ผลของการทดแทนเนื้อไก่ด้วยผงดักแด้ไหมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวอบกรอบจากเนื้อไก่
Effects of substituting chicken with silkworm pupae powder in crispy chicken snack products

ตรีทิพย์ ชื่นสันต์[1], นิตยา ภูงาม[2], ชญาภา บัวน้อย[3] และ ณัฏวลิณคล เศรษฐปราโมทย์[3*]
Threethip Chuensun[1], Nittaya Phungam[2], Chayarpar Buano[3] and Natwalinkhol Settapramote[3*]

Received: 30 May 2024 ; **Revised**: 23 July 2024 ; **Accepted**: 1 August 2024

บทคัดย่อ
การปลูกหม่อนเลี้ยงไหมถือเป็นอุตสาหกรรมแมลงที่สำคัญต่อเศรษฐกิจ และผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศไทย (GPD) ทำให้มีดักแด้ไหมที่เหลือจากการเก็บไหมในปริมาณมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตร ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่ากับดักแด้ไหมโดยการทดแทนผงดักแด้ไหมต่อเนื้อไก่ในผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นอบกรอบ ในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ไหมของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม พบว่า อัตราส่วน 60:20 (เนื้อไก่ต่อดักแด้ไหม) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี พบว่า ค่าสี (L*, a*, b*) ความกรอบ ปริมาณความชื้น และปริมาณโปรตีนมีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้น (ร้อยละ 7.31±0.63) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนดักแด้ไหมมาศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่อบอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 15 นาที เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด เมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสี และความกรอบเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และความชื้นมีค่าลดลง ($p\leq0.05$) จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบสูตรควบคุม และสูตรทดแทนผงดักแด้ไหมที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ค่าสีของทั้ง 2 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยปริมาณความชื้น ปริมาณกรดไขมัน (A.V.) ค่าเปอร์ออกไซด์ (P.V.) และ ค่า a_w ของทั้งสองสูตรมีค่าเพิ่มขึ้น และได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม โดยคุณภาพจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (เลขที่ มผช. 100/2553)

คำสำคัญ: การทดแทน, ผงดักแด้ไหม, ไก่แผ่นกรอบ

Abstract
Silkworms are crucial economic insects that significantly contribute to Thailand's national economy and gross domestic product (GDP). The silkworm produces byproducts, including cocoons, which can be utilized to increase farmers' income. To explore this potential, this study aims to replace chicken meat with silkworm pupae powder in crispy chicken snacks. To optimize the ratio of chicken and silkworm pupae powder to crispy chicken products instead of silkworm pupae powder. It was found that the 60:20 ratio (chicken: silkworm pupae powder) provided the optimum formulation. The result showed the control replacing the silkworm pupae powder to crispy chicken products, L*, a*, b* color values, crispness, moisture content and protein content tended to decrease and fat content increased (7.31±0.63%) with significant difference observed ($p\leq0.05$). The condition baking temperature and time were studied and it was found that increasing temperature and time influenced color and crispness. While water activity (a_w) and moisture content decreased with a significant difference was observed ($p\leq0.05$). At 130ºC for 15 minutes revealed the highest score ($p\leq0.05$). Crispy chicken snack was also evaluated for shelf-life by packing in an aluminum-zipped bag and stored at 42ºC for 2 weeks. The results revealed that the color was not significantly comparable to the control's ($p>0.05$).

---

[1] สาขาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
[2] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
[3] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก พื้นที่ตาก จังหวัดตาก
[1] Department of Agro-Industrial Product Development, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai Province
[2] Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus
[3] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Tak Province
* Corresponding author e-mail: natwalin@rmutl.ac.th

However, moisture content, acid value (A.V.), peroxide value (P.V.) and a_w of both formulas tended to increase. The microorganisms detected no excess of the community product standards#100/2553.

