องค์ประกอบทางเคมีและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีดทางการค้า

Chemical Composition and Optimum Condition of Protein Concentrate Extraction from Commercial Crickets

ธนาวุฒิ จิโน และ สุทัศน์ สุระวัง*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กุลรภัส วชิรศิริ

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

Thanawut Jino and Suthat Surawang*

Division of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

Kulraphat Wachirasiri

Expert Center of Innovative Health Food, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

Received: November 10, 2020; Accepted: January 18, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี จุดตกตะกอนของโปรตีน (pI) และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นของจิ้งหรีด 3 ชนิดที่นิยมเลี้ยงเพื่อจำหน่ายทางการค้า ได้แก่ จิ้งหรีดทองแดงลาย (Acheta domesticus) จิ้งหรีดทองมาเลย์ (Gryllus testaceus) และจิ้งโกร่ง (Brachytrupes portentosus) ผลการทดลองพบว่า จิ้งหรีดสดทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน โดยจิ้งโกร่งมีปริมาณโปรตีนสูงสุด ร้อยละ 68.97 จุดตกตะกอนของโปรตีน จากจิ้งหรีดทองแดงลาย จิ้งหรีดทองมาเลย์ และจิ้งโกร่ง อยู่ที่ pH 5.5 เมื่อทำการสกัดโปรตีนเข้มข้นด้วยการตกตะกอนที่ pH 5.5 โดยกำหนดปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียสและเวลาในการสกัด 30, 60 และ 90 นาที ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีดทองแดงลายและจิ้งโกร่ง คือการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ได้ปริมาณโปรตีน 26.77 mg/mL และ 27.00 mg/mL ตามลำดับ ในขณะที่การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีดทองมาเลย์ โดยได้ปริมาณโปรตีน 26.99 mg/mL

คำสำคัญ : จิ้งหรีด, โปรตีนเข้มข้น, การสกัดโปรตีน, จุดตกตะกอนโปรตีน

**Corresponding author: ssurawang@gmail.com*

Abstract

The objective of this research was to evaluate the chemical composition of 3 cricket types; house cricket (Acheta domesticus), golden cricket (Gryllus testaceus Walker) and giant cricket (Brachytrupes portentosus). The optimum condition for protein concentrate extraction and their isoelectric point (pI) were also studied. Giant cricket (B. portentosus) had the highest protein content of 68.97%. The pI value of proteins from house cricket, golden cricket and giant cricket was 5.5. The protein concentrate extraction was studied using the temperature of 40, 50 and 60 °C for 30, 60 and 90 min. The results found that the highest protein contents from house cricket and giant cricket, extracted at 50 °C for 60 min were 26.77 and 27.00 mg/mL, respectively. The highest protein content from golden cricket extracted was 26.99 mg/mL at the condition of 60 °C for 90 min.

Keywords: cricket; protein concentrate; protein extraction; isoelectric point

1. บทนำ

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เพราะเซลล์ของสิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดจะต้องมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในไซโทพลาซึม โดยมนุษย์ได้รับสารอาหารประเภทโปรตีนจากพืชและสัตว์ (นิธิยา, 2557) การสกัดโปรตีนสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่ การสกัดโดยใช้ความร้อน การสกัดโดยใช้กรดหรือด่าง และการสกัดด้วยเอนไซม์ (Panyam and Kilara, 1996) ซึ่งคุณลักษณะของโปรตีนที่ได้จะแบ่งเป็นโปรตีนเข้มข้น (concentrate protein) โปรตีนไอโซเลท (isolated protein) และโปรตีนไฮโดรไลเซท (hydrolysate protein) โดยโปรตีนสกัดเข้มข้นที่สกัดโดยใช้ความร้อนหรือด่าง จะนิยมนำมาใช้ผลิตเป็นโปรตีนเข้มข้นด้วยการสกัดด้วยเอนไซม์หรือกรด เพื่อให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้นและปรับปรุงหรือเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่บางประการให้ดีขึ้น เช่น สมบัติการเกิดอิมัลชัน การเกิดโฟม การเกิดเจล และการละลาย เป็นต้น (Kristinson and Rasco, 2000)

