

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้ Functional Drink from Edible Insects' Protein Concentrate

ศุภฤชญา เหมะจุลิน¹ และ ศศิณี กันยาบุญ^{2*}

Sukrichaya Hemathulin¹ and Sasinee Kunyaboon^{2*}

¹สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สกลนคร 47160 ประเทศไทย

²สาขาวิชาการประกอบอาหารและการจัดการครัว คณะเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
อุดรธานี 41000 ประเทศไทย

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of
Technology Isan, Sakon Nakhon Campus, Sakon Nakhon 47160, Thailand

²Department of Culinary and Kitchen Management, Faculty of Technology and Engineering,
Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani 41000, Thailand

*E-mail: sasinee2011@gmail.com

Received: Jun 23, 2025

Revised: Jan 04, 2026

Accepted: Jan 08, 2026

บทคัดย่อ

แนวโน้มการดูแลสุขภาพของผู้บริโภคในปัจจุบันส่งผลให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันโดยเฉพาะโปรตีนเข้มข้นจากแมลงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากแมลง โดยศึกษาอัตราส่วนแมลงกินได้ที่เหมาะสม 3 ชนิด ได้แก่ จิ้งหรีด (ร้อยละ 40-50), สะตัง (ร้อยละ 30-40) และดักแด้ไหมอี่รี (ร้อยละ 10-20) ในการสกัดโปรตีนภายใต้ความดันในสภาวะกึ่งวิกฤต (pressurized hot water extraction) ด้วยหม้อต้มความดัน (pressure cooker) อาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) และการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behken โดยใช้อุณหภูมิในการต้มภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤตที่ 126 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที สภาวะที่ดีที่สุดคือ ใช้ส่วนผสมของจิ้งหรีด สะตัง และดักแด้ไหมอี่รี ร้อยละ 45.27, 39.82 และ 20 ให้ปริมาณโปรตีนร้อยละ 17.95 ให้คะแนนความชอบรวม 7.52 คะแนน จากกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องพบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากกระบวนการหาสภาวะที่เหมาะสมมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่สูง โดยมีค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมพัทธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองและค่าที่ทดลองวัดได้จริงสำหรับค่าโปรตีน เท่ากับ 6.40 จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ไปทำให้เข้มข้นขึ้นเท่าตัวด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ปั่นแต่งสีและเนื้อสัมผัส เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้ ที่มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 35.15

คำสำคัญ: แมลงกินได้ การสกัดโปรตีนด้วยน้ำภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤต วิธีพื้นผิวตอบสนอง

Abstract

Current trends in consumer health awareness have led to widespread interest in the development of functional food products, particularly insect-derived protein concentrates. The objective of this research was to study the appropriate conditions for extracting protein from edible insects. The optimum ratio of three types of edible insects, including crickets (40-50%), house crickets (30-40%), and Eri silkworm pupae (10-20%), was studied for protein extraction under pressure in sub-critical conditions (pressurized hot water extraction) with a pressure cooker. The analysis of response surface method (RSM) and Box-Behken design experimental, using boiling temperature under subcritical conditions at 126°C for 45 minutes. The optimum condition was using the mixture

of crickets, house crickets, and Eri silkworm pupae, 45.27, 39.82, and 20%, giving a protein content and overall preference score were 17.95% and 7.52 score respectively. From the validation process, it was found that the model created from the process of finding the appropriate conditions had a high level of accuracy. The relative average deviations between the predicted values from the model and the actual experimentally measured values for total edible insect protein were 6.40. The extracted protein solution was evaporated to a half of the concentration using a vacuum evaporator. Improve the quality of color and texture for accepted by consumers. The protein content of concentrated protein functional drink product from edible insects was 35.15%.

