การสกัดโปรตีนเข้มข้นจากผงจิ้งหรีดด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์ สำหรับผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพ

Concentrate protein extraction from cricket powder by ultrasound technique for healthy extruded pasta product

สุภาษิต ชูกลิ่น[1*] สิริรัตน์ พึ่งชมภู[2] ผกามาส ปุรินทราภิบาล[3] ธนากรณ์ ดำสุด[4]

Supasit Chooklin[*1] Sirirat Pungchompoo[2] Pakamas Purintrapibal[3] Thanakorn Damsud[4]

[1,3]หลักสูตรเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มทร.ศรีวิชัย วข.นครศรีฯ จ.นครศรีฯ 80240

[1,3]Food Technology and Innovation, Faculty of Agro – Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Campus, Nakhon Si Thammarat, 80240.

[2]หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90000.

[2]Industrial Engineering Program, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla, 90000.

[4]หลักสูตรเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.ศรีวิชัย วข.นครศรีฯ จ.นครศรีฯ 80110

[4]Beauty Product Technology Program, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Campus, Nakhon Si Thammarat, 80110

ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: supasit.c@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากผงจิ้งหรีด (พันธุ์สะดิ้งหรือจิ้งหรีดบ้าน) ด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์สำหรับผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพ พบว่า ผงจิ้งหรีดสะดิ้งมีค่าโปรตีนและไขมันเท่ากับ 58.30%w/w และ 16.08%w/w ตามลำดับ โดยสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีดสายพันธุ์นี้ด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) แบบ Box-Behnken Design คือ S/L เท่ากับ 6 อุณหภูมิที่ 40°C เวลา 30 นาที ที่ค่า pH คงที่เท่ากับ 11 มีค่าผลผลิต (Yield) โปรตีนเท่ากับ 22.32%w/w เมื่อนำผงโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้ไปผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) จะมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 69.50%w/w คิดเป็นผลผลิต 59.55% และอัตราการสกัดโปรตีนเท่ากับ 71.03 การผลิตเส้นพาสต้าผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จากแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 (20%) เสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็ง 10% มีคะแนนความชอบสูงสุด (8.18) ใช้ระยะเวลาในการต้มสุก (12.30 min) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำ (20.94%) และผลได้สูง (78.05%)

คำสำคัญ : โปรตีนเข้มข้น ผงจิ้งหรีด เทคนิคอัลตราซาวด์ พาสต้า เอกซ์ทรูเดอร์

Abstract

This research determined concentrated protein extraction from cricket powder *Acheta domesticus*) with ultrasound technique for healthy extruded pasta product. The results showed that the protein and lipid values were 58.30%w/w and 16.08% w/w, respectively. The optimum conditions for protein extraction from this species of cricket powder were obtained by the response surface method with Box-Behnken Design (RSM) was S/L of 6, temperature at 40°C, time for 30 min, at constant pH of 11. Protein yield was 22.32% from these conditions. Protein content, yield and protein extraction rate was 69.50%w/w, 59.55% and 71.03, respectively. The production of pasta with the extruder from Med Fay 62 brown rice flour (20%) supplemented with 10% of frozen cricket powder protein had the highest liking score (8.18). The cooking time is 12.30 min and had low solids loss (20.94%) but high yield (78.05%). Cookies fortified with 10% cricket powder had the highest score (7.13).

Keywords: Protein concentrate, Cricket powder, Ultrasound technique, Pasta, Extruder