แมลงเป็นสัตว์ที่มีปริมาณมากที่สุดในโลก และมีบทบาทสำคัญทางประวัติศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารของมนุษย์มาช้านาน (Defoliart, 1992) โดยแมลงที่สามารถรับประทานได้บนโลกนี้มีมากกว่า 1,400 สปีชีส์ (Van Huis, 2013) ในประเทศไทยนิยมบริโภคแมลงมาอย่างยาวนาน มีการเลี้ยงแมลงเพื่อทำการบริโภคมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543 (ทัศนีย์, 2555) โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ แมลงที่นิยมนำมาบริโภค ได้แก่ ด้วง หนอนผีเสื้อตั๊กแตน และจิ้งหรีด (วรากร และคณะ, 2518) จิ้งหรีดเป็นแมลงกินได้ที่มีความนิยมในปัจจุบัน ทั้งในด้านการเลี้ยงและการแปรรูป โดยมีฟาร์มจิ้งหรีดประมาณ 22,340 รายในประเทศไทย (Hanboonsong *et al.*, 2001) รวมทั้งมีการขยายพันธุ์จิ้งหรีดในระดับอุตสาหกรรม และมีเกษตรกรจำนวนมากเพาะเลี้ยงเป็นอาชีพเสริม

นอกจากนี้องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ยังมีการรณรงค์ให้ประชาชนหันมาบริโภคแมลงเพื่อต่อสู้กับภาวะอดอยากและขาดแคลนอาหารอันเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น และปริมาณผลผลิตทางการเกษตรไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นแมลงกินได้จึงเป็นอาหารทางเลือกโดยเฉพาะอาหารโปรตีน เพื่อทดแทนอาหารที่ขาดแคลนไป (Gahukar, 2011)

จากงานวิจัยของ Hanboonsong (Hanboonsong *et al.*,2001) จิ้งหรีดมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 21.5 โดยมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยมากกว่าเนื้อสุกรและไข่ ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 14.6 และ 13.0 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแมลงกินได้ชนิดอื่นๆ เช่น หนอนไม้ไผ่ ที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 15.3 (Yhoung–Aree and Viwatpanich, 2005) ตั๊กแตนเล็กร้อยละ 20.6 (กัณฑ์วีร์, 2542)

อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบปริมาณโปรตีนจากถั่วเหลือง พบว่ามีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าถั่วเหลือง (มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 36.5) (Young and Pallet, 1994) จากสถานการณ์ในปัจจุบันการผลิตโปรตีนจากเนื้อสัตว์หรือพืชมีต้นทุนสูง โดยกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปมีการแก้ปัญหานี้ด้วยการใช้แหล่งโปรตีนทางเลือกจากแมลง นอกจากจะมีประโยชน์ในแง่คุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังถือว่าแมลงเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่มีต้นทุนต่ำด้วย (Van Huis, 2013) ปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปแมลงในประเทศไทยนิยมแปรรูปแมลงในรูปแบบของการทอดและการแช่แข็งเป็นส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จากแมลงกินได้ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะมีการคงรูปร่างของแมลงไว้ ทำให้ผู้บริโภคเกิดความกังวลและไม่มั่นใจจะรับประทาน การแปรรูปแมลงกินได้ เช่น การบดเป็นผง การสกัดบางส่วนจากแมลงเพื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะทำให้ผู้บริโภคเกิดการยอมรับและรับประทานแมลงมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากจิ้งหรีดและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีดที่นิยมเพาะเลี้ยงและจำหน่ายทางการค้า ซึ่งศักยภาพของผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนจากแมลงที่ได้กล่าวมานั้นสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีคุณค่าทางโภชนาการได้อีกมากมาย เช่น เครื่องดื่มสำเร็จรูปโปรตีนสูง การนำแมลงอบแห้งผงไปใช้ทดแทนแป้งในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น

2.วิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างจิ้งหรีดที่เพาะเลี้ยงและจำหน่ายทางการค้า

จิ้งหรีด 3 ชนิด ได้แก่ จิ้งหรีดทองแดงลาย (Acheta domesticus) จิ้งหรีดทองมาเลย์ (Gryllus testaceus) และจิ้งโกร่ง (Brachytrupes portentosus) เลี้ยงในฟาร์มที่มีระบบปิด ให้อาหารจากผัก เช่น แครอท ผักกาด และเกล็ดข้าวโพดจากภาคิณฟาร์ม อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ แล้วนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้มีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 (AOAC, 2007) ทำการบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดตัวอย่าง (IKA, Germany) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 16 mesh (Endecotts, England) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุงพอลิเอทิลีนเพื่อใช้ในการวิจัยต่อไป