Keywords: Edible insects, Pressurized hot water protein extraction, Response surface methodology

1. บทนำ

ความมั่นคงทางอาหารมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงของทุกประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะภาวะการณปัจจุบันที่ขาดเสถียรภาพในหลายด้าน ทั้งด้านเศรษฐกิจ ระบบนิเวศน์ และสิ่งแวดล้อม [1] ตลอดจนประเด็นปัญหาความแห้งแล้งภัยพิบัติ และโรคติดต่อร้ายแรง COVID-19 [2] รวมถึงสภาพสังคมในหลายประเทศเกิดการขยายขนาดของจำนวนประชากรมากขึ้น ซึ่งคาดการณ์ว่า ในปี 2050 ประชากรบนโลกอาจเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 65 [3] ความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นสร้างความกังวลเดือดร้อนให้ทั่วโลก โดยเฉพาะสารอาหารประเภทโปรตีน ซึ่งโปรตีนหลักของมนุษย์ คือ เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ จากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกดังกล่าว อาจทำให้ความต้องการในการบริโภคเพิ่มขึ้นถึง 200 ล้านตันต่อปี [4] ในปี พ.ศ. 2556 องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้เริ่มส่งเสริมให้แมลงเป็นแหล่งอาหารใหม่ (Novel food) [5] ทำให้ปัจจุบันแมลงได้รับความนิยมและถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหาร เพื่อรับประทานอย่างแพร่หลาย สารอาหารหลักที่พบปริมาณมากในแมลงคือโปรตีน Amarendera et al. [6] รายงานว่าแมลงมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 13-77 ของน้ำหนักแห้ง มีกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งไขมันที่สำคัญ มีปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 10-60 ของน้ำหนักแห้ง ประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ กรดไลโนเลอิก (Linoleic), กรดโอเลอิก (Oleic) และกรดอัลฟา-ไลโนเลอิก (α -Linolenic acid) ในระดับค่อนข้างสูง โปรตีนจากแมลงยังได้รับการยอมรับว่าเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง มีคุณสมบัติทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านการอักเสบ [7]

การพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดโปรตีนที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยการสกัดโปรตีนในสภาวะกึ่งวิกฤติ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 100-374 องศาเซลเซียส

และความดันอยู่ในช่วง 0.10 Mpa ถึง 22 Mpa ภายใต้สภาวะดังกล่าว น้ำมีสถานะทั้งของเหลว ก๊าซ และของไหลวิกฤติยิ่งยวด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้น้ำมีความตึงผิวและความหนืดลดลง เพิ่มความสามารถในการแทรกซึมของสารสกัดน้ำลงในโครงสร้างที่ต้องการสกัดและเพิ่มความสามารถในการละลายขององค์ประกอบในสารสกัด นอกจากนี้ภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติผลิตภัณฑ์ไอออนของน้ำจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 1×10^3 เท่าของน้ำที่อุณหภูมิห้อง ยิ่งไปกว่านั้นค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) ของน้ำใต้วิกฤติจะลดลงทำให้มีคุณสมบัติในการสกัดใกล้เคียงกับสารอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดสารสำคัญทั่วไป เช่น เอทานอล และเมทานอล [8], [9]

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือสกัดโปรตีนจากแมลง 3 ชนิดที่ได้รับความนิยมในการบริโภค ได้แก่ จิ้งหรีด (Crickets) สะตอ (House crickets) และดักแด้ไหมอีรี่ (Eri silkworm pupae) เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากแมลง โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแมลงในการสกัดโปรตีนภายใต้ความดันในสภาวะกึ่งวิกฤติ (Pressurized hot water extraction) ด้วยหม้อหุงความดัน (Pressure cooker) จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ไปทำให้เข้มข้นขึ้นเท่าตัวด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จนได้ปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 บรรจุถุง และเนื้อสัมผัส เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้ต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณค่าโภชนาการของวัตถุดิบแมลง

นำจิ้งหรีด สะตอ และดักแด้ไหมอีรี่ ที่เลี้ยงในเขตพื้นที่อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบแมลงทั้ง 3 ชนิด โดยนำแมลงสดไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w)

ต่ำกว่า 0.6 (ใช้เวลาในการอบแห้งนาน 12 ชั่วโมง) บดละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (Sample mill) รุ่น Polymix Px-MFC 90 D (Kinematica AG) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ในอาหาร เถ้า ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสี [10]

2.2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีดด้วยวิธีการการต้มภายใต้ความดันในสภาวะกึ่งวิกฤติ

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีดด้วยวิธีการนึ่งภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ ศึกษาปัจจัยที่มีผล 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณจิ้งหรีด (ร้อยละ 40-50) สะดุ้ง (ร้อยละ 30-40) และดักแด้ไหมอีรี (ร้อยละ 10-20) หาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง Response Surface Methodology (RSM) และออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) ดังแสดงใน Table 1 เพื่อเลือกสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีด

การทดลองนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) และออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) สำหรับ 3 ปัจจัย จำนวนทั้งสิ้น 17 สิ่งทดลอง โดยทำการทดลองตำแหน่งกึ่งกลาง (Number of central points, C_0) จำนวน 5 ซ้ำ ผลการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลางจะถูกนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Statistical package (Design expert version 13) เพื่อหาความเหมาะสมของรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Second-order polynomial model) และสร้าง Response surface plot และหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปร รวมทั้งเลือกใช้ Second-order polynomial model เพื่อทำนายจุดที่เหมาะสมของค่าตอบสนอง

นำแมลงสดมาล้างทำความสะอาด ทั้งให้สะอาด น้ำ

ซังน้ำหนักตามอัตราส่วนในแต่ละสิ่งทดลอง บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ เติมน้ำในอัตราส่วนแมลงต่อน้ำ 1:10 จากนั้นปั่นให้เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ต้มภายใต้ความดันที่สภาวะกึ่งวิกฤติที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที นำสารละลายที่ได้ไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นกรองตะกอนด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น นำไปโฮโมจีไนส์ (Homogenized) ด้วยความเร็วรอบ 1,500 rpm นาน 3 นาที ได้เป็นสารละลายโปรตีน

2.3. วิเคราะห์คุณภาพของสารละลายโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method [10] และศึกษาความชอบโดยรวมโดยการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส 9-point Hedonic scale

2.4. ผลิตภัณฑ์กึ่งผงโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้

นำสารละลายโปรตีนที่ผลิตตามสภาวะที่เหมาะสมที่เลือกได้จากข้อ 2.2. เข้าสู่ขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มกึ่งผงโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้ โดยนำสารละลายโปรตีนที่ได้ไปทำให้เข้มข้นขึ้นเท่าตัวด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน [10] จนได้ปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ปรับปรุงคุณภาพด้านค่าสีและเนื้อสัมผัสด้วยการเติมสีคาราเมล (Caramel) และแซนแทนกัม (Xanthan gum) ตามลำดับ

2.5. จริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับรองการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2568 เลขที่ อว 0622.7/162

Table 1 Variables and levels of variables used in the optimization study using Box-Behnken Design

Independent variable	Code	Level		
		-1	0	+1
crickets	X_1	40	45	50
House crickets	X_2	30	35	40
Silkworm pupae	X_3	10	15	20

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณค่าโภชนาการของวัตถุดิบแมลง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบอาหารจากจิ้งหรีด สะตัง และดักแด้ไหมอีรี่ พบว่าให้ผลดังแสดงใน Table 2

องค์ประกอบทางอาหารของจิ้งหรีด สะตัง และดักแด้ไหมอีรี่ ใน 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต แสดงใน Table 2 โดยพบว่าตัวอย่างแห้งของจิ้งหรีด สะตัง และดักแด้ไหมอีรี่ 100 กรัม ให้ร้อยละของโปรตีน เท่ากับ 60.35, 59.70 และ 55.48 ตามลำดับ ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองของ Sihamala et al. [11] ซึ่งพบว่าจิ้งหรีด มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 53.4, 25.4, 3.8 และ 17.4 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สะตัง

มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 59.7, 23.8, 4.6 และ 11.9 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และดักแด้ไหม มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 38.9, 28.9, 3.1 และ 29.2 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยให้ผลการทดลองแตกต่างออกไปเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลการทดลองของ Jino and Surawang [12] ที่ศึกษาองค์ประกอบโดยประมาณของจิ้งหรีด 3 สายพันธุ์ ได้แก่ จิ้งหรีดทองแดงลาย จิ้งโกร่ง และจิ้งหรีดทองมาเลย์ พบว่ามีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต อยู่ระหว่างร้อยละ 62.11-68.97, 16.12-25.64, 3.36-4.48 และ 1.13-1.55 ตามลำดับ ปริมาณสารอาหารที่อยู่ในแมลงมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น สายพันธุ์ ชนิดของอาหาร สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาในการเจริญเติบโต เป็นต้น [13]

Table 2 Physico-chemical property and nutritional composition of edible insects in 100 g