Keywords: Replacing, silkworm pupae powder, crispy chicken snacks

บทนำ

ประเทศไทยผลิตผ้าไหมเป็นอันดับที่สี่ของโลก และผลิตเส้นไหมและผลิตผลิตภัณฑ์จากไหมที่มีคุณภาพและมีชื่อเสียง ผ้าไหมไทยถือเป็นหนึ่งในเอกลักษณ์ที่แสดงถึงภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรมของประเทศ โดยแหล่งผลิตผ้าไหมที่สำคัญอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ จากสถิติในปี 2560 มีพื้นที่ปลูกหม่อน 45,265 ไร่ มีจำนวนเกษตรกรหม่อนไหม 85,097 ราย (Lilavanichakul *et al*., 2020) ทำให้ดักแด้ไหม (*Bombyx mori* L.) ที่เป็นผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมไหม (Astuti & Komalasari, 2020) มีเป็นจำนวนมาก (Ghosh, *et al*., 2020) ดักแด้ไหมอุดมไปด้วยโปรตีน น้ำมัน ไคโตซาน วิตามิน โพลีฟีนอล และสารอาหารอื่นๆ ดักแด้ไหมถูกนำมาใช้เป็นแหล่งสำคัญของโปรตีนและไขมันที่มีคุณภาพสูง โดยมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 67 และ 30.36 ตามลำดับ (Brogan *et al*., 2021) โปรตีนในดักแด้ไหมประกอบด้วยกรดอะมิโน 18 ชนิด และอุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นเพียงพอต่อความต้องการกรดอะมิโนของมนุษย์และเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ไขมันดักแด้ไหมมีกรดอะมิโนไม่อิ่มตัวจำนวนมาก โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า 3 (Gwin *et al*., 2021; Ruocco *et al*., 2021) เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของดักแด้ไหมให้กับเกษตรกร รวมถึงการนำดักแด้ไหมไปใช้ประโยชน์ที่มากขึ้นกว่าการนำไปเป็นอาหารสัตว์ (Ssemugenze *et al*., 2021) ดักแด้ไหมมีการบริโภคเป็นอาหารมานานแล้ว โดยจะเป็นการบริโภคตัวดักแด้โดยตรง ต่อมาดักแด้ค่อยๆ ได้รับการตรวจวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อสกัดสารอาหารและสารสำคัญที่มีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ต่างๆ และนำไปใช้ในการดัดแปลงอาหารและการพัฒนายา (Karnjanapratum *et al*., 2022) มีการศึกษาวิจัยการใช้ผงดักแด้ไหมเป็นสารเสริมโปรตีนในอาหารเพื่อสุขภาพ พบว่า การเติมผงดักแด้ไหมจะช่วยเพิ่มรสชาติและกลิ่นรสของอาหารในอาหารเพื่อสุขภาพโดยเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ตัวอย่างเช่น ขนมปัง โยเกิร์ต และวัตถุเจือปนอาหารเพื่อช่วยเพิ่มรสชาติและกลิ่นรส ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อีกด้วย (Ji *et al*., 2022) อย่างไรก็ตาม ดักแด้ไหมยังไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วไป เนื่องจากมีสารก่อภูมิแพ้และมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ดังนั้นยังมีความจำเป็นต้องพิจารณาความปลอดภัยและการยอมรับของดักแด้ไหมอย่างละเอียดมากขึ้นในการทดสอบ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาจำนวนมากพบว่าสารออกฤทธิ์ในดักแด้ไหมมีหน้าที่ทางเภสัชวิทยาหลายอย่าง เช่น ทำหน้าที่ต้านมะเร็ง สารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันตับ ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต่อต้านการตายของเซลล์ และปรับภูมิคุ้มกัน นี่เป็นโอกาสที่กว้างขึ้นสำหรับการใช้ดักแด้ไหม ในอนาคตดักแด้ไหมจะได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพและชีวการแพทย์ เพื่อตอบสนองความต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและยาที่ปลอดภัยของมนุษย์ (Sadat *et al*., 2022) ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการนำดักแด้ไหมมาทำให้อยู่ในรูปแบบของผงแล้วนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารในลำดับต่อไป

ผลิตภัณฑ์ของขบเคี้ยวเป็นที่นิยมบริโภคทั่วโลก การเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของผู้คนและความต้องการอาหารสะดวกซื้อช่วยเพิ่มตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทย รายได้จากกลุ่มอาหารขนมขบเคี้ยวอยู่ที่ประมาณ 137 ล้านเหรียญสหรัฐในปี 2562 ตลาดคาดว่าจะเติบโตร้อยละ 1.2 ต่อปี ตามอัตราการเติบโตต่อปีแบบทบต้นระหว่างปี 2562-2566 (Thunyawanichnondh *et al*., 2020) กระบวนการหลักในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเกี่ยวข้องกับการทอด ปัจจุบันอาหารแปรรูปที่โดยการทอดเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากอาหารจะถูกปรุงสุกอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการทอดยังเพิ่มคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส เช่น สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการทอดเป็นการกระบวนการที่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง เช่น อะคริลาไมด์ เนื่องจากในกระบวนการทอดที่อุณหภูมิสูงของขนมที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง ดังนั้นเทรนด์อาหารผู้บริโภคเพื่อสุขภาพจึงเป็นที่นิยมมากขึ้น และขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพประเภทใหม่ที่มีไขมันต่ำหรือแคลอรี่ต่ำจึงถูกพัฒนาแทนขนมขบเคี้ยวแบบทอดที่มีไขมันสูง (Arora *et al*., 2020) เนื้อไก่เป็นแหล่งโปรตีนจากสัตว์ที่ดีต่อสุขภาพ มีต้นทุนการเลี้ยงที่ต่ำกว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่าเนื้อสัตว์สายพันธุ์อื่นๆ (Dalle Zotte *et al*., 2020) โดยเนื้อไก่ 150 กรัม มีโปรตีนสูงถึง 30 กรัม ในขณะที่มีไขมันต่ำ (Dal Bosco *et al*., 2020) แต่อย่างไรก็ตาม ปี 2561 – 2565 ราคาไก่เนื้อที่เกษตรกรขายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 4.35 ต่อปี โดยในปี 2565 ราคาไก่เนื้อที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ยกิโลกรัมละ 43.75 บาท เพิ่มขึ้นจากกิโลกรัมละ 34.87 บาท ของปี 2564 ร้อยละ 25.47 เนื่องจากมีความต้องการบริโภคเนื้อไก่เพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำผงดักแด้ไหมที่เป็นแหล่งไขมันที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมาประยุกต์

ให้ในทดแทนเนื้อไก่ในผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นอบกรอบ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทดแทนเนื้อไก่ในผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นอบกรอบ รวมถึงศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นอบกรอบ โดยทำการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ และทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.)