บทนำ

ปัจจุบันแมลงบริโภคได้ (Edible insects) มีศักยภาพเพียงพอที่จะเป็นแหล่งผลิตโปรตีนชนิดใหม่สำหรับประชากรโลก จากรายงานการรวบรวมข้อมูลของแมลงบริโภคได้ จำนวน 236 ชนิด พบว่า โปรตีนของแมลงบริโภคได้มีคุณภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากพืชและสัตว์ นอกจากมีปริมาณโปรตีนสูงแล้วยังมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนสำหรับมนุษย์ (Pantoa, 2020) ข้อมูลจากองค์การอาหารและการเกษตร ระบุไว้ว่าอนาคตการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกจะมากถึง 8,000 ล้านคน ในปี 2024 และมากถึง 9,000 ล้านคน ในปี 2050 ได้มีการประเมินว่าแหล่งอาหารและโปรตีนจะมีอย่างจำกัด จิ้งหรีดจัดเป็นแมลงบริโภคได้ที่มีศักยภาพสำหรับประเทศไทยที่จะพัฒนาการเลี้ยงเพื่อเป็นแมลงสำคัญทางเศรษฐกิจ (Chansom, 2020) ข้อมูลทางสถิติในปี 2563 มีเกษตรของไทยจำนวน 25,218 ราย (272,922 บ่อ) ผลผลิตรวม 24,563 ตัน คิดเป็นมูลค่า 274 ล้านบาท ส่งออกจิ้งหรีดปริมาณ 0.71 ตัน คิดเป็นมูลค่า 0.32 ล้านบาท ซึ่งมีแหล่งผลิตอยู่ทุกภาคของประเทศ ในทางภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีจำนวนเกษตรกรที่เลี้ยงจิ้งหรีดมากที่สุดจำนวน 29 ราย (Agricultural Technology Promotion Center (Economic Insects) Chumphon Province, 2018) จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองดำ (*Gryllus bimaculatus*) และสายพันธุ์สะดิ้ง (*Acheta domesticus*) หรือจิ้งหรีดบ้านจะนิยมเลี้ยงกันมากที่สุด จิ้งหรีดทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณโปรตีน (60-70% โดยน้ำหนักแห้ง) และไขมัน (10-23%) อยู่สูง (Udomsil *et al*., 2019) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจิ้งหรีดบ้าน พบว่า มีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยและเถ้าเท่ากับ 12.64, 60.40, 16.92, 12.93 และ 3.81% ตามลำดับ (Chooklin *et al*., 2023) โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เพราะเซลล์ของสิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดจะต้อง มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในไซโทพลาซึม โดยมนุษย์ได้รับสารอาหารประเภทโปรตีนจากพืชและสัตว์ (Rattanapanont, 2014)

ปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปแมลงในประเทศไทยนิยมแปรรูปแมลงในรูปแบบของการทอดและการแช่แข็งเป็นส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จากแมลงบริโภคได้ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะมีการคงรูปร่างของแมลงไว้ ทำให้ผู้บริโภคเกิดความกังวลและไม่มั่นใจจะรับประทาน การแปรรูปแมลงบริโภคได้ เช่น การบดเป็นผง การสกัดบางส่วนจากแมลง เช่น โปรตีนหรือไขมัน เพื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะทำให้ผู้บริโภคเกิดการยอมรับและรับประทานแมลงมากขึ้น (Jino and Surawang, 2021) การสกัดโปรตีนสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่ การสกัดโดยใช้ความร้อน การสกัดโดยใช้กรดหรือด่างและการสกัดด้วยเอนไซม์ (Panyam and Kilara, 1996) ซึ่งคุณลักษณะของโปรตีนที่ได้จะแบ่งเป็นโปรตีนเข้มข้น (Concentrate protein) โปรตีนไอโซเลท (Isolated protein) และโปรตีนไฮโดรไลเซท (Hydrolysate protein) โดยโปรตีนสกัดเข้มข้นที่สกัดโดยใช้ความร้อนหรือด่างจะนิยมนำมาใช้ผลิตเป็นโปรตีนเข้มข้นด้วยการสกัดด้วยเอนไซม์หรือกรดเพื่อให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้นและปรับปรุงหรือเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่บางประการให้ดีขึ้น เช่น สมบัติการเกิดอิมัลชัน การเกิดโฟม การเกิดเจลและการละลาย เป็นต้น (Kristinson and Rasco, 2000) การสกัดด้วยน้ำและด่างเป็นวิธีการแบบดั้งเดิมในการสกัดโปรตีนแต่วิธีการนี้จะต้องใช้เวลาสกัดนาน ผลผลิตต่ำและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมดังนั้นการใช้อัลตราซาวด์ช่วยสกัด (Ultrasound-assisted extraction, UAE) จะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการสกัดช่วยเพิ่มผลได้และลดเวลาในการสกัด (Duangjarus *et al*., 2021)

อุตสาหกรรมอาหารมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ยิ่งในยุคปัจจุบันที่ผลกระทบจากการระบาดของโควิด-19 ทำให้ผู้บริโภคมีพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากเห็นได้จากการให้ความสำคัญกับคุณค่าทางโภชนาการ ความสะอาดและปลอดภัยต่อสุขภาพและที่ขาดไม่ได้ คือ รสชาติยังต้องอร่อยและสดใหม่อยู่เสมอ แนวโน้มในปัจจุบันพบว่า ไม่เพียงแต่ผู้สูงวัยที่เลือกรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพแต่กลุ่มคนรุ่นใหม่ไม่ว่าจะเป็น Gen Y หรือ Gen Z ล้วนมองหาผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่ดีต่อ

