

## การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีด

### Development of Protein Concentrate Powder Product from Crickets

ศุภฤชญา เหมะจุลิน<sup>1\*</sup> และ อมรรัตน์ โมราราช<sup>2</sup>

Sukrichaya Hemathulin<sup>1\*</sup> and Amonrut Morarach<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร สกลนคร 47160 ประเทศไทย

<sup>2</sup>สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110 ประเทศไทย

<sup>1</sup>Department of Food Science and Technology, Faculty of Natural Resources,

Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon Campus, Sakon Nakhon 47160, Thailand

<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110, Thailand

\*E-mail: sukrichaya@hotmail.com

Received: May 16, 2024

Revised: Aug 22, 2024

Accepted: Sep 09, 2024

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันกระแสสุขภาพทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันได้รับความนิยม โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้นจากแมลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนด้วยน้ำภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติจากจิ้งหรีดโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมด และผลผลิตโปรตีนจากการสกัด 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน โดยอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน คือ 120-130 องศาเซลเซียส, 20-60 นาที และร้อยละ 70-90 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีด คือ การสกัดโปรตีนโดยใช้อุณหภูมิที่ 126 องศาเซลเซียส เวลาที่ 45.44 นาที และปริมาณน้ำ ร้อยละ 71.42 จากการใช้สมการพหุนามกำลังสองในการพยากรณ์ปริมาณโปรตีนทั้งหมด และผลผลิตโปรตีนจากการสกัด เมื่อสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีดที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่ามีค่าเท่ากับ ร้อยละ 82.49 และร้อยละ 87.10 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโปรตีนทั้งหมด และผลผลิตโปรตีนจากการสกัดที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง โดยมีค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมพัทธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้ และค่าที่ได้จากการทดลองสำหรับปริมาณโปรตีนทั้งหมด และผลผลิตโปรตีนจากการสกัดร้อยละ 1.50 และ 1.98 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** จิ้งหรีด การสกัดโปรตีนด้วยน้ำภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ วิธีพื้นผิวตอบสนอง

#### Abstract

Nowadays, the health trend has made functional food products popular, especially insect protein concentrate products. The objective of this research was to study the optimum conditions for the pressurized hot water extraction of proteins from crickets by response surface methodology. Box-Behnken Design was utilized to study 3 factors affecting total protein content and protein extraction yield including temperature, time and water content for protein extraction. The temperature, time and water content for protein extraction used were 120-130°C, 20-60 min and 70-90%, respectively. From the experiments, the optimum conditions for the extraction of proteins from crickets were the extraction of proteins using temperature at 126°C, time at 45.44 min and water content of 71.42%. By using second-order polynomial equations to predict total protein content and protein extraction yield

when protein extraction from crickets was performed at the optimum conditions, it was found that total protein content and protein extraction yield from extraction were 82.49% and 87.10%, respectively. Furthermore, it was found that the total protein content and protein extraction yield predicted from mathematical models were close to those obtained from the experiments. The mean relative deviations between predicted values from mathematical models and those from experiments for total protein content and protein extraction yield were 1.50% and 1.98%, respectively.

**Keywords:** Cricket, Pressurized hot water extraction of proteins, Response surface methodology

## 1. บทนำ

จากประเด็นปัญหาความแอ่งแอ้ง ภัยพิบัติ และโรคติดต่อร้ายแรง เช่น Covid-19 สร้างความกังวลทั่วโลกเกี่ยวกับปัญหาการขาดแคลนอาหาร ทำให้โปรตีนทางเลือกจากแมลงกินได้แหล่งอาหารใหม่ได้รับความสนใจมากขึ้น [1] โดยพบว่าปัจจุบันมีงานวิจัยหลากหลายที่กล่าวว่าแมลงกินได้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนทางเลือกที่มีศักยภาพสำคัญ เนื่องจากให้ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็นสูงเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่น นอกจากแมลงจะเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนแล้วยังเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นด้วย [2] โดยจากข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุขพบว่าแมลงที่ให้โปรตีนสูงสุด 3 ชนิดได้แก่ ตั๊กแตนปาทังก้า แมลงป่อง และจิ้งหรีด โดยมีปริมาณโปรตีน (น้ำหนักเปียก) ร้อยละ 27.6, 24.5 และ 18.6 ตามลำดับ ให้ผลไปในทางเดียวกับการศึกษาของ Amarender et al. [3] โดยแมลงที่ทำการศึกษามากส่วนใหญ่มักมีกรดอะมิโนจำเป็นคือ ลิวซีน (Leucine) และมีปริมาณมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าแมลงมีกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) ซึ่งกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 6 (Omega 6) เป็นประโยชน์ต่อการเสริมสร้างสมอง และกรดไลโนเลนิก (Linolenic acid) ซึ่งกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 3 (Omega 3) ที่จำเป็นต่อการทำงานของสมองในด้านการมองเห็น การปรับตัว การเรียนรู้ อารมณ์ ซึ่งเมื่อทำงานร่วมกันสามารถช่วยป้องกันหลอดเลือดอุดตันได้ ทั้งนี้พบว่าการรับประทานแมลงสามารถเพิ่มการเรียนรู้ ความจำ และสามารถป้องกันภาวะความจำบกพร่อง ที่พบในโรคสมองเสื่อมหรืออัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) นอกจากนี้ยังพบว่าการทานแมลงยังสามารถป้องกันและลดอันตรายจากการทำลายสมองเนื่องจากโรคหลอดเลือดสมองและโรคพิษสุราเรื้อรังได้ [4] โดยปัจจุบันตั๊กแตนปาทังก้า มีราคาจำหน่ายอยู่ในช่วง กิโลกรัมละ 660-700 บาท แมลงป่อง ตัวละ 10-20 บาท และจิ้งหรีด กิโลกรัมละ 120-150 บาท แม้ราคาจำหน่าย