วัสดุ อุปกรณ์

การเตรียมผงดักแด้ไหม

ทำโดยนำดักแด้ไหมแช่แข็ง (เทสตี้ไวลด์, สยามแม็คโคร, กรุงเทพ) มาล้างทำความสะอาด นำไปอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 25 Mesh เก็บใส่ถุงอลูเนียมลามิเนตแบบซิปล็อค (ธนกิจ ถาหมี & พนิดา รัตนปติกร, 2554) นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน

วิธีการทดลอง

ศึกษาอัตราส่วนเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ไหมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม

ศึกษาสูตร โดยทดแทนผงดักแด้แทนเนื้อไก่สดในสูตร ซึ่งทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ไหมเป็น 80:0, 60: 20, 40:40 และ 20:60 นำมาผสมกับส่วนผสมและวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 1 จากนั้นทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม โดยนำอกไก่มาปั่นให้ละเอียด แล้วปรุงรสและใส่ผงดักแด้ไหม ปั่นต่อให้เข้ากัน ตักใส่ถุงร้อนขนาด 6x9 นิ้ว จำนวน 25 กรัม คลึงเป็นแผ่นบางๆ นำไปนึ่ง 10 นาที ลอกถุงร้อนออกแล้วแบ่งเป็นชิ้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที พักให้เย็น เก็บใส่ถุงอลูเนียมลามิเนตแบบซิปล็อค (ประกายแก้ว ศุภอักษร และคณะ, 2559) แล้วนำผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ค่าสี ลักษณะทางเนื้อสัมผัส ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้น นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและเคมีของการเตรียมผงดักแด้ จำนวน 3 ซ้ำ มาหาค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One - way ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($p \leq 0.05$)

โปรตีน

ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl (AOAC, 2000) โดยนำตัวอย่างผง 0.5 กรัม ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น ห่อด้วยกระดาษชั่งสารใส่ลงในหลอดย่อย และเติมกรดกำมะถันเข้มข้น 12 มิลลิลิตร เติมคะตะลิส โดยใช้ $CuSO_4$ 0.35 กรัม และ K_2SO_4 6.25 กรัม จากนั้นทำการย่อยที่อุณหภูมิ 420°C จนสารละลายใสปล่อยให้เย็น แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกลั่นด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40% จำนวน 40 มิลลิลิตร เพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ให้กลายเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะถูกกลั่นและดูดซับในสารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) ที่มีตัวอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ ทำการไตเตรตด้วยกรดเกลือมาตรฐาน (HCl 0.1 N) เพื่อหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แล้วคำนวณเป็นปริมาณโปรตีน โดยใช้ค่าคงที่ 6.25 โดยโปรตีน (%) เท่ากับ ไนโตรเจน (%) X 6.25

Table 1 Ingredients of Crispy Chicken Snacks

ingredients	Treatment Mixing ratio (g)			
	1 (Control)	2	3	4
Minced chicken breast	80	60	40	20
Silkworm pupae powder	0	20	40	60
Sugar	6	6	6	6
Soy source	2	2	2	2
Spices	1.5	1.5	1.5	1.5
Salt	0.5	0.5	0.5	0.5

Note: Modified by Aedtem *et al*., (2019).

ไขมัน

ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Soxhhlet (Soxhhlet system) (AOAC, 2000) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม จากการทำความชื้น แล้วห่อด้วยกระดาษ ชั่งสาร ใส่ตัวอย่างลงใน thimble ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำ thimble แล้วถ้วยรองรับไขมันที่อบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในเครื่อง (Extraction collection vessel) apparatus เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ เป็นตัวสกัดปริมาณ 40 มิลลิลิตร ทำการสกัดโดยตั้งเวลาการสกัด 40 นาที เวลาล้าง 20 นาทีและเวลาการระเหย 20 นาที หลังจากนั้นนำถ้วยรองรับไขมันไปอบเพื่อระเหยสารสกัดออกให้หมดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถความชื้นชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณไขมัน

ค่าสี

ทำการวิเคราะห์ค่าสี โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นอบกรอบที่ทำการทดแทนผงดักแด้ไหมต่อเนื้อไก่มาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น UltraScan VIS ประเทศไทย โดยค่า L* หรือค่าความสว่างหมายถึง สว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) ค่า a* (+a = สีแดง, -a = สีเขียว) ค่า b* (+b = สีเหลือง, -b

= สีน้ำเงิน) วัดค่าสี 3 ครั้งต่อ 1 ชิ้นตัวอย่าง (Yampuang & Thawerattanona, 2022) นำค่าสีที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index, BI) โดย BI = 100 × (x - 0.31)/0.172, เมื่อ x = (a* + 1.75L)/(5.645L + a* - 3.012b*)

เนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยนำตัวอย่างไก่แผ่นอบกรอบมาวางบนแท่นของเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส TA-XT plus (STable Micro Systems, Godalming, UK) โดยโหลดเซลล์ 25 กิโลกรัม จากนั้นตัวอย่างจะถูกกดด้วยแท่งกดทรงกระบอก P/50 ด้วยความเร็ว 3 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการจดบันทึกค่าความกรอบที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ (Andreani *et al*., 2020)

ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w)

ทำการหาปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่อง water activity โดยบรรจุตัวอย่างไม่น้อยกว่าครึ่งลงในภาชนะใส่ช่องฝาเครื่องหมุนปุ่มวัดเพื่ออ่านค่ารอจนเครื่องทำงานเสร็จ

ความชื้น

ทำการวิเคราะห์ความชื้นในตัวอย่างด้วยวิธี AOAC (2000) โดยชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ลงในกระป๋องอลูมิเนียมที่อบและชั่งน้ำหนักไว้แล้ว นำเข้าอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักนำเข้าอบ 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.1% นำไปคำนวณหาความชื้นที่มีในตัวอย่าง

ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่แผ่นอบกรอบทดแทนผงดักแด้ไหม

นำสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์จากในขั้นตอนศึกษาอัตราส่วนเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ไหมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมมาศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบโดยวางแผนการทดลองแบบ 2×3 Factorial ซึ่งมีปัจจัย 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส และเวลา 5, 10 และ 15 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าสี ลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และความชื้น

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาหาค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two - way ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($p \leq 0.05$)

ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม

ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงอลูเนียมลามิเนตแบบซิปล็อค เก็บที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดในประเทศไทยในปี 2564 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564) เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 0, 1 และ 2 โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าสี a_w ปริมาณความชื้น ค่า Acid value (A.V.) ค่า Peroxide value (P.V.) วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ ปริมาณเชื้อยีสต์ และรา

ค่า Acid value (A.V.)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม ผสมกับ Methanol 70 มิลลิลิตร ทำการ homogenizer กรองด้วยกระดาษกรอง เติม Phenolphthalein (0.1%) 1 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วย KOH (0.1M) จนเปลี่ยนสีเป็นสีชมพู และคำนวณค่า Acid value

ค่า Peroxide value (P.V.)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม ผสม Hexane 50 มิลลิลิตร ทำการ homogenizer กรองด้วยกระดาษกรอง เติมตัวทำละลายผสม (3:4) 30 มิลลิลิตร คือ Chloroform, Acetic acid เติม KI 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นตั้งไว้ที่มืด 5 นาที เติมน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมน้ำแป้ง 0.5 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วย Sodium thiosulfate 0.1 M ให้สีดำหายไป และคำนวณค่า Peroxide value

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

โดยใช้เทคนิคการ spread plat บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 1วัน

ปริมาณยีสต์ และรา

โดยใช้เทคนิคการ spread plat บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) บ่มจานเพราะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 3-5 วัน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลการวิเคราะห์กายภาพและเคมี โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ผลทางสถิติจากการวางแผนการทดลองแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง (t-test) และเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษา (CRD) Completely Randomized Design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One – way ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผงดักแด้ไหม

Table 2 ผลศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงดักแด้ไหม โดยนำดักแด้ไหมผ่านการทำแห้งเพื่อใช้ในการทดแทนเนื้อไก่ในผลิตภัณฑ์ไก่กรอบองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผงดักแด้ไหม พบว่า ค่าสี L* เท่ากับ 44.44±1.09 ค่าสี a* เท่ากับ 4.65±0.05 ค่าสี b* เท่ากับ 14.29±0.23 ปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.27±0.01 ปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 1.75±0.09 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Niveditha *et al*. (2020) ที่มีค่า ปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.34 ปริมาณความชื้นร้อยละ 1.88 ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 68.42±0.80 ปริมาณไขมัน เท่ากับ 29.43±1.78 โดยมีค่าใกล้เคียงกับผงดักแด้ของ Brogan *et al*. (2021) ที่พบว่าปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันของผงดักแด้เท่ากับร้อยละ 67 และ 30.36 ตามลำดับ

Table 2 Physical and chemical properties of silkworm pupae powder.

Physical and chemical properties		Silkworm pupae powder
Color	L*	44.44±1.09
	a*	4.65±0.05
	b*	14.29±0.23
a_w		0.27±0.01
Moisture content (%)		1.75±0.09
Protein (%)		68.42±0.80
Fat (%)		29.43±1.78

Note: Mean ± standard deviation (SD), a_w: Water Activity

ผลการศึกษาอัตราส่วนเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ไหมของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม ในอัตราส่วน 80:0 (ภาพที่ 1A), 60:20 (Figure 1B), 40:40 (ภาพที่ 1C) และ 60:20 (Figure 1D) (น้ำหนักเนื้อไก่ต่อน้ำหนักผงดักแด้ไหม) จำนวน 4 สูตรตามลำดับ พบว่าสูตรที่ 3 และ 4 มีปริมาณผงดักแด้ไหมที่ทดแทนเนื้อไก่ในปริมาณสูงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแห้งมากเกินไปและไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ไม่สามารถการปั้นและรีดให้เป็นแผ่นได้ เนื่องจากในเนื้อไก่สดนั้นมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 76.42 (Çapan & Bağdatli, 2021) ในขณะที่ผงดักแด้ไหมนั้นมีเพียงร้อยละ 1.75±0.09 แสดงดัง Figure 1 จึงเลือกนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมสูตรที่ 1 และ 2 มาทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมี ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Physical and chemical properties of crispy chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder.

Physical and chemical properties		Treatment 1 (control)	Treatment 2
Color	L*	47.99±0.16^a	39.57±0.88^b
	a*	6.67±0.03^a	6.00±0.40^b
	b*	14.67±0.10^a	11.09±0.56^b
Crispiness (N)		13.50±0.57^a	11.00±0.82^b
a_w ^{NS}		0.41±0.00	0.41±0.00
Moisture content (%)		2.96±0.12^a	2.63±0.08^b
Protein (%)		23.92±0.33^a	22.71±0.57^b
Fat (%)		1.75±0.24^b	7.31±0.63^a

Note: Mean ± standard deviation (SD), In the same row with different superscript letters were significantly different ($p \leq 0.05$) and ^{NS} not significant.