สุขภาพเพราะต้องการมีร่างกายที่แข็งแรงต่อสู้กับโรคภัยเช่นเดียวกัน อาหารฟังก์ชั่น (Functional food) เป็นอาหารที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ที่ทางอุตสาหกรรมอาหารในประเทศที่พัฒนาแล้วได้พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการอาหารที่มีรสชาติดี สะดวกในการรับประทานและมีประโยชน์ต่อสุขภาพทั้งระยะสั้นและระยะยาวโดยเฉพาะช่วยลดความเสี่ยงและป้องกันปัญหาสุขภาพของผู้บริโภคที่เกิดจากรับประทานอาหารที่ไม่ถูกต้อง ไม่ครบหรือไม่เพียงต่อความต้องการของร่างกายและเป็นประโยชน์ในด้านธุรกิจแต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับในหน่วยงานที่กำกับดูแลด้านอาหาร (Lertrat *et al*., 2018) ผู้ประกอบการอาหารมีการแปรรูปจิ้งหรีดเป็นผงจิ้งหรีดเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เครื่องดื่มและขนมขบเคี้ยว แม้ว่าในผงจิ้งหรีดจะมีโปรตีนอยู่สูงแต่ยังคงมีไขมันอยู่สูงเช่นกันซึ่งส่วนใหญ่เป็นไขมันอิ่มตัว การนำผงจิ้งหรีดไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารอาจจะส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ การสกัดแยกโปรตีนหรือไขมันออกมาจากผงโปรตีนจะทำให้สารสกัดที่เข้มข้นเหมาะกับผู้บริโภคที่ต้องการสารอาหารที่มีปริมาณสูงโดยเฉพาะโปรตีน เช่น ผู้สูงวัยหรือผู้ที่ออกกำลังกาย เพื่อเสริมกล้ามเนื้อในร่างกาย เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำจิ้งหรีดที่นิยมเลี้ยงในจังหวัดนครศรีธรรมราชมาผลิตเป็นผงจิ้งหรีดแล้วสกัดโปรตีนเข้มข้นด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์เพื่อนำโปรตีนที่สกัดได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันจะช่วยยกระดับผงจิ้งหรีดและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสารสกัดโปรตีนเข้มข้นในทางพาณิชย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1.การเตรียมผงจิ้งหรีด

จิ้งหรีด (สายพันธุ์สะดิ้งและทองดำ) ตัวเต็มวัยจากฟาร์มเกษตรกร (นายทั่ง) อ.เชียรใหญ่ จ.นครศรีธรรมราช นำมาแช่ในน้ำเย็น จึงตักออกด้วยกระชอนใส่ลงในน้ำสะอาด แล้วล้างด้วยน้ำ 3 ครั้ง นำไปลวกในน้ำต้มเดือด แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (80°C, 7 hr) จากนั้นบดด้วยเครื่องบด และร่อนด้วยตะแกรงร่อน (ขนาดอนุภาค 250 µm) เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดสนิทที่อุณหภูมิ 4°C (modified from Chooklin *et al*., 2023) ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ (ค่าสี (L*, a* และ b*) ด้วยเครื่อง Hunter Lab และองค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ตามวิธี AOAC (2000) และเพื่อเตรียมการสกัดโปรตีนต่อไป

2.สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีดด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์

นำผงจิ้งหรีด (สายพันธุ์สะดิ้งจากปริมาณโปรตีนสูงสุด) ที่ผ่านการเตรียมมา 20 g สกัดโปรตีนโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อัตรา S/L อุณหภูมิและเวลาในการสกัดตาม Table 1 ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ ((120 W, 45 kHz) ที่ pH 11.0 (modified from Chooklin *et al*., 2023) โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนด้วยการใช้โปรแกรมทางสถิติเพื่อช่วยในการออกแบบการทดลอง โดยมีการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดโปรตีนไว้ 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ (X_1) สัดส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลาย (X_2) และเวลา (X_3) ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (+1) (ตารางที่ 1) นำปัจจัยต่างๆ ไปกำหนดลำดับและออกแบบชุดการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ด้วยเทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) แบบ Box-Behnken Design โดยกำหนดให้ร้อยละผลได้โปรตีนเป็นค่าตอบสนอง (Y) จะได้จำนวนชุดทดลองทั้งหมด 17 ชุด โดยมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 5 ชุดการทดลอง แยกส่วนสารละลายที่เป็นของเหลว (Supernatant) ซึ่งเป็นส่วนที่โปรตีนละลายอยู่ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ 4°C ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็น