Physico-chemical property and nutritional composition	Crickets	House crickets	Silkworm Pupae
Moisture content (%)	8.31±0.17	8.27±0.11	7.89±0.21
Protein (g)	60.35±0.20	59.70±0.18	55.48±0.37
Fat (g)	27.46±0.19	26.89±0.24	25.21±0.29
Carbohydrate (g)	3.88±0.15	3.72±0.09	3.53±0.06
Fiber (g)	6.85±0.05	8.68±0.15	9.32±0.15
Ash (g)	4.68±0.26	3.84±0.26	3.03±0.31
Water activity (a_w)	0.65±0.02	0.61±0.01	0.68±0.01
Color			
L*	27.14±0.42	41.68±0.28	37.04±0.47
a*	34.17±0.08	5.47±0.18	9.61±1.31
b*	25.17±0.28	30.27±0.10	37.58±1.28
C*	10.32±0.26	16.59±0.17	21.59±0.11
°h	64.66±0.70	76.12±0.25	71.19±0.59

3.2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากแมลงด้วยวิธีการสกัดภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ

จากแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างจิ้งหรีด สะตัง และดักแด้ไหมอีรี่ ต่อปริมาณโปรตีนและความชอบรวมจากผู้ทดสอบชิม โดยเมื่อนำค่าร้อยละโปรตีนและคะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิม มาวิเคราะห์ความถดถอยและความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Design expert version 13) ได้สมการ Second order polynomial ที่มีค่า $p < 0.05$ โดยสามารถเขียนแสดงสมการเต็มรูปแบบที่ใช้แสดงความสัมพันธ์

ระหว่างปัจจัยในอัตราส่วนต่อปริมาณโปรตีนและคะแนนความชอบโดยรวม ดังแสดงใน Table 3

สมการทั้ง 2 ให้ค่า Lack of Fit เท่ากับ 0.0501 และ 0.0530 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 (Not significant) บ่งชี้ว่าสมการที่ได้มีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้อธิบายค่าความแปรปรวนของร้อยละของโปรตีนและคะแนนความชอบรวมที่สัมพันธ์กับปัจจัย เช่น ปริมาณแมลงทั้งสามชนิด ส่วนค่า R^2 ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.8447 และ 0.8991 และให้ค่า p-value เท่ากับ 0.0025 และ 0.0092 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.05 (Significant) บ่งชี้ว่าสมการที่ได้เหมาะสมในการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัย

Table 3 Second order equations from regression coefficients analysis and variance

	Protein content (%)	Overall preference score
Regression equation	$Y_1 = -30.2857 + 1.2198(X_1) + 0.4423(X_2) + 0.1234(X_3) + 0.0018(X_1X_2) - 0.0035(X_1X_3) + 0.0012(X_2X_3) - 0.0135(X_1^2) - 0.0096(X_2^2) - 0.0107(X_3^2)$	$Y_2 = -30.2858 + 1.2199(X_1) + 0.4423(X_2) + 0.1236(X_3) + 0.0018(X_1X_2) - 0.0035(X_1X_3) + 0.0120(X_2X_3) - 0.0135(X_1^2) - 0.0096(X_2^2) - 0.0107(X_3^2)$
p-value	0.0025	0.0092
Lack of Fit	0.0501	0.0530
R ²	0.8447	0.8991

Statistically significant terms with a confidence level of 95%

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจากสมการ Y_1 และ Y_2 (Table 3) สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มี

ผลต่อร้อยละของโปรตีนและคะแนนความชอบรวม ดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2