ค่อนข้างสูงแต่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนคุณภาพที่มีอยู่ ทั้งนี้ตั๊กแตนปาทังก้า และแมลงป่องราคาสูงและมีปริมาณจำกัด อาจไม่สามารถผลิตได้จริงเชิงการค้าในระดับอุตสาหกรรม ทั้งนี้พบว่าจิ้งหรีดเป็นแมลงกินได้ที่มีปริมาณโปรตีนสูง โดยมีโปรตีนสูงถึง ร้อยละ 62.94 และให้พลังงานทั้งหมด 432.66 กิโลแคลอรี ต่อ 100 กรัม ประกอบด้วยคุณค่าทางอาหารที่ดี ได้แก่ วิตามินเอ, บี 1, บี 2, แคลเซียม และเหล็ก เท่ากับ 16.25 ไมโครกรัม, 0.048 มิลลิกรัม, 2.658 มิลลิกรัม, 149.34 มิลลิกรัม และ 6.58 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ [5] ดังนั้นจิ้งหรีดจึงเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการพัฒนานวัตกรรมอาหารจากแมลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับแมลงชนิดอื่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความต้องการในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีด โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนภายใต้การนึ่งด้วยความดันสภาวะกึ่งวิกฤต (Pressurized hot water extraction) โดยการสกัดโปรตีนในสภาวะกึ่งวิกฤต (subcritical) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 100-374 องศาเซลเซียส (ความดันอยู่ในช่วง 0.10-22 Mpa) ด้วยหม้อนึ่งความดัน (pressure cooker) เพื่อให้ได้ผงโปรตีนที่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านการละลายน้ำและเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ทั้งนี้สามารถระบุได้ว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนจิ้งหรีดที่ได้มีความปลอดภัยด้วยการสกัดแบบชีววิธี โดยภายใต้สภาวะดังกล่าวน้ำมีสถานะทั้งของเหลว ก๊าซ และของไหลวิกฤตยิ่งยวด ทำให้น้ำมีความตึงผิวและความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การลดลงของแรงตึงผิวจะเพิ่มการแทรกซึมของสารสกัดน้ำลงในโครงสร้างที่ต้องการสกัดและเพิ่มความสามารถในการละลายขององค์ประกอบในสารสกัด นอกจากนี้ภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤตผลิตภัณฑ์ไอออนของน้ำจะเพิ่มขึ้นมากกว่า  $1 \times 10^3$  เท่าของน้ำที่อุณหภูมิห้อง ยิ่งไปกว่านั้นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ของน้ำภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤตจะลดลง ทำให้มีคุณสมบัติในการสกัดใกล้เคียงกับสารอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดสารสำคัญทั่วไป เช่น เอทานอล และเมทานอล [6], [7]

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของจิ้งหรีด

นำจิ้งหรีดสดที่เลี้ยงในเขตพื้นที่ อำเภอฟังโคน จังหวัดสกลนคร มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบจิ้งหรีด แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ จิ้งหรีดสด และจิ้งหรีดแห้ง โดยนำจิ้งหรีดไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีค่า water activity ( $a_w$ ) ต่ำกว่า 0.6 พบว่าใช้เวลาในการอบแห้งนาน 12 ชั่วโมง จากนั้นบดละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (Sample mill) รุ่น Polymix Px-MFC 90 D (Kinematica AG) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

2.1.1. วิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน โยอาหาร และเถ้า [8]

2.1.2. วิเคราะห์ความสามารถในการละลายของวัตถุดิบผงจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดน้ำมันก่อนการสกัดโปรตีน [9]  
จากนั้นนำผงโปรตีนจิ้งหรีด มาบิบน้ำมันแบบเย็นด้วยเครื่องบิบน้ำมันแบบสกรูเพรส (Screw press machine) นำไปบดให้ละเอียด เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

### 2.2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีดด้วยวิธีการนึ่งภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ

นำผงโปรตีนจิ้งหรีดที่เตรียมได้จากข้อ 2.1. โดยใช้ผงจิ้งหรีดที่ผ่านการบิบน้ำมันแบบเย็นและน้ำในอัตราส่วน 28.58 : 71.42 ปั่นผสมให้เข้ากัน กรองส่วนของกาก (ปีก ขน ขา) ด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปโฮโมจีไนส์ (Homogenize) ด้วยความแรง 1,500 rpm นาน 3 นาที มาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีดด้วยวิธีการนึ่งภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ ศึกษาปัจจัยที่มีผล 3 ปัจจัย ได้แก่

- 1) อุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ 3 ระดับ คือ 120, 125 และ 130 องศาเซลเซียส
- 2) เวลาที่ใช้ในการนึ่งภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ 3 ระดับ คือ 20, 40 และ 60
- 3) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ร้อยละ 70, 80 และ 90

หาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง Response surface methodology (RSM) และออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design (BBD) เพื่อเลือกสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีด โดยจากการออกแบบการทดลองดังกล่าวได้สิ่งทดลองทั้งหมด 15 สิ่งทดลอง ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2

สำหรับจำนวนการทดลอง (Number of experiment, N) หาได้จากสมการที่ 1

$$N = 2k(k-1) + C_0 \quad (1)$$

เมื่อ

k คือจำนวนปัจจัย และ  $C_0$  คือ จำนวนจุดตรงกลาง (Number of central points) โดยกำหนดให้  $C_0$  เป็น 3

การทดลองนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) กับข้อมูลการทดลอง [10] โดยใช้ Statistical package (Design expert version 13) เพื่อสร้าง Response surface plot และหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปร (Optimization of process variable) รวมทั้งเลือกใช้ Second-order polynomial model เพื่อทำนายจุดที่เหมาะสมของค่าตอบสนอง (Optimal point of the responses) โดยที่ Second-order polynomial model แสดงดังสมการที่ 2

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 \quad (2)$$

เมื่อ

y คือค่าตัวแปรตาม หรือค่าสังเกต (Response variable)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{12}, \beta_{13}$  และ  $\beta_{23}$  คือค่าสัมประสิทธิ์หน้าเทอมต่าง ๆ

$X_1, X_2$  และ  $X_3$  คือตัวแปรอิสระ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัด

นำสารสกัดน้ำโปรตีนจิ้งหรีดในแต่ละสิ่งทดลอง เข้าสู่กระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) จากนั้นบดให้ละเอียด ได้ผงโปรตีนจิ้งหรีดเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- วัดค่าสี  $L^*, a^*, b^*, C^*$  และ  $oh$  (Hunter Lab, Color flex, Color global Co., LTD, USA)
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method [8]
- วิเคราะห์ร้อยละผลผลิต (% yield) ของสารละลายโปรตีนที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

$$\text{Yield (\%)} = (W_2/W_1) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

$W_1$  คือ น้ำหนักจิ้งหรีดแห้งที่ใช้ในการสกัดโปรตีนจิ้งหรีด

$W_2$  คือ น้ำหนักผงโปรตีนจิ้งหรีดหลังทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

เลือกสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณโปรตีนและร้อยละผลผลิตสูงสุด สำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป

### 2.3. ศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์โปรตีนจิ้งหรีดที่สกัดได้ และผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จากสภาวะที่ดีที่สุดที่เลือกจากข้อ 2.2. เข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ได้เป็นผงโปรตีนจิ้งหรีด โดยนำสารละลายโปรตีนที่ได้มาคำนวณปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (Maltodextrin) เพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 22.5 °Brix และปั่นผสมให้เข้ากัน นำตัวอย่างฉีดเข้าเครื่อง Spray dry กำหนดสภาวะ

อุณหภูมิขาเข้า (Inlet) และขาออก (Outlet) เป็น 160 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จนได้เป็นผงแห้ง เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- วิเคราะห์ความชื้น และโปรตีน [8]
- วิเคราะห์ Water activity ( $a_w$ ) (Decagor Devices

AQUA LAB 4TE)

- วิเคราะห์ความสามารถในการละลายของผงโปรตีนจิ้งหรีด

**Table 1** Variables and levels of variables used in protein extraction from crickets

| Independent variable | Code  | Level |     |     |
|----------------------|-------|-------|-----|-----|
|                      |       | -1    | 0   | +1  |
| Temperature          | $X_1$ | 120   | 125 | 130 |
| Time                 | $X_2$ | 20    | 40  | 60  |
| Water content        | $X_3$ | 70    | 80  | 90  |

**Table 2** Total treatments of Box-Behnken Design (BBD) and RSM analysis

| Treatment | Code                   |                 |                          |
|-----------|------------------------|-----------------|--------------------------|
|           | $X_1$<br>(Temperature) | $X_2$<br>(Time) | $X_3$<br>(Water content) |
| 1         | 120                    | 20              | 80                       |
| 2         | 130                    | 20              | 80                       |
| 3         | 120                    | 60              | 80                       |
| 4         | 130                    | 60              | 80                       |
| 5         | 120                    | 40              | 70                       |
| 6         | 130                    | 40              | 70                       |
| 7         | 120                    | 40              | 90                       |
| 8         | 130                    | 40              | 90                       |
| 9         | 125                    | 20              | 70                       |
| 10        | 125                    | 60              | 70                       |
| 11        | 125                    | 20              | 90                       |
| 12        | 125                    | 60              | 90                       |
| 13        | 125                    | 40              | 80                       |
| 14        | 125                    | 40              | 80                       |
| 15        | 125                    | 40              | 80                       |

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

#### 3.1. คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของจิ้งหรีด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางอาหารของจิ้งหรีดพบว่า องค์ประกอบทางอาหารของจิ้งหรีด 100 กรัม ของน้ำหนักสด (จิ้งหรีดสดไม่ผ่านการอบแห้ง) มีความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 71.04, 18.64, 6.25 และ 4.07 กรัม ตามลำดับ (Table 3) ในขณะที่เมื่อนำจิ้งหรีดไปผ่านกระบวนการทำแห้ง พบว่าองค์ประกอบทางอาหารของจิ้งหรีด 100 กรัม ของน้ำหนักแห้ง (จิ้งหรีดที่ผ่านการอบแห้ง) มีความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 8.31, 60.35, 27.46 และ 3.88 กรัม ตามลำดับ ผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Promkhan et al. [5] ซึ่งมี

ปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร เถ้า และความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 63.52, 16.41, 8.68, 3.79 และ 8.56 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และ จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองดำมีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร เถ้า และความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 56.76, 20.30, 6.85, 3.67 และ 12.72 ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ Bureau of Nutrition [11] ระบุว่าจิ้งหรีดสด 100 กรัม ให้พลังงาน 121.5 กิโลแคลอรี มีความชื้น โปรตีน แป้งและน้ำตาล ไขมัน โยอาหาร เถ้า เป็น 71.4, 12.9, 5.5, 5.1, 3.0 และ 2.1 กรัม ตามลำดับ โดยให้ผลการทดลองแตกต่างเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลการทดลองของ Wiwatphanit [12] ซึ่งระบุว่าจิ้งหรีด 100 กรัม น้ำหนักสด ให้พลังงาน 133 กิโลกรัม มีความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 73.0, 18.6, 6.0 และ 1.0 ตามลำดับ

Table 3 Nutritional composition of 100 grams of crickets

| Nutritional composition | Content      |              |
|-------------------------|--------------|--------------|
|                         | Wet weight   | Dry weight   |
| Moisture content (%)    | 71.04 ± 0.25 | 8.31 ± 0.17  |
| Protein (g)             | 18.64 ± 0.23 | 60.35 ± 0.20 |
| Fat (g)                 | 6.25 ± 0.12  | 27.46 ± 0.19 |
| Carbohydrates (g)       | 4.07 ± 0.15  | 3.88 ± 0.15  |
| a <sub>w</sub>          | 0.98 ± 0.02  | 0.35 ± 0.02  |

#### 3.2. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีดด้วยวิธีการสกัดภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ

จากแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design พบว่าอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีนที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมด และปริมาณผลผลิต (Table 4) โดยเมื่อนำสารละลายโปรตีนจิ้งหรีดที่สกัดได้ไปทำแห้ง วิเคราะห์ร้อยละของโปรตีนทั้งหมด (% Total protein) และคำนวณร้อยละผลผลิต (% Yield) จากนั้นวิเคราะห์ความถดถอยและความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Design expert version 13) ได้ผลการทดลอง ดัง Table 5

##### 3.2.1. ผลของอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมด

จาก Table 4 พบว่า ปริมาณโปรตีนจิ้งหรีดในแต่ละสภาวะอยู่ในช่วง ร้อยละ 77.19-84.14 ผลการวิเคราะห์สมการความถดถอยแสดงใน Table 5 พบว่าสมการ Second order polynomial ได้รูปแบบที่ใช้แสดงความสัมพันธ์

ระหว่างอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อค่าร้อยละของโปรตีนจิ้งหรีดทั้งหมด แสดงดังสมการที่ 4

$$\begin{aligned} \% \text{ Total protein} = & 936.2578 - 16.3117 (X_1) \\ & - 0.7213 (X_2) + 4.4565 (X_3) + 0.0045 (X_1 X_2) - 0.0124 \\ & (X_1 X_3) - 0.0024 (X_2 X_3) + 0.0676 (X_1^2) + 0.0036 (X_2^2) \\ & 0.0187 (X_3^2) \end{aligned} \quad (4)$$

เมื่อ

$X_1$ ,  $X_2$  และ  $X_3$  คือ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ตามลำดับ

โดยสมการที่ 2 มีค่า  $R^2$  เป็น 0.8614 ค่า p-value 0.0429 และค่า Lack of Fit เป็น 0.2475 ซึ่งบ่งชี้ว่าสมการที่ได้ not significant นั้นแสดงถึงสมการมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้อธิบายค่าความแปรปรวนของร้อยละโปรตีนที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน โดยกราฟใน Figure 1 แสดงถึงพื้นที่ผิวตอบสนองอันเนื่องจากผลของอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อร้อยละของโปรตีนจิ้งหรีดทั้งหมด พร้อมด้วยเวลาที่

ใช้ในการนึ่งจิ้งหรีดภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 124-130 องศาเซลเซียส นาน 40-50 นาที และใช้น้ำที่ร้อยละ 65-75 ส่งผลให้ปริมาณร้อยละของโปรตีนจิ้งหรีดทั้งหมดมีค่ามากที่สุด แต่หากใช้อุณหภูมิและเวลาในการสกัดนอกช่วงดังกล่าวจะเห็นว่าร้อยละของโปรตีนจิ้งหรีด

ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้พบว่า ถ้าใช้ปริมาณน้ำในการสกัดสูงสุด (ร้อยละ 71.36) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิและเวลาในช่วง 124-130 องศาเซลเซียส และ 40-50 นาที ตามลำดับ ส่งผลให้ร้อยละโปรตีนจิ้งหรีดทั้งหมดมีค่าสูงสุด