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของจิ้งหรีด

การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ ของจิ้งหรีดทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method (N x 6.25), ปริมาณไขมัน โดยวิธี Soxhlet extraction, ปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้าตามวิธีมาตรฐาน AOAC (AOAC, 2007)

2.3 การศึกษาจุดตกตะกอนโปรตีนของจิ้งหรีด

ทำการสกัดตัวอย่างจิ้งหรีดอบแห้งในช่วง pH 2–12 ด้วยฟอสเฟสบัฟเฟอร์ (RCI, USA) ใช้อัตราส่วนตัวอย่างจิ้งหรีดชนิดต่างๆ ต่อฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 1:10 โดยใช้ magnetic stirrer (IKA, Germany) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แยก

ส่วนสารละลายที่เป็นของเหลว (supernatant) ซึ่งเป็นส่วนที่โปรตีนละลายอยู่ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Hermle, Germany) ที่ความเร็วรอบ 9500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน นำมาเปรียบเทียบร้อยละการละลายของโปรตีน (protein solubility) โดยเลือกค่า pH ที่ให้ค่าร้อยละโปรตีนที่สกัดได้สูงสุด เป็นค่า pH ในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีด (ดัดแปลงวิธีจากกาญจนา และสุคนธ์ชื่น, 2549)

2.4 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีด

ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดโปรตีนเข้มข้นโดยวางแผนการทดลองแบบ factorial design ผันแปร 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) และเวลาที่ใช้ในการสกัด (30, 60 และ 90 นาที) โดยกำหนด pH ที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 จากนั้นทำการตรวจวัดคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำ (soluble protein) ด้วยวิธี Bicinchoninic acid assay (BCA) (Walker, 2009)

2.5 การวิเคราะห์สถิติ

ในการทดลอง หน่วยทดลองจะถูกทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรมทางสถิติสำเร็จรูป Minitab 16 (Minitab Inc. State College, PA, USA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 องค์ประกอบโดยประมาณของจิ้งหรีดชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบโดยประมาณของจิ้งหรีดแต่ละสายพันธุ์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จิ้งหรีดทองแดงลาย (A. domesticus) จิ้งโกร่ง (B. portentosus) และจิ้งหรีดทองมาเลย์ (G. testaceus) ที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ปริมาณองค์ประกอบโดยประมาณ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้นของจิ้งหรีดสายพันธุ์ต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณโปรตีนของจิ้งโกร่งมีปริมาณสูงที่สุดร้อยละ 68.97 จิ้งหรีดทองมาเลย์มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุดร้อยละ 62.11 (Table 1) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Ndiritu (2017) พบว่าจิ้งหรีดทองแดงลายมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 62.72 ถึงแม้ว่าจิ้งหรีดทองมาเลย์จากการทดลองจะมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจิ้งหรีดทางการค้าชนิดอื่นๆ

Table 1 Chemical composition (g/100 g sample, dry basis) of dried commercial crickets.

Chemical composition (g/100g sample)	*A. domesticus*	*B. portentosus*	*G. testaceus*
Protein	66.83 ± 0.68^{b}	68.97 ± 0.24^{a}	62.11 ± 0.66^{c}
Fat	19.36 ± 0.42^{b}	16.12 ± 1.23^{c}	25.64 ± 0.91^{a}
Ash	4.48 ± 0.03^{a}	4.14 ± 0.07^{b}	3.36 ± 0.08^{c}
Moisture	8.21 ± 0.91^{ab}	9.22 ± 0.74^{a}	7.71 ± 0.37^{b}
Carbohydrates ^{ns}	1.13 ± 0.13	1.55 ± 0.47	1.17 ± 0.26

Note: a, b, c, means within the same row with different letters are significantly different ($p<0.05$).

แต่ก็ยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแมลงกินได้ชนิดอื่นๆ เช่น หนอนไหม (Bombyx mori) ที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 53.76 (Blasquez et al., 2012) และตั๊กแตน (Sphenarium purpurascens) ที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 52.60 (Phillips and Burkholder, 1984) ปริมาณไขมันของจิ้งหรีดแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จิ้งหรีดทองมาเลย์มีปริมาณไขมันสูงที่สุดร้อยละ 25.64 จิ้งโกร่งมีไขมันเพียงร้อยละ 16.12 โดยมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.36–4.48 (Table1) ปริมาณไขมันและเถ้าของจิ้งหรีดทองแดงลายที่วิเคราะห์ได้ มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Ndiritu (2017) โดยพบว่าจิ้งหรีดทองแดงลายมีปริมาณไขมัน ร้อยละ 18.87 และปริมาณเถ้า ร้อยละ 4.19 เมื่อทำการอบแห้งแล้ว ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ของจิ้งหรีดทองแดงลายจะมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด คือร้อยละ 7.71