Table 3 ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* ค่าความสว่าง a* ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว และ b* ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน พบว่าเมื่อทดแทนผงดักแด้ไหมในผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นอบกรอบทำให้ ค่า L*, a* และ b* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผงดักแด้ไหมที่ใช้ทดแทนในผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะสีที่เข้มขึ้น ส่วนค่าของความกรอบ และปริมาณความชื้นก็ลดลงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน เนื่องจากผงดักแด้ไหมนั้นมีปริมาณความชื้นต่ำแต่มีไขมันสูง (Mahanta *et al*., 2023) เนื้อสัตว์ที่มีปริมาณมันสูงนั้นจะส่งผลให้มีปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากไขมันในเนื้อสัตว์นั้นจะรวมตัวกับโปรตีน แบบเมทริกซ์ ซึ่งก่อให้เกิดเป็นผนังกั้นการระเหยของน้ำในอาหาร (Kumar, 2021) นอกจากนั้นการมีไขมันในผลิตภัณฑ์สูงจะทำให้ความกรอบลดลง (Lumanlan *et al*., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบปริมาณไขมันในสูตรที่มีการทดแทนเนื้อไก่ด้วยผงดักแด้ไหมจะเห็นได้ว่ามีปริมาณไขมันร้อยละ 7.31±0.63 นอกจากนี้เมื่อทำการทำการศึกษาเรื่องลักษณะและโภชนาการของผลิตภัณฑ์จะพบว่าปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง (Karnjanapratum *et al*., 2022) เนื่องจากในเนื้ออกไก่มีปริมาณไขมันต่ำ (Kang *et al*., 2022) ในขณะที่ผงดักแด้ไหมมีปริมาณไขมันที่สูง (Gwin *et al*., 2021)

Figure 1 Crispy Chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder (before sheet). The figure illustrates four treatments with varying ratios of minced chicken breast to silkworm pupae powder: A; Treatment 1 (80:0), B; Treatment 2 (60:20), C; Treatment 3 (40:40), and D; Treatment 4 (20:60).

ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม

นำสูตรที่เหมาะสมที่อัตราส่วน 60:20 ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากในขั้นตอนศึกษาอัตราส่วนเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ไหมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม มาทำการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมที่อบอุณหภูมิและเวลาต่างกัน ได้แก่ อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส และเวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมี (Table 4) จาก Table 4 ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า อิทธิพลหลักด้านอุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสี L* ค่าความสว่าง a* ค่าความเป็นสีแดง b* ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และค่าความกรอบ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอิทธิพลหลักด้านเวลา ได้แก่ เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่า ค่าสี L* ค่าความสว่าง a* ค่าความเป็นสีแดง b* ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และค่าความกรอบ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้เวลาอบนานขึ้น

อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลา มีผลต่อต่อค่าสี ค่าสี L* ค่าความสว่าง a* ค่าความเป็นสีแดง b* ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าดัชนีสีน้ำตาล และค่าความกรอบ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการอบกรอบทำให้ ค่าสี L* ค่าความสว่าง a* ค่าความเป็นสีแดง b* ค่าความเป็นสีเหลือง และค่าความกรอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีค่ามากที่สุด ซึ่งมีค่าความกรอบ 19.00±2.65 ค่าสี L* เท่ากับ 48.53±0.20 ค่าสี a* เท่ากับ 7.80±0.04 ค่าสี b* เท่ากับ 16.82±0.14 และเนื่องจากเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้นทำให้ค่าสี L* a* และ b* เพิ่มขึ้น เกิดจากปฏิกิริยา Browning reaction ที่ทำให้อาหารเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้นได้ระหว่างการแปรรูป คือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) กับกรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา โดยผลิตผลที่ได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นสารประกอบหลายชนิด ที่ให้สีน้ำตาลและกลิ่นรสต่างๆ ทั้งที่พึงประสงค์ และไม่พึงประสงค์ (Murata, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Browning Index ที่ตรวจวัดได้

Table 4 Physical properties of crispy chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder.

Treatments		Color			Browning Index	Crispiness (N)
L*		a*	b*			
Temperature (ºC)	130	40.70±1.00^{b}	5.30±1.10^{b}	11.81±1.42^{b}	0.38±0.01^{b}	5.11±6.19^{b}
	150	44.48±3.85^{a}	6.28±1.51^{a}	13.75±2.99^{a}	0.39±0.01^{a}	10.56±7.83^{a}
Time (min)	5	39.67±0.57^{c}	4.17±0.05^{c}	10.00±0.46^{c}	0.37±0.01^{c}	1.17±0.41^{c}
	10	43.14±2.26^{b}	6.06±0.65^{b}	13.43±1.07^{b}	0.39±0.01^{b}	6.33±5.57^{b}
	15	44.48±4.97^{a}	7.14±0.73^{a}	14.91±2.10^{a}	0.40±0.01^{a}	16.00±4.34^{a}
130ºC	5 min	39.55±0.35^{d}	3.96±0.04^{e}	9.94±0.11^{e}	0.37±0.01^{c}	1.00±0.00^{c}
130ºC	10 min	41.17±0.70^{c}	5.47±0.04^{c}	12.48±0.18^{d}	0.39±0.01^{b}	1.33±0.58^{c}
130ºC	15 min	41.38±0.18^{c}	6.47±0.02^{b}	13.00±0.08^{c}	0.39±0.01^{b}	11.33±0.94^{b}
150ºC	5 min	39.80±0.62^{d}	4.39±0.22^{d}	10.06±0.58^{e}	0.37±0.01^{c}	1.33±0.58^{c}
150ºC	10 min	45.11±0.51^{b}	6.65±0.12^{b}	14.38±0.30^{b}	0.39±0.01^{b}	11.33±1.53^{b}
150ºC	15 min	48.53±0.20^{a}	7.80±0.04^{a}	16.82±0.14^{a}	0.40±0.01^{a}	19.00±2.65^{a}

Note: Mean ± standard deviation (SD), In the same column with different letter were significantly different ($p \leq 0.05$).