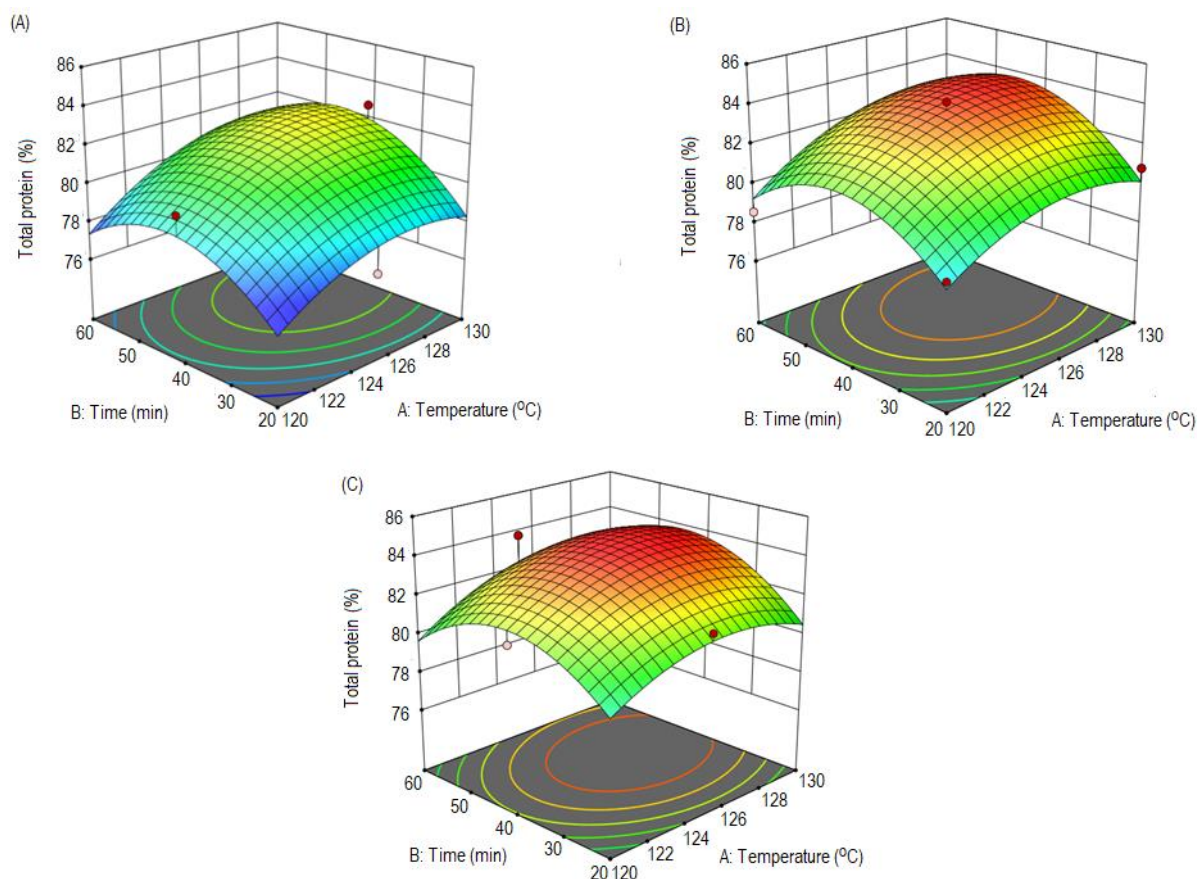
**Table 4** Total protein and yield of proteins extracted from crickets

| Treatment | Total protein (%) | Yield (%) |
|-----------|-------------------|-----------|
| 1         | 78.928            | 72.93     |
| 2         | 80.82             | 71.75     |
| 3         | 78.57             | 69.65     |
| 4         | 82.11             | 70.05     |
| 5         | 80.13             | 79.52     |
| 6         | 82.71             | 78.33     |
| 7         | 81.15             | 80.73     |
| 8         | 82.69             | 88.97     |
| 9         | 77.19             | 86.71     |
| 10        | 80.18             | 94.91     |
| 11        | 81.72             | 45.37     |
| 12        | 83.75             | 52.57     |
| 13        | 83.39             | 70.1      |
| 14        | 83.7              | 69.62     |
| 15        | 84.14             | 68.57     |

**Table 5** Regression coefficients and variance analyses of second-order polynomial equations (prediction models)

| Coefficient    | Yield (%) | Total protein (%) |
|----------------|-----------|-------------------|
| $\beta_0$      | 936.2578  | -529.7476         |
| $\beta_1$      | -16.3117  | 9.0277            |
| $\beta_2$      | -0.7213   | -1.0495           |
| $\beta_3$      | 4.4565    | 0.2018            |
| $\beta_1^2$    | 0.0045    | 0.0025            |
| $\beta_2^2$    | -0.0124   | -0.0120           |
| $\beta_3^2$    | -0.0024   | 0.0085            |
| $\beta_{12}$   | 0.0676    | -0.0312           |
| $\beta_{13}$   | 0.0036    | 0.0009            |
| $\beta_{23}$   | -0.0187   | 0.0025            |
| F-value        | 5.5110    | 3.4528            |
| p-value        | 0.0374    | 0.0429            |
| $R^2$          | 0.9084    | 0.8614            |
| Adjusted $R^2$ | 0.7435    | 0.6119            |

Statistically significant terms with a confidence level of 95 percent



**Figure 1** Effect of temperature (°C) and time (min) on % total protein for the protein extraction using 70% water content (A), 80% water content (B) and 90% water content (C)