3.2 จุดตกตะกอนโปรตีนของจิ้งหรีด

โปรตีนในสภาวะปกติจะมีค่า pH สูงกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก (pI) และมีประจุรวมเป็นลบ ทำให้โปรตีนสามารถแขวนลอยในน้ำอยู่ในสภาวะไฮโดรคอลลอยด์การทำให้ pH ลดลง จนเข้าใกล้จุดตกตะกอนทำให้โปรตีนมีประจุเป็นศูนย์ เมื่อแรงผลักระหว่างโมเลกุลลดลงทำให้เกิดการตกตะกอน (นิธิยา, 2557) โดยโปรตีนจะสามารถละลายน้ำได้ดีที่ pH สูงหรือต่ำจะเกิดจากโครงสร้างของกลุ่มโปรตีนที่คลายตัวออกแล้วประจุรวมของโมเลกุลของโปรตีนเป็นลบ แล้วมีผลทำให้กลุ่มโปรตีนที่ชอบน้ำ ละลายได้ดีมากขึ้น (Yu *et al.*, 2007) การหาจุดตกตะกอนของโปรตีนจากจิ้งหรีดทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยการตกตะกอนด้วยบัฟเฟอร์ใน pH ที่แตกต่างกันช่วง pH 2–12 พบว่าจุดตกตะกอนโปรตีนของจิ้งหรีดทองแดงลาย จิ้งหรีดทองมาเลย์ และจิ้งโกร่งมีค่าอยู่ที่ pH 5.5 (Figure 1) มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gresiana (Gresiana *et al.*, 2015) ที่ได้ทำการทดลองหาจุดตกตะกอนโปรตีนของโปรตีนไอโซเลทของจิ้งหรีด (Gryllus mitratus) พบว่ามีจุดตกตะกอนโปรตีนอยู่ที่ pH 5 และมีการละลายสูงสุดที่ pH 8

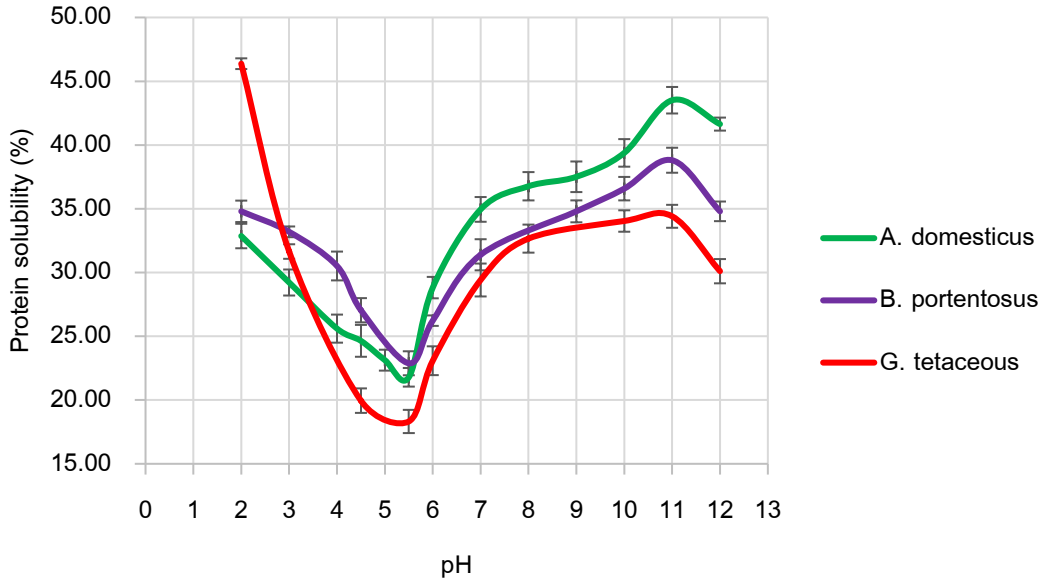

Figure 1 The protein solubility of commercial crickets at pH 2–12

3.3 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีด

การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีด โดยใช้ผงจิ้งหรีดอบแห้งบดละเอียด ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ได้ผลดัง Table 2

การสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีดทองแดงลายโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะได้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (26.77 mg/mL) โดยปริมาณโปรตีนที่ได้ไม่แตกต่างจากการสกัดที่ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที (26.37 mg/ mL) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกันกับการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งโกร่งที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน จะได้ปริมาณโปรตีน 27.00 mg/mL และ 26.98 mg/mL ตามลำดับ (Table 2) สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากจิ้งหรีดทองมาเลย์ พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะได้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ 26.99 mg/mL L'Hocine and Pitre (2016) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 50 องศาเซลเซียสในการสกัดจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพของโปรตีนแบบที่ไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ (irreversible denaturation)

Table 2 Protein content of concentrated protein from commercial crickets with different extracted temperatures and times.