จาก Table 5 ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี อิทธิพลหลักด้านอุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า a_w และค่าความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอิทธิพลหลักด้านเวลา ได้แก่ เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่า ค่า a_w และค่าปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อใช้เวลาอบนานขึ้น

Table 5 Chemical properties of crispy chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder.

Treatments		a_w	Moisture content (%)
Temperature (ºC)	130	0.63±0.14[a]	4.42±2.18[a]
	150	0.53±0.16[b]	3.25±2.16[b]
Time (min)	5	0.77±0.02[a]	6.60±0.64[a]
	10	0.52±0.10[b]	2.87±0.99[b]
	15	0.44±0.04[c]	2.05±0.44[c]
130ºC	5 min	0.80±0.01[a]	7.13±0.10[a]
130ºC	10 min	0.60±0.01[c]	3.73±0.17[c]
130ºC	15 min	0.48±0.01[d]	2.41±0.21[d]
150ºC	5 min	0.75±0.01[b]	6.03±0.06[b]
150ºC	10 min	0.43±0.01[e]	2.02±0.02[e]
150ºC	15 min	0.41±0.01[e]	1.69±0.12[e]

Note: Mean ± standard deviation (SD), In the same column with different letter were significantly different ($p\leq0.05$).

อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลา พบว่า ค่า a_w และปริมาณความชื้น ลดลงเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เวลาอบนานขึ้น เนื่องจากความร้อนระหว่างการอบทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ไปที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ และนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในชิ้นผลิตภัณฑ์ ระหว่างการอบยังมีการถ่ายเทมวลออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์น้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกไป เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (Labuza & Altunakar, 2020) (Table 5)

จากการผลการทดสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพ (Table 4, 5) แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะการอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่า browning index อยู่ในระดับต่ำในขณะที่ค่า crispiness อยู่ในเกณฑ์ที่สูง ในขณะที่ค่าสีอยู่ในระดับปานกลาง และในส่วนของค่า a_w และความชื้นอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นจึงทำการเลือกสภาวะการอบนี้ไปใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมในลำดับถัดไป

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 คือสูตร control และสูตรที่ 2 มาทำการทดสอบอายุการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ แสดงผลดัง Table 6

จาก Table 6 ผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* ค่าความสว่าง a* ค่าความเป็นสีแดง และ b* ค่าความเป็นสีเหลือง พบว่าในแต่ละสัปดาห์ผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมทั้งสองสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหมสูตรที่ 1 มีค่า L* a* และ b* มากกว่าสูตรที่ 2 ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ผ่านเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยค่าสี L* a* และ b* ค่าสี L* เท่ากับ 45.08±2.19และ37.71±1.38 ค่าสี a* เท่ากับ 6.77±0.54 และ 6.04±0.44 ค่าสี b* เท่ากับ 13.90±1.16 และ 10.99±0.51 เนื่องจากในสูตรที่ 2 นั้นมีปริมาณไขมันที่สูงกว่าเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่เข้มขึ้น (Dey & Nagababu, 2022) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่มีในผลิตภัณฑ์ร่วมกับอุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา (Iqdiam *et al*., 2020)

Table 6 Physical properties of crispy chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder during shelf life at 42 ºC.

Weeks	Color					
	L*		a*		b*	
	Treatment 1^{NS}	Treatment 2^{NS}	Treatment 1^{NS}	Treatment 2^{NS}	Treatment 1^{NS}	Treatment 2^{NS}
0	45.95±0.56^{a}	40.84±0.11^{b}	6.57±0.07^{a}	6.22±0.23^{a}	14.49±0.13^{a}	11.10±0.58^{b}
1	44.61±0.53^{a}	38.62±0.81^{b}	6.47±0.45^{b}	7.03±1.14^{a}	14.71±1.16^{a}	12.60±1.83^{b}
2	45.08±2.19^{a}	37.71±1.38^{b}	6.77±0.54^{a}	6.04±0.44^{b}	13.90±1.16^{a}	10.99±0.51^{b}

Note: Mean ± standard deviation (SD), In the same row with different letter were significantly different ($p \leq 0.05$) by treatment. ^{NS} in the same column were not significantly different ($p>0.05$) by period times,

Table 7 Chemical properties of crispy chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder during shelf life at 42 ºC.

Weeks	a_w		Moisture content (%)	
	Treatment 1^{NS}	Treatment 2	Treatment 1	Treatment 2
0	0.42±0.02^{a}	0.33±0.02^{bB}	1.57±0.04^{aB}	0.95±0.02^{bB}
1	0.44±0.03^{a}	0.38±0.02^{bA}	1.59±0.08^{aB}	1.03±0.08^{bB}
2	0.44±0.01^{a}	0.41±0.03^{bA}	2.03±0.10^{aA}	1.45±0.07^{bA}

Note: Mean ± standard deviation (SD), In the same row with different letter (small letters) were significantly different ($p \leq 0.05$) by treatment. In the same column with different letter (capital letters) were significantly different ($p \leq 0.05$) and ^{NS} in the same column were not significantly different ($p>0.05$) by period time.