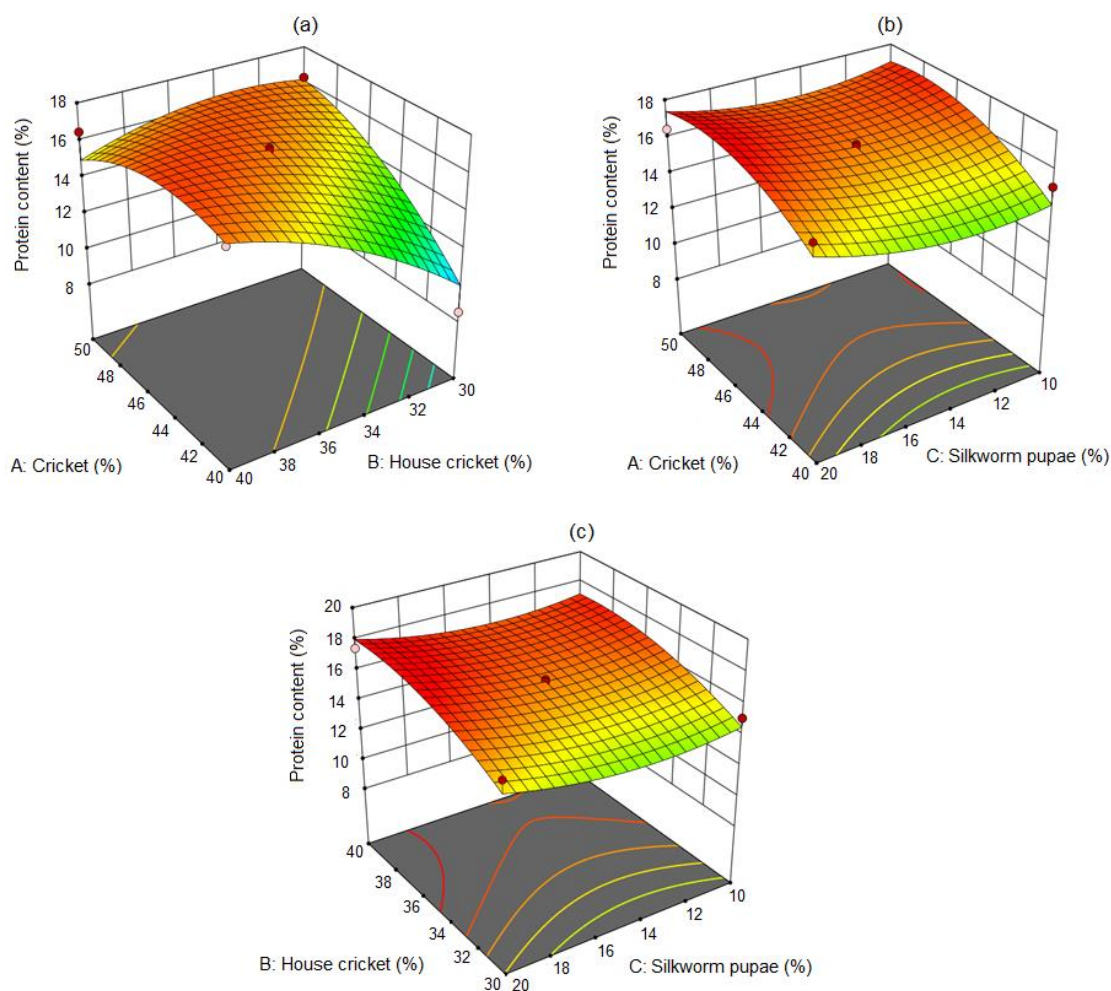


Figure 1 Response surface plot showing effect of amounts of edible insects used in protein extraction on extracted protein content