Treatments	Temp (°C)	Time (min)	Protein content (mg/mL)		
			A. domesticus	*B. portentosus*	*G. testaceus*
1	40	30	18.25 ± 0.94^{d}	20.23 ± 1.32^{f}	22.80 ± 0.66^{d}
2	40	60	23.75 ± 0.94^{c}	24.05 ± 0.37^{d}	25.11 ± 1.07^{bc}
3	40	90	23.13 ± 0.40^{c}	24.95 ± 0.32^{cd}	25.99 ± 0.31^{ab}
4	50	30	18.54 ± 1.04^{d}	22.78 ± 0.89^{e}	22.90 ± 0.20^{d}
5	50	60	26.77 ± 0.27^{a}	27.00 ± 0.53^{a}	26.90 ± 0.64^{a}
6	50	90	25.07 ± 0.98^{b}	26.30 ± 0.18^{ab}	26.57 ± 0.75^{a}
7	60	30	23.65 ± 0.73^{c}	24.56 ± 0.19^{cd}	24.70 ± 0.21^{c}
8	60	60	23.70 ± 0.50^{c}	25.73 ± 0.81^{bc}	24.88 ± 0.84^{bc}
9	60	90	26.37 ± 0.65^{ab}	26.98 ± 0.57^{a}	26.99 ± 0.19^{a}

Note: $^{a–f}$ means within the same column with different letters are significantly different ($p<0.05$)

Table 3 *p–value* of factors and interaction between temperature and time for protein extraction.

p–values	*A. domesticus*	*B. portentosus*	*G. testaceus*
Temperature	<0.001	<0.001	0.012
Time	<0.001	<0.001	<0.001
Temp*Time	<0.001	0.04	0.01

ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดโดยตรงคืออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด ค่า p–value ของแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่า 0.05 (Table 3) โดยมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากจิ้งหรีดทุกสายพันธุ์ รวมไปถึงอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและเวลาก็มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้เช่นเดียวกัน ซึ่งปริมาณโปรตีนสกัดเข้มข้นจากจิ้งหรีดทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากถูกทำให้บริสุทธิ์ขึ้นจากการสกัด และลดปริมาณองค์ประกอบอื่นลง โดยปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ของจิ้งหรีด มีผลมาจากความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ อาหาร และวงจรชีวิต (Chen et al., 2009) ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จะมากขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และเวลาที่นานขึ้น Lee et al. (2019) แต่ผลของการใช้สภาวะที่รุนแรงในการสกัดจะส่งผลให้กรดอะมิโนเปลี่ยนรูปจาก L–form เป็นกรดอะมิโน D–form ซึ่งร่างกายไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร (วารยา, 2539; Johnson and Peterson, 1974) การใช้อุณหภูมิและเวลาในการสกัดโปรตีนเข้มข้นเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด มีต้นทุนต่ำ และมีสารตกค้างน้อย สามารถประยุกต์สำหรับชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้ (Coelho et al., 2019)

4. สรุป

จิ้งหรีดสดทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 17.51–22.20 โดยจิ้งโกร่งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด จุดตกตะกอนของโปรตีนของจิ้งหรีดทองแดงลาย จิ้งหรีดทองมาเลย์และจิ้งโกร่ง เท่ากับ pH 5.5 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีดทองแดงลาย และจิ้งโกร่ง คือการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะได้ปริมาณโปรตีน 26.77 และ 27.00 mg/ mL ตามลำดับ ส่วนจิ้งหรีดทองมาเลย์ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะได้ปริมาณโปรตีน 26.99 mg/ mL โดยที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ ซึ่งโปรตีนสกัดเข้มข้นที่ได้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากโครงการการสร้างภาคีในการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท–เอก ระหว่างสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กับสถาบันการศึกษา และทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

6. References

Blasquez, J., Pino Moreno, J. M., & Martinez Camacho, V. H. (2012). Could grasshoppers be a nutritive meal. *International Journal of Food Science*, *3,* 164–175.