เวลา 20 min นำส่วนใสไปวิเคราะห์ %protein เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด หลังจากนั้นดำเนินการสกัดโปรตีนด้วยสภาวะที่เหมาะสมปริมาณ 1.5 L นำสารสกัดโปรตีนไปฟรีซดรายจนได้สารสกัดโปรตีน (ความชื้นน้อยกว่า 5%) จากนั้นนำผงโปรตีนเข้มข้นวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 2000) และคำนวณดังนี้

ร้อยละผลผลิต (Extraction yield%) = (น้ำหนักของสารสกัด(g)/น้ำหนักของตัวอย่าง(g)) x 100

อัตราการสกัดโปรตีน (Extraction rate of protein%) = (ปริมาณโปรตีนของสารสกัด(g)/ปริมาณโปรตีนของตัวอย่าง(g)) x %ผลผลิต

Table 1 Factor and level in experiment

Factor	Level		
	-1	**0**	**1**
Extraction temperature (X_1)	30	35	40
S/L ratio (X_2)	1:3	1:6	1:9
Extraction time (X_3)	10	15	30

3.การใช้โปรตีนที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันเพื่อสุขภาพ

นำผงโปรตีนจิ้งหรีดเข้มข้นจากข้อ 1 (0-20%) บดผสมกับแป้งสาลี แป้งข้าวกล้องไร่นครสายพันธุ์เม็ดฝ้าย 62 (MFF) และสังข์หยด (SYF; 0-30%) แป้งข้าวเจ้า (20%) แป้งมันสำปะหลัง (20%) น้ำมันพืช (3%) น้ำ (5%) และเกลือ (1%) ในเครื่องเครื่องผสมจากนั้นนำส่วนผสมไปแปรรูป โดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) ใช้หน้าแปลนรูปวงกลม 1 รู (3 mm) อัตราการป้อนส่วนผสม 10 rpm อัตราการป้อนน้ำ (Stroke 20%, Frequency 85-90%) ความเร็วรอบสกรู 80 rpm อุณหภูมิบาร์เรล 1 – 6 และดายเท่ากับ 30, 80, 90, 120, 80, 70 และ 70°C ตามลำดับ

นำผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวกล้องไร่นครเสริมผงโปรตีนจิ้งหรีดด้วยสภาวะที่เหมาะสม (ข้อ 2) มาทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพ (อัตราการพองตัว เวลาที่เหมาะสมในการต้มให้สุก และค่าสี) คุณลักษณะทางเคมี (ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH) และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยเปรียบเทียบพาสต้าแป้งสาลีทางการค้า

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1.การเตรียมผงจิ้งหรีด

เมื่อนำจิ้งหรีดสะดิ้ง (*Acheta domestica*) และจิ้งหรีดทองดำ (*Gryllus bimaculatus*) มาอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อน (Tray dryer) อุณหภูมิ 80°C เวลา 6 hr พบว่า จิ้งหรีดสะดิ้งและจิ้งหรีดทองดำมีค่าความชื้น (Moisture content) สุดท้ายเท่ากับ 9.95%w/w และ 9.28%w/w ตามลำดับ ซึ่งค่าความชื้นของจิ้งหรีดทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าไม่เกิน 10%w/w บ่งบอกได้ว่าเกิดการเสื่อมเสียได้ยากจึงทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ส่วนค่าผลผลิต (Yield) เท่ากับ 26.05%

และ 25.90% ตามลำดับ นำจิ้งหรีดที่ผ่านการอบแห้งมาบดด้วยเครื่องบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน พบว่า ผงจิ้งหรีดสะดิ้งจะมีลักษณะเป็นผงหยาบสีน้ำตาลอ่อน ส่วนจิ้งหรีดทองดำจะมีสีคล้ำกว่าทั้งนี้ขึ้นกับสายพันธุ์ของจิ้งหรีด