### 3.2.2. ผลของอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อร้อยละผลผลิตโปรตีนจิ้งหรีด

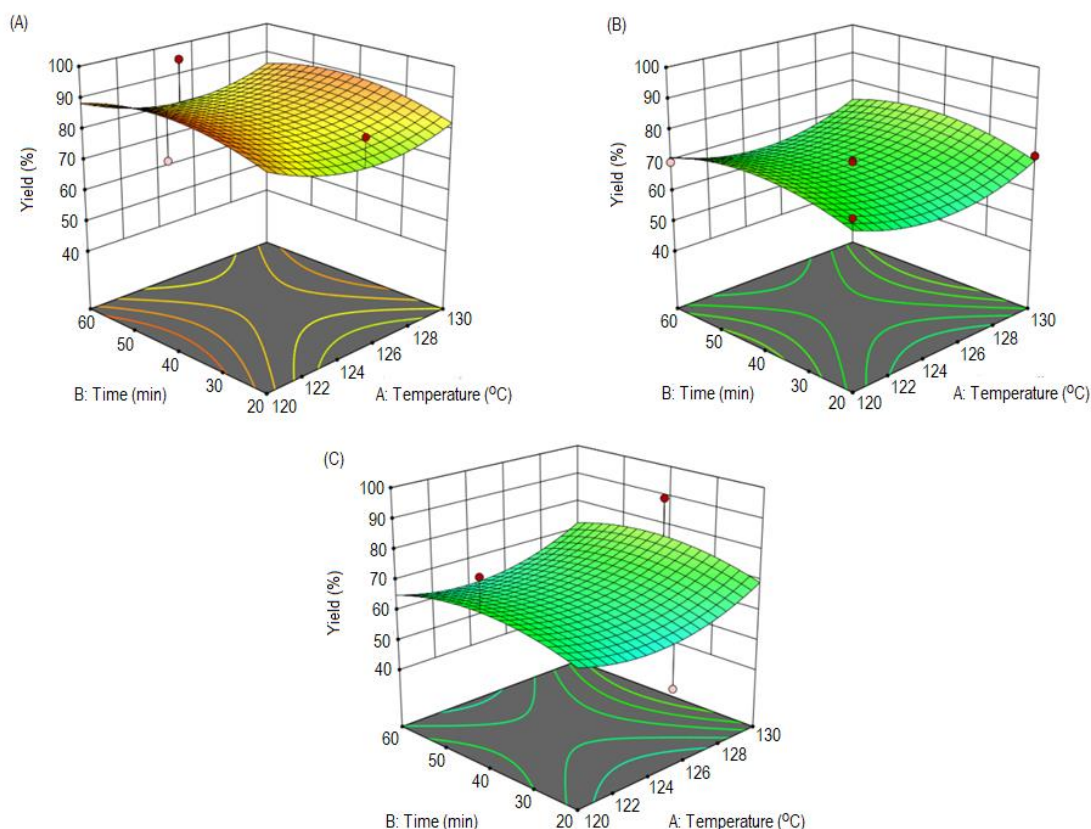
จาก Table 4 พบว่าปริมาณร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 45.37-94.91 และผลการวิเคราะห์ความถดถอยแสดงใน Table 5 พบว่าสมการ Second order polynomial เต็มรูปแบบที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อค่าร้อยละผลผลิตของโปรตีน แสดงดังสมการที่ 5

$$\begin{aligned} \% \text{ Yield} = & - 529.7476 + 9.0277 (X_1) - \\ & 1.0495 (X_2) + 0.2018 (X_3) + 0.0025 (X_1X_2) - 0.0120 \\ & (X_1X_3) + 0.0085 (X_2X_3) - 0.0312 (X_1^2) + 0.0009 (X_2^2) \\ & + 0.0025 (X_3^2) \end{aligned} \quad (5)$$

เมื่อ

$X_1$ ,  $X_2$  และ  $X_3$  คือ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ตามลำดับ

โดยสมการที่ 2 มีค่า  $R^2$  เป็น 0.9084 ค่า p-value 0.0374 และค่า Lack of Fit เป็น 0.2266 ซึ่งบ่งชี้ว่าสมการที่ได้ not significant นั้นแสดงถึงสมการมีความเหมาะสมที่จะใช้อธิบายค่าความแปรปรวนของร้อยละผลผลิต ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน กราฟใน Figure 2 แสดงถึงพื้นที่ผิวตอบสนองอันเนื่องจากผลของอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อร้อยละผลผลิต ที่ภายใต้สภาวะกึ่งวิกฤติ พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการนึ่งจิ้งหรีดให้สูงขึ้นร่วมกับการลดปริมาณร้อยละของน้ำลง ส่งผลให้ร้อยละของโปรตีนมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อลดปริมาณน้ำที่ร้อยละ 70 ร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิในการนึ่งกึ่งวิกฤติที่ 124-130 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าร้อยละผลผลิต มีค่าสูงสุด ดังแสดงใน Figure 2 นอกจากนี้ พบว่าเวลาในการนึ่งสกัดโปรตีนจิ้งหรีดมีผลน้อยมากต่อร้อยละผลผลิตของโปรตีนจิ้งหรีด



**Figure 2** Effect of temperature (°C) and time (min) on % yield for the protein extraction using 70% water content (A), 80% water content (B) and 90% water content (C)

### 3.2.3. สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนจากจิ้งหรีด

จาก Table 6 และ Figure 3 แสดงถึงช่วงการซ้อนทับ (Overlay plot) ของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (นาท) กับน้ำในการสกัดโปรตีน ซึ่งนำมาใช้พิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโปรตีนจากจิ้งหรีด โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้คือ สภาวะที่ส่งผลให้ได้ปริมาณร้อยละโปรตีนจิ้งหรีดทั้งหมด และผลผลิตสูงที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนจิ้งหรีด คือ นึ่งด้วยสภาวะกึ่งวิกฤติที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส นาน 45.44 นาที และใช้น้ำในการสกัด ร้อยละ 71.42 ทั้งนี้สมการ Second order polynomial ของตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) เวลา (นาท) และ น้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ให้ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าสมการ Significant สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (ร้อยละโปรตีนทั้งหมด และร้อยละผลผลิต) ได้ อีกทั้งสามารถนำสมการดังกล่าวมาใช้ในการทำนายค่าได้ โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) ผลการทำนาย พบว่า ให้ปริมาณ

โปรตีนทั้งหมด ร้อยละ 82.49 และร้อยละผลผลิต 87.10 จากนั้นนำสภาวะดังกล่าว ไปทำการทดลองจริงต่อไป