Table 7 เป็นการแสดงผลการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ค่า a_w และปริมาณความชื้น พบว่าค่า a_w และความชื้นนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นทดแทนผงดักแด้ไหม ยังไม่เกิน 0.6 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และปริมาณความชื้นอยู่ในระดับที่เชื้อไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Tapia *et al*., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบขนมอบกรอบจากแป้งสาลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 300 วัน มีปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษา (Kosegarten *et al*., 2022) อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำน้อยเป็น monolayer water เมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็น multilayer adsorption และดูดซับน้ำเข้าไปในรูเล็กๆ ทำให้เกิดการละลายของตัวถูกละลายได้ (Lin *et al*., 2020) น้ำจะถูกจับให้อยู่ในอาหารโดยวิธีทางกล ทำ ให้ค่า a_w เพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w

Table 8 Chemical properties of crispy chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder during shelf life at 42 ºC.

Weeks	Acid value (mg/KOH/kg sample)		Peroxide value (mg Peroxide/kg sample)	
	Treatment 1	Treatment 2^{NS}	Treatment 1	Treatment 2
0	0.22±0.01^{bB}	0.64±0.23^{a}	2.00±0.01^{bB}	4.00±0.01^{aB}
1	0.37±0.64^{bA}	0.71±0.65^{a}	7.33±2.31^{bA}	10.00±2.00^{aA}
2	0.49±0.13^{bA}	0.86±0.06^{a}	8.00±2.00^{bA}	10.00±2.00^{aA}

Note: Mean ± standard deviation (SD), In the same row with different letter (small letters) were significantly different ($p \leq 0.05$) by treatment. In the same column with different letter (capital letters) were significantly different ($p \leq 0.05$) and ^{NS} in the same column were not significantly different ($p>0.05$) by period time.

จาก Table 8 Acid value (A.V.) และ ค่า Peroxide value (P.V.) สูตรที่ 1 มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากสูตรที่ 2 มีการทดแทนผงดักแด้ไหมในผลิตภัณฑ์จึงมีปริมาณไขมันมากกว่า ทำให้ ค่า Acid value (A.V.) และ ค่า Peroxide value (P.V.) มากกว่า สูตรที่ 1 ที่เป็นสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 0 ของการเก็บรักษา เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ค่า A.V. และ ค่า P.V. เพิ่มขึ้น ทั้ง 2 สูตร ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารในเทอมของการเกิด hydrolytic rancidity และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประสาทสัมผัส ทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษาสั้น และผู้บริโภคไม่ให้การยอมรับ (Othón-Díaz *et al*., 2023) จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์โดยหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ รา ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตร ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ได้ผลดัง Table 9

Table 9 Biological properties of crispy chicken snacks with replaced chicken meat by silkworm pupae powder during shelf life at 42 ºC.

Weeks	Total Plate Count (CFU/g)		Yeast and Mold (CFU/g)	
	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 1	Treatment 2
0	$0.36x10^2$	$0.31x10^2$	<25	<25
1	$0.38x10^2$	$0.34x10^2$	<25	<25
2	$0.41x10^2$	$0.35x10^2$	<25	<25

จาก Table 9 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม สูตรที่ควบคุมและสูตรที่ทดแทนเนื้อไก่ด้วยผงดักแด้ไหมนั้น พบว่า ผลการทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ของทั้ง 2 สูตร เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนหมูแผ่นเลขที่ มผช. 100/2553 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) ที่กำหนด โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ ยีสต์ รา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

สรุปผล

การศึกษาอัตราส่วนเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ไหมในผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม พบว่าสูตรที่เหมาะสมในการผลิตนั้นได้แก่สูตรที่ 2 ที่อัตราส่วนเนื้อไก่ต่อผงดักแด้ 60:20 จากนั้นทำการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมี พบว่า ค่า a_w ค่าสี L* a* b* ความกรอบ ความชื้น โปรตีน และไขมัน มีค่าเท่ากับ ส่วนการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบผลิตภัณฑ์ไก่แผ่นอบกรอบทำการทดแทนผงดักแด้ไหม โดยการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่า อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 15 นาที มีค่า a_w (0.48±0.01) และความชื้น (ร้อยละ 2.41±0.21) อยู่ในระดับที่เชื้อไม่สามารถเจริญเติบโตได้ สุดท้ายนี้เมื่อการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่กรอบทดแทนผงดักแด้ไหม โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์นั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนหมูแผ่นเลขที่ มผช. 100/2553 ดังนั้นสามารถนำผงดักแด้ไหมไปเพื่อใช้ทดแทนหรือประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ นอกจากนั้นยังเป็นการบรรลุความยั่งยืนในด้านอาหารและความมั่นคงทางเศรษฐกิจอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษา อาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก และสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัย ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2564). *สรุปสภาวะอากาศทั่วไปในรอบปี พ.ศ. 2564*. สืบค้นจาก https://www3.tmd.go.th/climate/summaryyearly

ธนกิจ ถาหมี, และพนิดา รัตนปติกร. (2554). ชนิดของตัวทำละลาย สภาวะในการสกัดและสมบัติของน้ำมันจากดักแด้ไหมอีรี่. *วารสารเกษตร*, *27*(1), 59-68.

ประกายแก้ว ศุภอักษร, กมลทิพย์ ทองสุข, และรูฮานา วามุ. (2559). *ไก่กอและแผ่นอบกรอบ*. Thai Invention. สืบค้นเมื่อ 28 พฤศจิกายน 2564, จาก http://www.thaiinvention.net

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กองบริหารมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2548). *ปลาแผ่นกรอบ*. กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *สถานการณ์และแนวโน้ม "ไก่เนื้อ" ปี 2566 ไทยและต่างประเทศ*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Aedtem, P., Yamirudeng, K. R., & Sukjuntra, J. (2019). Product development of fish chips from Goldstripe sardinella (*Sardinella gibbosa*). *YRU Journal of Science and Technology, 4*(2), 113–121.