เมื่อนำผงจิ้งหรีดที่ผ่านการคัดขนาดแล้วมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีแสดงดัง Table 2 พบว่า สมบัติทางกายภาพของผงจิ้งหรีดสะดิ้งมีค่าความสว่าง (L*) มากกว่าผงจิ้งหรีดทองดำ ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองสายพันธุ์ ส่วนสมบัติทางเคมีของจิ้งหรีดมีค่าโปรตีนสูงโดยค่าโปรตีนผงจิ้งหรีดสะดิ้งเท่ากับ 58.32% สูงกว่าผงจิ้งหรีดทองดำ (57.47%) และมีค่าไขมันสูงทั้งสองสายพันธุ์ (16.08-17.06%) สอดคล้องกับการศึกษาของ Rashmi (2019) พบว่า ผงจิ้งหรีดมีค่าโปรตีนและไขมันเท่ากับ 63.43% และ 20.86% ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Udomsil *et al*. (2019) พบว่า ผงจิ้งหรีดสะดิ้งมีค่าโปรตีนและไขมันเท่ากับ 71.7% และ 10.40% ส่วนผงจิ้งหรีดทองดำมีค่าโปรตีนและไขมันเท่ากับ 60.70% และ 23.40% ตามลำดับ ส่วนการศึกษาของ Laroche *et al*. (2019) พบว่า ผงจิ้งหรีดสะดิ้งมีค่าโปรตีนเท่ากับ 53.0% ส่วนอื่น (น้ำตาล ไขมัน อื่นๆ) เท่ากับ 35.10% ค่าโปรตีนของจิ้งหรีดสะดิ้งมีค่าอยู่ระหว่าง 55-70% (Rumpold and Sculter, 2013) ดังนั้นผลจากการศึกษาบ่งบอกว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักของสารอาหารที่มีในจิ้งหรีด และค่าปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันเนื่องจากลำดับ (Order) และสปีชีส์ (Species) ของแมลง จิ้งหรีดจึงเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่น่าสนใจในอนาคต

Table 2 Physical and chemical properties of cricket powder

	Physical properties				Chemical properties				
	Color			Moisture	Protein	Fat	Fiber	Ash	Carbohydrate
Species	L*	a*	b*	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Acheta	46.02±	5.44±	17.33±	3.34±	58.32±	16.80	2.09±	3.39±	18.03±
domestica	0.23	0.08	0.25	0.03	0.81	±0.15	0.15	0.81	1.72
Gryllus	32.16±	5.24±	11.55±	3.63±	57.45±	17.06	1.83±	1.90±	21.80±
bimaculatus	0.16	0.12	0.47	0.02	0.32	±0.18	0.18	0.70	0.38

2.สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีดด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์

เมื่อนำผงจิ้งหรีดสะดิ้ง (ข้อ 1) มา 20 g สกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 1.0 N อัตราส่วนของ S/L 1:3 - 1:6 อุณหภูมิ 30-40°C และเวลาในการสกัด 10-30 min ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (120 W, 45 kHz) สามารถสร้างสมการรีเกรสชัน (Multiple regression model) ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken ของตัวแปรอุณหภูมิ สัดส่วนของแข็งต่อของเหลวและเวลาในการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีด

ในความสัมพันธ์ในรูปของกราฟพื้นผิวสามมิติด้วยวิธี RSM จะได้จากความสัมพันธ์ของสมการ Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อคาดคะเนสภาวะที่เหมาะสมโดยความสัมพันธ์ของค่าจะพิจารณาได้ครั้งละสองตัวแปรซึ่งในการศึกษานี้สนใจ 3 ตัวแปร ดังนั้นจะให้ตัวแปรหนึ่งมีค่าคงที่แล้วพิจารณาค่าตัวแปรอีกสองตัวที่เหมาะสมได้จากสมการดังนี้

$$\%\text{Protein} = 21.97 + 0.484X_1 - 1.726X_2 - 0.1230X_3 - 0.00775\,X_1^2 + 0.03964\,X_2^2 + 0.002118\,X_3^2 + 0.00484\,X_1X_3 - 0.00952\,X_2X_3$$

เมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ พบว่า การทดลองนี้สามารถสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม (Model fit) เป็นสมการกำลังสอง (Quadratic model) โดยแบบจำลองที่ได้มีค่า p-value < 0.0001 และยังพบว่าความไม่สมรูปของข้อมูล (Lack of fit) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภายใต้ ค่า VIF อยู่ระหว่าง 1- 5 ($1<VIF<5$) ซึ่งแสดงว่า ตัวแปรมีความสัมพันธ์ปานกลางถือว่ายอมรับได้

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีดด้วยวิธี Response optimization พบว่า สภาวะในการสกัดที่เหมาะสมมี่สุดคือที่ อุณหภูมิ 40°C, S/L เท่ากับ 6 และที่เวลาการสกัด 30 นาที โดยจะให้ค่าเฉลี่ยของผลผลิตโปรตีนสกัดจากจิ้งหรีดที่สูงที่สุดที่ 22.32 ที่ความเชื่อมั่น 95% ดัง Figure 1 ผลการหาสภาวะที่ดีที่สุดด้วยวิธี Response Optimization