Table 7 แสดงถึงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมพัทธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง ซึ่งปริมาณโปรตีนทั้งหมดและปริมาณผลผลิต มีค่าร้อยละ 1.50 และ 1.98 ตามลำดับ เป็นการแสดงให้เห็นว่าสมการที่ (1) และ (2) สามารถทำนายผลของอุณหภูมิ เวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ต่อปริมาณโปรตีนทั้งหมดและปริมาณผลผลิตได้อย่างแม่นยำ ผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rianpreecha [13] รายงานว่าสมการที่สร้างขึ้นจากกระบวนการหาสภาวะที่เหมาะสมสามารถทำนายคุณสมบัติของโม่เนื้อมะละกอได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากการทดลองจริง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจิ้งหรีดคือนึ่งด้วยสภาวะกึ่งวิกฤติที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส เป็นนาน 45.44 นาที และปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัด ร้อยละ 71.42 ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดและปริมาณผลผลิตสูงที่สุด

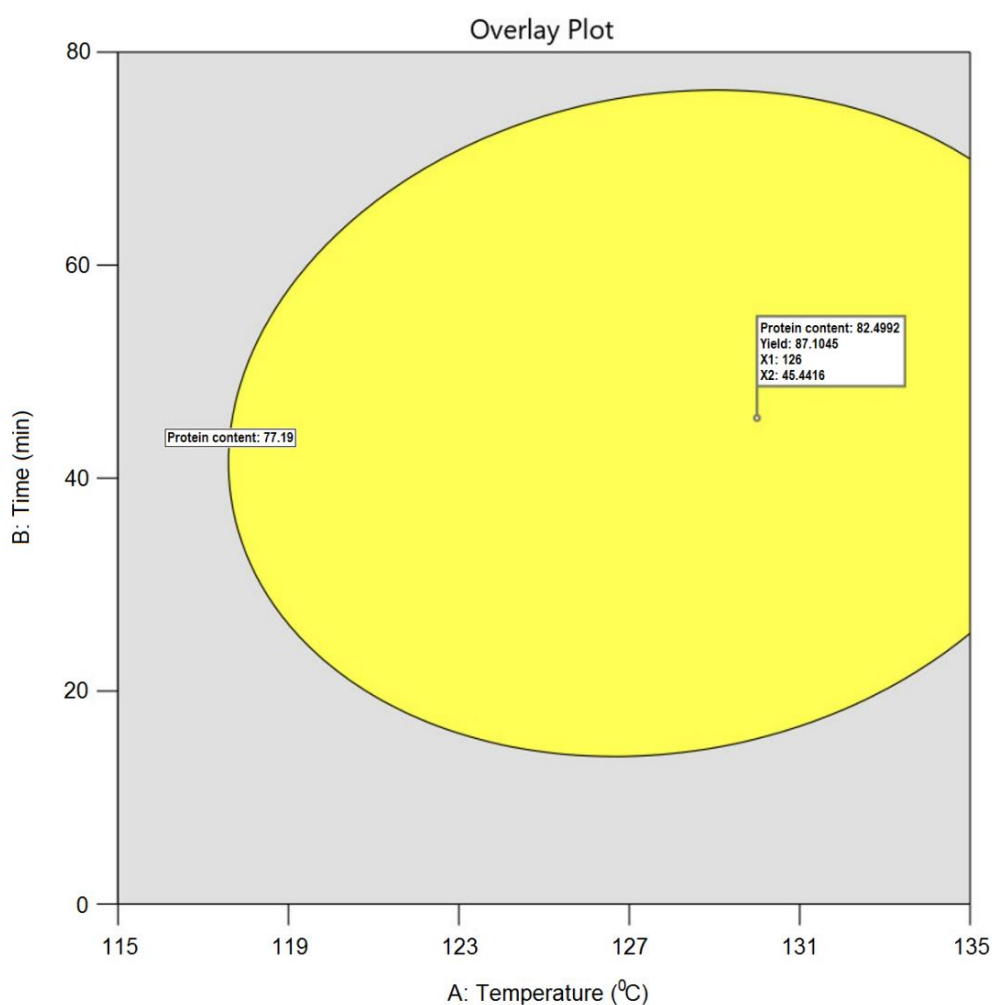


**Table 6** Goals, lower limits, upper limits and importance of variables included in response surface methodology and predicted values for the optimum conditions

| Variable          | Goal     | Lower limit | Upper limit | Importance | Predicted value |
|-------------------|----------|-------------|-------------|------------|-----------------|
| T (°C)            | in range | 120         | 130         | 3          | 130             |
| Time (min)        | in range | 20          | 60          | 3          | 60              |
| Water content (%) | in range | 70          | 90          | 3          | 70              |
| Total protein (%) | maximize | 77.19       | 84.14       | 1          | 1               |
| Yield (%)         | maximize | 45.37       | 94.91       | 1          | 1               |

**Table 7** Comparison of total protein content and protein extraction yield between experimental values and predicted values

| Response variable | Predicted value | Experimental value | Mean relative deviation (%MRD) |
|-------------------|-----------------|--------------------|--------------------------------|
| Total protein (%) | 82.49           | 83.75              | 1.50                           |
| Yield (%)         | 87.10           | 88.86              | 1.98                           |



**Figure 3** Overlay plot and optimized region of time and temperature for the extraction of cricket proteins

### 3.3. คุณภาพผลิตภัณฑ์โปรตีนจิ้งหรีดที่สกัดได้และผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 8 พบว่าผงจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดไขมันและผงโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Figure 4) ให้ค่า  $a_w$  0.27 และ 0.23 ตามลำดับ โดยผงโปรตีนจิ้งหรีดที่มีการเติมมอลโตเด็คซ์ตรินและทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่า  $a_w$  ต่ำกว่า เนื่องจากการเติมมอลโตเด็คซ์ตรินจะไปเพิ่มส่วนที่เป็นของแข็งในสารละลายเป็นสารตัวพาช่วยเพิ่มร้อยละผลผลิต นอกจากนี้มอลโตเด็คซ์ตรินจะจับกับน้ำอิสระทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง [14] นอกจากนี้พบว่า ผงโปรตีน