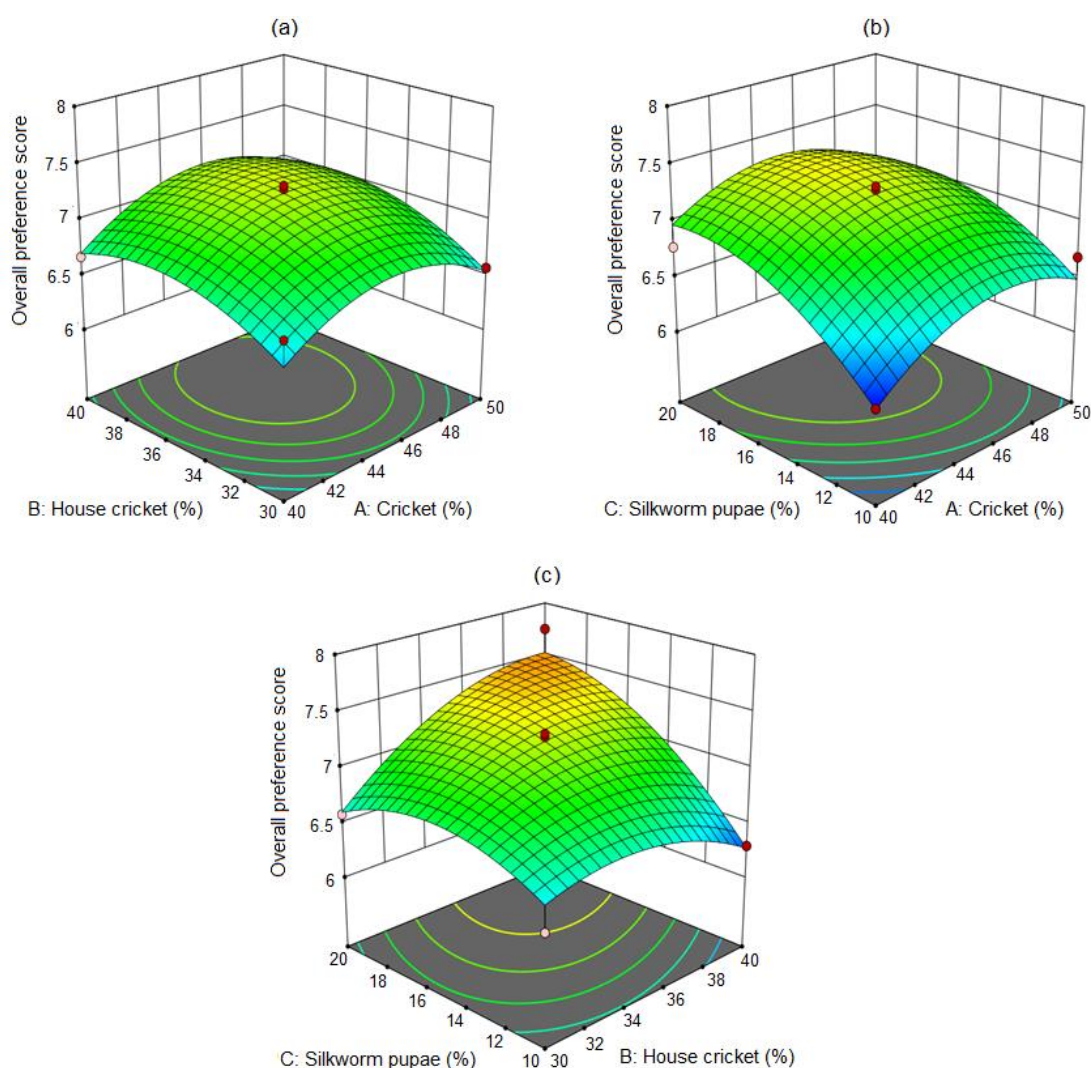


Figure 2 Response surface plot showing effect of amounts of edible insects used in protein extraction on overall preference scores on extracted proteins

จาก Figure 1 (a) พบว่า กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของปริมาณจิ้งหรีดและปริมาณสะตัง โดยกำหนดให้ระดับของปริมาณดักแด้ไหมอีรู่อยู่ที่ระดับกลาง พบว่าการใช้ปริมาณจิ้งหรีดในช่วง ร้อยละ 40-48 ร่วมกับปริมาณสะตังในช่วง ร้อยละ 38-40 ทำให้ได้ปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาที่ระดับของตัวแปรระหว่างปริมาณจิ้งหรีดและปริมาณดักแด้ไหมอีรู่ที่ช่วง 40-48 และ 18-20 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ระดับของปริมาณสะตังอยู่ที่ระดับกลาง ดังแสดงใน Figure 1 (b) จะได้ปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 17.42 ส่วน Figure 1 (c) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของปริมาณสะตังกับปริมาณดักแด้ไหมอีรู่ โดยกำหนดให้ระดับของปริมาณจิ้งหรีดอยู่ที่ระดับกลาง Figure 1 นี้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลปฏิสัมพันธ์

(Interaction effect) ของตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณโปรตีนที่ได้ โดยมีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ถ้าใช้ปริมาณจิ้งหรีด สะตัง และดักแด้เริ่มต้นลดลงจากช่วงดังกล่าว ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ได้ลดลง นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณจิ้งหรีดในช่วง ร้อยละ 40-48 ร่วมกับปริมาณสะตังที่เพิ่มขึ้นในช่วง 38-40 ทำให้คะแนนความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 2 (a) และเมื่อเพิ่มปริมาณดักแด้ในช่วง ร้อยละ 18-20 โดยใช้ปริมาณจิ้งหรีดในช่วง ร้อยละ 40-48 และปริมาณสะตัง ในช่วง 38-40 จะทำให้คะแนนความชอบรวมเพิ่มขึ้นจาก 6.15 เป็น 7.75 (Figure 2) นอกจากนี้ ยังพบว่า คะแนนความชอบรวมลดลงหากมีการเพิ่มปริมาณดักแด้ในช่วง ร้อยละ 10-14