Butsapathamrong, V. (1996). *Protein hydrolysate drink from pea*. (Master of Science in Food Technology), Faculty of Science, Chulalongkorn University. (in Thai)

Chaemchanya, T. (2012). The sustainable of edible insect. *Khonkaen Agriculture Journal, 40*(3), 203-206. (in Thai)

Chen, X., Feng, Y., & Chen, Z., (2009). Common edible insects and their

utilization in China. *Entomological Research, 39,* 299–303.

Coelho, T. L. S., Braga, F. M. S., Silva, N. M. C., Dantas, C., Junior, C. A. L., de Souda, S. A. A., & Vieira, E. D. (2019). Optimization of the protein extraction method of goat meat using factorial design and response surface methodology. *Food Chemistry*, *281,* 63–70.

De foliart, G.R. (1992). Insects as Human food. Gene De foliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop Protection*, *11,* 395-399.

Gahukar, R.T. (2011). Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*, *31*(3), 129–144.

Gresiana, F., Marpaung, A., M., & Sutanto, H. (2015). Protein Isolation from Cricket (*Gryllus mitratus*). *Proceedings of the International Conference on Innovation*, Entrepreneurship and Technology 25–26 November 2015, BSD City, Indonesia.

Hanboonsong, Y., Rattanapan, A., Waikakul, Y., & Liwavanich, A. (2001). Edible Insect Survey in Northeastern Thailand. *KhonKaen Agriculture Journal*, *29*(1), 35–44.

Inthonsin, K., & Srigam, S. (2006). Optimum condition to preparing and extracted protein from beer's production waste. *The 44th Kasetsart University Academic Conference: Faculty of Agro Industry, Faculty of Economics and Faculty of Business Administration*. Kasetsart University. (in Thai)

Johnson, A.H., & Peterson, M.S. (1974). *Encyclopedia of Food Technology and Food Science Series Vol. II: Encyclopedia of food science*. The AVI Publishing Company, Inc. Westport. Connecticut.

Kristinson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish Protein Hydrolysate Production, Biochemical and Functional Properties. *Review in Food Science and Nutrition*, *40*(1), 43–81.

Kwantong, S. (1997). Distribution of edible insects in the lower northeastern Thailand. *Suranaree Journal of Science and Technology*, *4,* 211-217. (in Thai)

L' Hocine, L., & Pitre, M. (2016). Quantitative and qualitative optimization of allergen extraction

from peanut and selected tree nuts. Part 1. Screening of optimal extraction conditions using a D–optimal experimental design. *Food Chemistry*, *194,* 780–786.

Lee, H.J., Kim, J.H., & Lee, C.H. (2019). Effects of Heating Time and Temperature on Functional Properties of Proteins of Yellow Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Food Science of Animal Resources, 39*(2), 296–308.

Ndiritu, A. (2017). *Physical, Chemical and Functional Characterization of Edible Cricket (Acheta domesticus) Protein Concentrate*. (Master of Science in Food Science and Nutrition). Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology. Kenya.

Panyam, D., & Kilara, A. (1996). Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification. *Trends Food Science and Technology*, *7,* 120–125.

Phillips, J., & Burkholder, W. (1984). Allergies related to food insect production and consumption. *Food Insects Newsl. 8,* 1–2.

Rattanapanon, N. (2014). *Food Chemistry 5th edition*. Odeon Store: Bangkok. (in Thai)

Van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *The Annual Review of Entomology, 58*(1), 563–83.

Walker J.M. (2009). *The Bicinchoninic Acid (BCA) Assay for Protein Quantitation*. In: Walker J.M. (eds) The Protein Protocols Handbook. Springer Protocols Handbooks. Humana Press, Totowa, NJ.

Wiwatphanit, K. (1999). *Edible insect: future human food*. Thai medical institute, Department of medicine, Ministry of public health. War veterans organization officer of printing mill: Bangkok. (in Thai)

Yhoung–Aree, J., & Viwatpanich, K. (2005). Edible insects in the Lao PDR, Myanmar, Thailand and Vietnam. In M. G. Paoletti, ed. Ecological implications of mini–livestock. *Potential of insects, rodents, frogs and snails*, pp. 415–440. Enfield, New Hampshire, Science Publisher, Inc.

Young, V.R., & Pallet, P. L. (1994). Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*. *59,* 1203–1212.

Yu, J., Ahmedna, M., & Goktepe, I. (2007). Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry, 103,* 121–129.