จิ้งหรีดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีความสามารถในการละลายสูงกว่าผงจิ้งหรีดวัตถุดิบก่อนการสกัดโปรตีนและการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีความสามารถในการละลายเท่ากับ 92.34 และ 13.78 ตามลำดับ เนื่องจากการใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เกิดจากหัวอะตอมไมเซอร์ (Atomizer) ฉีดพ่นละอองของเหลวที่มีหยดขนาดเล็กมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวจำนวนมากในการระเหยความชื้นออกจากตัวอย่าง อนุภาคผงที่ได้จึงมีขนาดเล็กและใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ส่งผลให้สามารถละลายได้ง่ายขึ้น [15]



Figure 4 Cricket protein powders from spray drying

Table 8 Physical and chemical qualities of cricket protein powder products

| Qualities                | Defatted cricket powder | Spray dried cricket protein powder |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Solubility (%)           | 13.78                   | 92.34                              |
| Moisture content (%)     | 5.24                    | 3.69                               |
| Protein (%)              | 62.03                   | 80.25                              |
| Water activity ( $a_w$ ) | 0.37                    | 0.23                               |
| Color                    |                         |                                    |
| L*                       | 56.43                   | 79.84                              |
| a*                       | 4.15                    | 1.95                               |
| b*                       | 21.66                   | 17.87                              |
| C                        | 22.06                   | 17.90                              |
| $^{\circ}h$              | 79.17                   | 83.76                              |

### 4. บทสรุป

สถานะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจิ้งหรีด คือ การเตรียมสารละลายโปรตีนจิ้งหรีด โดยใช้ผงจิ้งหรีดที่ผ่านการบิบน้ำมันแบบเย็นและน้ำในอัตราส่วน 28.58 : 71.42 ปั่นผสมให้เข้ากัน กรองส่วนของกาก (ปีก ขน ขา) ด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปโฮโมจีไนส์ ด้วยความแรง 1,500 rpm นาน 3 นาที ต้มภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 126 องศาเซลเซียส นาน

45.44 นาที จากนั้นทำการโฮโมจีไนส์อีกรอบ กรองแยกกาก ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลายโปรตีนที่ได้ด้วยมอลโตเด็คซ์ตรินเป็น 22.5 °Brix ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกเป็น 160 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ได้ผงโปรตีนจิ้งหรีดที่มีความสามารถในการละลาย ร้อยละ 92.34 เมื่อเทียบกับวัตถุดิบผงจิ้งหรีดที่ไม่ผ่านการบิบน้ำมันและการสกัดโปรตีน

พบว่ามีความสามารถในการละลายต่ำเพียง ร้อยละ 13.78 ดังนั้นการสกัดโปรตีนด้วยวิธีดังกล่าวและทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย สามารถเพิ่มความสามารถในการละลายของผงจิ้งหรีดได้ถึง 6.70 เท่า ตามลำดับ และให้ผงโปรตีนจิ้งหรีดที่มีปริมาณโปรตีนสูง ร้อยละ 80.25 และให้ร้อยละผลผลิต 87.10

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างยิ่ง

## 6. References

- [1] 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.
- [2] 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)
- [3] Amarendar, R.V. and et al. 2020. Lipid and protein extraction from edible insects – Crickets (*Gryllidae*). **LWT - Food Science and Technology**. 125: 109222.
- [4] Wattanathorn, J. and et al. 2012. Aphrodisiac activity of *Kaempferia parviflora*. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**. 7(2): 114-120.
- [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] 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.
- [7] Rodsamran, P. and Sothornvit, R. 2018. Physicochemical and functional properties of protein concentrate from by-product of coconut processing. **Food Chemistry**. 241: 364-371.
- [8] Association Official Analytical Chemists. 2023. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 22<sup>nd</sup> edition. Rockville, MD: AOAC International.
- [9] Kunapornsujarit, D. and Intipunya, P. 2013. Effect of spray drying temperature on quality of longan beverage powder. **Food and Applied Bioscience Journal**. 1(2): 81-89. (in Thai)
- [10] Hemathulin, S., Rin, S. and Reungtip, R. 2023. Study of optimum conditions for soy milk production by response surface methodology. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**. 25(3): 75-86.
- [11] Bureau of Nutrition, Department of Health, Ministry of Public Health. 2018. **Food Composition Table of Thai Foods**. <https://nutrition2.namai.moph.go.th/th/thai-food-composition-table/download?id=61523&mid=31993&mkey=document&lang=th&did=18032>. Accessed 14 July 2023. (in Thai)
- [12] Wiwatphanit, K. 1999. **Insects: Future Human Food**. Bangkok: Institute of Thai Traditional Medicine. (in Thai)
- [13] Rianpreecha, C. 2017. **Foam-mat Drying of Ripe Papaya Pulp**. M.Sc. Thesis, Khon Kaen University.
- [14] Nugthum, M. and et al. 2021. Effects of maltodextrin and inlet air temperature on quality of spray-dried mangosteen powder. **KMUTT Research & Development Journal**. 44(2): 329-338. (in Thai).
- [15] Sonsomboonsuk, S. 2018. **Development of Instant Bael Powder Product by Spray Drying**. M.Eng. Thesis, Suranaree University of Technology. (in Thai)