จากภาพพื้นที่การซ้อนทับ (Overlay plot) (Figure 3) ของปริมาณโปรตีน สะดุ้ง และดักแด้ เพื่อใช้พิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้คือสภาวะที่ส่งผลให้ปริมาณโปรตีน และคะแนนการยอมรับรวมจากผู้ทดสอบชิมสูงสุด ได้แก่ สภาวะที่มีปริมาณโปรตีน สะดุ้ง และดักแด้ใหม่อี่รี่ ร้อยละ 45.28 มีปริมาณสะดุ้ง ร้อยละ 39.82 และปริมาณดักแด้ ร้อยละ 20

เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design expert (version 13) พบว่า สมการ Second order polynomial ของปัจจัย ได้แก่ ปริมาณโปรตีน สะดุ้ง และดักแด้ใหม่อี่รี่ ต่อปริมาณร้อยละโปรตีนและคะแนนความชอบรวม ให้ค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ให้สมการที่ Significant โดยสมการที่ได้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าตอบสนองคือ ปริมาณโปรตีนและคะแนนความชอบรวม และสามารถนำสมการดังกล่าวมาใช้ในการทำนายค่าได้อย่างแม่นยำ

จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนจากแมลง โดยมีอัตราส่วนของโปรตีน สะดุ้ง และดักแด้ใหม่อี่รี่ ร้อยละ 45.28, 39.82 และ 20 ตามลำดับ ทำนายค่าร้อยละปริมาณโปรตีนและคะแนนความชอบรวม โดยใช้สมการที่ Y_1 และ Y_2 ใน Table 3 จากผลการทำนาย พบว่า ปริมาณโปรตีน ร้อยละ 17.95 และคะแนนความชอบรวม 7.52 คะแนน และนำสภาวะดังกล่าว ทำการทดลองจริงต่อไป

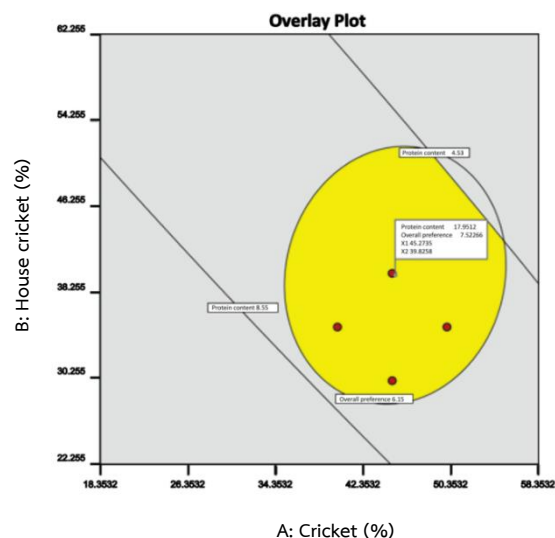


Figure 3 Overlay plot showing optimum protein extraction conditions

Table 4 แสดงถึงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมพัทธ์ (Mean relative deviation, % MRD) ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง ซึ่งปริมาณโปรตีนและคะแนนความชอบรวม มีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมพัทธ์ ร้อยละ 6.40 และ 7.81 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสมการดังกล่าวสามารถทำนายปริมาณโปรตีนและคะแนนความชอบรวมได้อย่างแม่นยำ

Table 4 Comparison of protein content and overall preference score between experimental values and predicted values

Response values	% Protein content	Overall preference score
Predicted values	17.95	7.52
Experimental value	16.87	8.16
% MRD	6.40	7.81

% MRD = Mean relative deviation [14]

3.3. ผลิตภัณฑ์ฟังกซ์โปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้

นำแมลงมาล้างทำความสะอาด ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ ชั่งน้ำหนักส่วนผสมของแมลงในอัตราส่วน โปรตีน สะดุ้ง และดักแด้ใหม่อี่รี่ ร้อยละ 45.28, 39.82 และ 20 ตามลำดับ บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ 2 รอบ เติมน้ำในอัตราส่วน แมลง ต่อ น้ำ 1:10 จากนั้นปั่นให้เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน กรองส่วนของกาก (ปีก แขน ขา) ด้วยผ้าขาวบาง ต้มภายใต้ความดันที่สภาวะกึ่งวิกฤติ ที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที

นำสารละลายโปรตีนแมลงที่ได้ไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกไขมันและตะกอนด้วยผ้าขาวบาง นำไปโฮโมจีไนส์ ด้วยความเร็วรอบ 1,500 rpm นาน 3 นาที จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ไปทำให้เข้มข้นขึ้นเท่าตัวด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ โดยการเติมสารคาร์เมล ร้อยละ 0.16 และแซนแทนกัม ร้อยละ 0.15 เพื่อเพิ่มความหนืด และทำการต้มฆ่าเชื้อ (พาสเจอร์ไรส์) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังกซ์โปรตีนเข้มข้นจากแมลงที่มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 35.15

4. บทสรุป

การศึกษาวิธีการสกัดโปรตีนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของจิ้งหรีด สะตอ และดักแด้ไหมอีรี่ คือ ร้อยละ 45.27, 39.83 และ 20 ตามลำดับ เติมน้ำในอัตราส่วน 1:10 นำไปต้มภายใต้ความดันที่สภาวะกึ่งวิกฤติ ที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที พบว่าสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดโปรตีน สารละลายโปรตีนแมลงที่ได้ให้ปริมาณโปรตีน ร้อยละ 17.95 ให้คะแนนความชอบ 7.52 คะแนน จากการตรวจสอบความถูกต้องพบว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการหาสภาวะที่เหมาะสมมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่สูง โดยมีค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมพัทธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองและค่าที่ทดลองวัดได้จริงสำหรับค่าโปรตีน เท่ากับ 6.40 จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ไปทำให้เข้มข้นขึ้นเท่าตัวด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จนได้ปริมาณโปรตีนร้อยละ 35.15 บรรจุใส่และเนื้อสัมผัส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันโปรตีนเข้มข้นจากแมลงกินได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร และสาขาวิชาการประกอบอาหารและการจัดการครัว คณะเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ให้อุปกรณ์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ เป็นอย่างดี
ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

6. References

[1] Yusof, H. and et al. 2023. Global food security strategies, issues and challenges. **The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics**. 22: 33-47.

[2] Song, Y.S. and et al. 2018. Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm, *Tenebrio molitor*. **Entomological Research**. 48(3): 227-233.

[3] Joopawang, P. and Sompongse, W. 2021. Physicochemical and functional properties of

silkworm pupae protein extract. **Thai Journal of Science and Technology**. 10(3): 364-378. (in Thai)

[4] Kim, H.W. and et al. 2016. Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 38: 116-123.

[5] Promkhan, S., Saithi, S. and Wongbasg, C. 2020. Effect of drying conditions and shelf life of crispy cricket product. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 48(1): 1-12. (in Thai)

[6] Amarender, R.V. and et al. 2020. Lipid and protein extraction from edible insects – Crickets (*Gryllidae*). **LWT-Food Science and Technology**. 125: 109222.

[7] Singhato, A. and Rueangsri, N. 2024. Crickets as a protein source: An alternative future food for promoting nutrition and food security. **Ramathibodi Medical Journal**. 47(1): 61-71. (in Thai)

[8] Tangkhavanich, B., Kobayashi, T. and Adachiy, S. 2013. Properties of rice stem extracts obtained by using subcritical fluids. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**. 77(10): 2112-2116.

[9] Rodsamran, P. and Sothornvit, R. 2018. Physicochemical and functional properties of protein concentrate from by-product of coconut processing. **Food Chemistry**. 241: 364-371.

[10] Association Official Analytical Chemists (AOAC). 2023. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 22nd edition. Rockville, MD: AOAC International.

[11] Sihamala, O. and et al. 2018. Nutritional value of edible insects in Kalasin Province. **King Mongkut's Agricultural Journal**. 36(2): 98-105. (in Thai)

[12] Jino, T. and Surawang, S. 2021. Chemical composition and optimum condition on protein concentrate extraction from commercial crickets. **Thai Journal of Science and Technology**. 10(1): 64-73. (in Thai)

- [13] Anyasi, T.A., Acharya, P. and Udenigwe, C.C. 2025. Edible insects as an alternative protein source: Nutritional composition and global consumption patterns. **Future Foods**. 12: 100699.
- [14] Katsuwan, P. and Banjong, K. 2018. Optimization of microwave-assisted extraction of papaya seed oil by response surface methodology. **Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology**. 10(20): 76-88. *(in Thai)*