AOAC. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). The Association of Official Analytical Chemists.

Andreani, P., de Moraes, J. O., Murta, B. H., Link, J. V., Tribuzi, G., Laurindo, J. B., Paul, S., & Carciofi, B. A. (2020). Spectrum crispness sensory scale correlation with instrumental acoustic high-sampling rate and mechanical analyses. *Food Research International, 129*, 108886. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108886

Arora, M., Singhal, S., Rasane, P., Singh, J., Kaur, S., Kumar, V., Kumar, A., & Mishra, A. (2020). Snacks and snacking: Impact on health of the consumers and opportunities for its improvement. *Current Nutrition & Food Science, 16*(7), 1028–1043. https://doi.org/10.2174/1573401316666200130110357

Astuti, D. A., & Komalasari, K. (2020). Feed and animal nutrition: Insect as animal feed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 465*(1), Article 012002. https://doi.org/10.1088/1755-1315/465/1/012002

Brogan, E. N., Park, Y. L., Matak, K. E., & Jaczynski, J. (2021). Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. *LWT - Food Science and Technology, 152*, Article 112314. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112314

Çapan, B., & Bağdatli, A. (2021). Investigation of physicochemical, microbiological and sensorial properties for organic and conventional retail chicken meat. *Food Science and Human Wellness, 10*(2), 183–190. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.02.007

Dal Bosco, A., Cartoni Mancinelli, A., Vaudo, G., Cavallo, M., Castellini, C., & Mattioli, S. (2022). Indexing of fatty acids in poultry meat for its characterization in healthy human nutrition: A comprehensive application of the scientific literature and new proposals. *Nutrients, 14*(15), 3110. https://doi.org/10.3390/nu14153110

Dalle Zotte, A., Gleeson, E., Franco, D., Cullere, M., & Lorenzo, J. M. (2020). Proximate composition, amino acid profile, and oxidative stability of slow-growing indigenous chickens compared with commercial broiler chickens. *Foods, 9*(5), 546. https://doi.org/10.3390/foods9050546

Dey, S., & Nagababu, B. H. (2022). Applications of food color and bio-preservatives in the food and its effect on the human health. *Food Chemistry Advances, 1*, 100019. https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100019

Gwin, J. A., Carbone, J. W., Rodriguez, N. R., & Pasiakos, S. M. (2021). Physiological limitations of protein foods ounce equivalents and the underappreciated role of essential amino acid density in healthy dietary patterns. *The Journal of Nutrition, 151*(11), 3276–3283. https://doi.org/10.1093/jn/nxab262

Habib, M. A., Chowdhury, A. I., Alam, M. R., & Rahman, T. (2023). Commercially available iodized salts in Noakhali, Bangladesh: Estimation of iodine content, stability, and consumer satisfaction level. *Food Chemistry Advances, 2*, 100294. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100294

Iqdiam, B. M., Welt, B. A., Goodrich-Schneider, R., Sims, C. A., Baker, G. L., IV, & Marshall, M. R. (2020). Influence of headspace oxygen on quality and shelf life of extra virgin olive oil during storage. *Food Packaging and Shelf Life, 23*, 100433. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100433

Ji, Y., Xu, L., Xu, Q., Liu, X., Lin, S., Liao, S., Wang, W., & Lan, D. (2022). Synthesis and characterization of epoxidized silkworm pupae oil and its application as polyvinyl chloride plasticizer. *Applied Biochemistry and Biotechnology, 194*(9), 4366–4378. https://doi.org/10.1007/s12010-021-03715-5

Kang, K. M., Lee, S. H., & Kim, H. Y. (2022). Effects of using soybean protein emulsion as a meat substitute for chicken breast on physicochemical properties of Vienna sausage. *Food Science of Animal Resources, 42*(1), 73–85. https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e63

Karnjanapratum, S., Konpetch, P., Sylvia, L., Pinthong, K., & Tokue, S. (2022). Characteristics and nutritional value of silkworm (*Bombyx mori*) pupae fortified chicken bread spread. *Scientific Reports, 12*(1), 1492. https://doi.org/10.1038/s41598-022-05462-x

Kosegarten, C. E., Ramírez-Corona, N., López-Malo, A., & Mani-López, E. (2022). Wheat-based fried snacks shelf-life prediction using kinetic, probabilistic, and time-to-fail models. *Journal of Food Processing and Preservation, 46*(5), e16548. https://doi.org/10.1111/jfpp.16548

Kumar, Y. (2021). Development of low-fat/reduced-fat processed meat products using fat replacers and analogues. *Food Reviews International, 37*(3), 296–312.

Labuza, T. P., & Altunakar, B. (2020). Water activity prediction and moisture sorption isotherms. In *Water activity in foods: Fundamentals and applications* (pp. 161–205).

Tapia, M. S., Alzamora, S. M., & Chirife, J. (2020). Effects of water activity (aw) on microbial stability as a hurdle in food preservation. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana Jr., S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water activity in foods: Fundamentals and applications* (pp. 239–271). Wiley-Blackwell.

Udomsil, N., Jangchud, A., & Jangchud, K. (2020). Development of snack products from silkworm pupae (Bombyx mori) and cassava starch. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 41(3), 647–653. https://doi.org/10.34044/j.kjss.2020.41.3.17

Zielińska, E., Baraniak, B., & Karaś, M. (2018). Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. *LWT - Food Science and Technology*, 91, 168–174. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.055