุดิบอื่น โดยมีปริมาณโปรตีนสูงมาก (ร้อยละ 59.17) และมีปริมาณไขมันสูง (19.64) นอกจากนี้ยังมีเกลือ (ร้อยละ 4.35) และเส้นใยอาหาร (ร้อยละ 6.77) ในปริมาณที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำ (ร้อยละ 11.68) พลังงานทั้งหมดของผงผักไค้ใหม่มีค่าสูงสุด (460.16 กิโลแคลอรี/100 กรัม) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนและไขมันที่สูง สอดคล้องกับงานวิจัยของอินทรา ลิขจันทร์พร และคณะ (2566) ระบุว่าผงผักไค้ใหม่มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 72.77 และไขมันร้อยละ 16.51 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยอื่นๆ ที่รายงานปริมาณโปรตีนในผักไค้ใหม่ที่ร้อยละ 49-54

2. การศึกษาสัดส่วนปริมาณผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

จากการทดลองจำนวน 10 สิ่งทดลอง สัดส่วนปริมาณการเสริมผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ ส่งผลต่อสมบัติในผลิตภัณฑ์ในเชิงสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์น้อยกว่า 0.60 ซึ่งถือว่าปลอดภัยสำหรับอาหารขบเคี้ยวชนิดอบพอง (Extruded snack) (กองอาหารและมูลนิธิสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2566) ค่า L^* ลดลง ค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามสัดส่วนปริมาณผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเกิดตรงควัตถุที่มีในแครอทอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ในผลกากแครอท ที่เป็นรงควัตถุที่ละลายได้ในไขมันให้สีส้มและแดง (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2561) และผงผักไค้ใหม่ทำให้โทนสีน้ำตาลเข้ม อมเหลือง (พัฒน์วิษณุ จูภาวัง และ วรางคณา สมพงษ์, 2564)

ค่าความหนาแน่น และค่าความแข็ง มีแนวโน้มสูงขึ้น และค่าความพอง ค่าความเปราะมีแนวโน้มต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามสัดส่วนปริมาณผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากใยอาหารบางประเภทมีคุณสมบัติพิเศษในการดักจับโมเลกุลอะมิโนที่อาจรั่วไหลออกจากเม็ดแป้งในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งกลไกนี้เองที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดเจลและการสร้างโครงสร้างที่เหมาะสมของการสุกของแป้ง และโปรตีนมีผลกระทบต่อนสมบัติทางกายภาพและเคมีสามารถยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งได้ Kowalski et al., (2023)

ผลการประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของการศึกษาสัดส่วนปริมาณการเสริมผงกากแครอท และผงผักไค้ใหม่ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ต่างกัน จำนวน 10 สิ่งทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$) เมื่อปริมาณผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อเนื้อสัมผัสที่มีความแข็งมากขึ้น และมี กลิ่นที่แรงมากขึ้น ความแข็งที่เพิ่มขึ้นอาจมีสาเหตุจากผงกากแครอทซึ่งมีเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ชนิดเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ โดยส่วนใหญ่ ประกอบด้วยเพกทิน (Pectin) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และเซลลูโลส (Cellulose) (Ali et al., 2024) ส่วน ผงผักไค้ใหม่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน (lignin) ในส่วนของกลิ่นที่แรงมากขึ้น อาจเกิดจากรสและกลิ่นของแมลงซึ่งส่วนใหญ่มีกลิ่นเฉพาะตัวเนื่องจากฟีโรโมน (Pheromone) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแมลง (Lenka & Anna, 2016) และเกิดปฏิกิริยามิลลาร์ด (Millard reaction) จากการโดนความร้อนในการอัดพอง (Tadesse et al., 2019) นอกจากนี้ ผู้ทดสอบชิม ให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสน้อยลง ซึ่งอาจเกิดจากการลดลงของความเรียบของพื้นผิวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง อันเกิดจากการอัดพอง ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของอินทรา ลิขจันทร์พรและคณะ (2566) ศึกษาเรื่องผงผักไค้ใหม่อีรีไปทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บราวนี่ พบว่าที่สัดส่วนร้อยละ 10 ทั้งนี้ ผงผักไค้ใหม่อีรีทำให้บราวนี่มีกลิ่นอย่างกลิ่นเฉพาะตัวของผักไค้ และเมื่อใช้ในปริมาณสูงขึ้น ทำให้บราวนี่มีกลิ่นผงผักไค้ใหม่อีรีมากขึ้น และเนื้อสัมผัสแตก่วน ดังนั้นจึงทำให้มีคะแนนด้านกลิ่น รส และเนื้อสัมผัสน้อยลง นอกจากนี้ ผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kowalski et al., (2023) ที่พบว่าเสริมแป้งแมลงที่ร้อยละ 10 ในขนมปังข้าวสาลี ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับขนมปังข้าวสาลี และยังพบว่าขนมปังข้าวสาลีเสริมแมลงนี้มีไลซีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 70 ($p \leq 0.05$) ดังนั้น ผลการทดลองนี้และรายงานอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า การเสริมแป้งแมลงที่กินได้ลงในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นเป็นที่ยอมรับได้ โดยสัดส่วนปริมาณการเสริมแป้งแมลงไม่เกินร้อยละ 10 จึงอาจกล่าวได้ว่า ในการเสริมสัดส่วนปริมาณผงผักไค้ใหม่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ขนมขบเคี้ยวมีเนื้อลักษณะ สีน้ำตาลเข้ม กลิ่นแรง และเนื้อสัมผัสที่แข็งเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางกายภาพด้านสี L^* ลดลง a^* เพิ่มขึ้น ความหนาแน่น และค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนค่าความพอง ค่าความเปราะมีแนวโน้มต่ำลงกว่าสูตรที่ใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เพียงอย่างเดียว ที่เป็นสูตรควบคุม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกสูตรร้อยละ 10 : 10 มาทำการศึกษาการสมบัติทางเคมีต่อไป

3. การศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของสูตรควบคุมกับสูตรผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 เสริมผงกากแครอทและผงผักไค้ใหม่ ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ผ่านการคัดเลือก

ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของสูตรควบคุมกับสูตร 10 : 10 พบว่า ความชื้น โปรตีน ไขมัน ถ้า เส้นใยอาหาร คาร์โบไฮเดรต พลังงานทั้งหมด กิโลแคลอรี/100 กรัม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสูตร 10 : 10 มีปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารในปริมาณเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของนุจรี สอนสะอาด และคณะ (2567) ที่พัฒนาผลิตภัณฑ์หมูแผ่นกรอบเสริมคุณค่าทางโภชนาการด้วยผงปลีกล้วย ซึ่งมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

การเสริมผงกากแครอทและผงผักผลไม้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันอย่างน้อยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มสัดส่วนปริมาณผงแครอทและผงผักผลไม้มีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งและมีกลิ่นเฉพาะตัวมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการยอมรับของผู้ทดสอบชิม โดยผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูตรที่เสริมผงกากแครอทและผงผักผลไม้ในสัดส่วนปริมาณร้อยละ 10 : 10 บ่งชี้ว่าสูตรนี้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่นำมาเสริม

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 ที่เสริมใยอาหารจากผงกากแครอทและโปรตีนจากผงผักผลไม้ ภาครัฐและเอกชนควรร่วมกันส่งเสริมการใช้วัตถุดิบจากการเกษตรภายในประเทศ โดยสนับสนุนเกษตรกรและผู้ผลิตให้มีส่วนร่วมในกระบวนการผลิต ที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตรและแมลงที่กินได้เป็นแหล่งโปรตีนใหม่ ซึ่งเป็นอาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีคุณค่าทางโภชนาการ ปลอดภัย และยั่งยืน นอกจากนี้ ควรมีการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการและนักลงทุนเห็นถึงโอกาสทางธุรกิจของผลิตภัณฑ์นี้เพื่อต่อยอดและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบทางการเกษตรได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทดสอบการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เมื่อนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์
2. ควรทดสอบอายุการเก็บรักษาและเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง

- กองอาหารและมูลนิธิสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2566, 23 มิถุนายน). *คู่มือการขอรับเลขสารบบอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว*. [http://pharmacy.skto.moph.go.th/documents/citizens Guide/M_snack.pdf](http://pharmacy.skto.moph.go.th/documents/citizens%20Guide/M_snack.pdf)
- กรมหม่อนไหม. (2565). *เกี่ยวกับสายพันธุ์ ใหมที่ใช้ในอุตสาหกรรม*. <https://qsds.go.th>
- ขวัญฤทัย สุนทรธรรมรัตน์. (2565). ผลของการใช้แป้งข้าวพันธุ์ กข43 ที่มีต่อสมบัติและการยอมรับในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วน. *วารสารวิจัยราชภัฏธนบุรี*, 16(1), 119-131.
- ธาริณี นิลกำแหง. (2564). การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว กข 43 และผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการเลียนแบบการย่อยของน้ำตาล. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 16(1), 59-77.

- นุจรี สอนสะอาด, นฤทธิ วาดเขียน, และวาสนา วงศ์งาม. (2567). การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมูแผ่นกรอบเสริมคุณค่าทางโภชนาการจากกล้วย. *Journal of Applied Science and Emerging Technology*, 23(2), e247516-e247516.
- ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน. (2561). การทำแห้งกากแครอทและการนำไปใช้ในขนมปังเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ. *KKU Science. Journal*, 46(1), 93-102.
- พัฒนวิชัย จูภาวัง และ วรางคณา สมพงษ์. (2564). สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสกัดจากผักแต้หนอนใหม่. *Thai Journal Science and Technology*, 20(3), 364-377.
- ภาพิมล ประจงพันธ์, ลลิตา ปานแก้ว, และรังสิตา จันทร์หอม. (2566). การผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมผงแคลเซียมเสริมกระดูกปลาแซลมอนโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 18(3), 151-163.
- สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้ากระทรวงพาณิชย์. (2565). อาหารโปรตีนทางเลือกจากแมลงการสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้าเกษตร. <http://www.tpsoc.moc.go.th/th/node/11829>
- อินทิรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, และปาติดา ตั้งอนุรัตน์. (2566). ผลของผงผักแต้หนอนต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์บราวนี่. *Research Journal Phranakhon Rajabhat: Science and Technology*, 18(1), 69-83.
- AOAC. (2023). *Official methods of analysis of AOAC international*. AOAC International.
- Ali, I., Areeba, R., Ammar A. K., Rabbia, K. M., Ahmad, R. B., & Mohamed, H. M. (2024). Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: ystematic review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 180–193.
- Kowalski, S., Gumul, D., Oracz, J., Rosicka-Kaczmarek, J., Mikulec, A., Mickowska, B., & Zborowski, M. (2023). Chemical composition, antioxidant properties and sensory aspects of sponge cakes supplemented with edible insect flours. *Antioxidants*, 12(11), 1912.
- Lenka, K., & Anna, A., (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4(2), 22-26.
- Pratik N., Navneet K. & Ho H. C. (2023). Development of ready to reconstitute carrot pomace blended sweet corn porridge. *eFood*, 4(2), 1-13.
- Saurabh A., Mukesh K. B. (2022). Halving food waste generation by 2030: The challenges and strategies of monitoring UN sustainable development goal target 12.3. *Journal of Cleaner Production*, 380(1), 135042.
- SDG Thailand. (2024). *Sustainable*. <https://www.sdg-thailand.com/sustainable>
- Tadesse, S. A., Bultosa, G., & Abera, S. (2019). Functional and physical properties of sorghum-based extruded product supplemented with soy meal flour. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1707608.