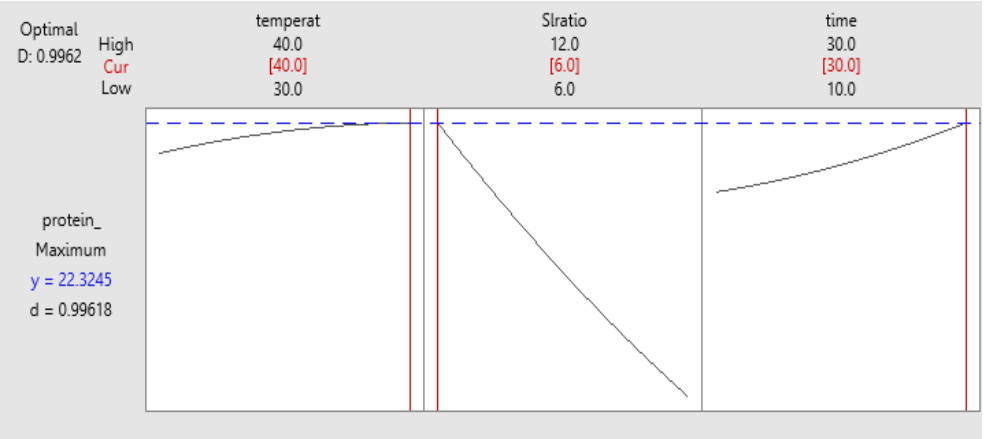

Figure 1 The optimum conditions by response optimization

นำผงจิ้งหรีดสะดิ้ง 20 g สกัดโปรตีนด้วยสภาวะที่เหมาะสมจาก RSM โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อัตรา S/L 1:6 อุณหภูมิ 40°C และเวลาในการสกัด 30 min ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ ((120 W, 45 kHz) ที่ pH 11 แยกส่วนใสด้วยการหมุนเหวี่ยง 12,000 rpm อุณหภูมิ 4°C จนได้สารละลายสกัดโปรตีนปริมาณ 1.5 L แล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) จะได้ผงโปรตีนจิ้งหรีด

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของผงสารสกัดโปรตีนจิ้งหรีดแบบ Freeze dry พบว่า ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 69.57% คิดเป็นผลผลิต 59.55% และอัตราการสกัดโปรตีน 71.03 สอดคล้องกับการศึกษา Pasini *et al*. (2022) ศึกษาศักยภาพของโปรตีนแยกส่วนจากจิ้งหรีดสะดิ้งสำหรับสูตรพาสต้า พบว่า ผลผลิตการสกัดเท่ากับ 64.3% ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในผงสารสกัด PBS เท่ากับ 48.8% และประสิทธิภาพการสกัดเท่ากับ 75.2% ส่วนการศึกษา Choi *et al*. (2017) พบว่า การใช้อัลตร้าซาวด์สกัดผงโปรตีนจิ้งหรีดได้ผลผลิตการสกัดเท่ากับ 37% เวลาสกัด 15 min จากผลการวิจัยที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลืองที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมแทนเนื้อสัตว์สำหรับอุตสาหกรรมเนื้อมีค่าปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 62-69% และในการศึกษาของ Laroche *et al*. (2019) พบว่า ผลได้การสกัดโปรตีนและความบริสุทธิ์โปรตีนของจิ้งหรีดทองแดงลายในช่วงระหว่าง 31.0-38.9% และ 58.3-78.5% ตามลำดับ

3.การใช้โปรตีนที่สกัดได้ในผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันเพื่อสุขภาพ

นำผงโปรตีนจิ้งหรีดเข้มข้นจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (0 - 15%) บดผสมกับแป้งสาลี แป้งข้าวกล้องไร่นครสายพันธุ์เม็ดฝ้าย 62 ร้อยละ 20% แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง น้ำมันพืช น้ำ และเกลือ ในเครื่องเครื่องผสมจากนั้นนำส่วนผสมไปแปรรูป โดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ใช้หน้าแปลนรูปวงกลม 1 รู (3 mm) อัตราการป้อนส่วนผสม 10 rpm อัตราการป้อนน้ำ (Stroke 20%, Frequency 85-90%) ความเร็วรอบสกรู 80 rpm อุณหภูมิบาร์เรล 1 – 6 และดายเท่ากับ 30, 80, 90, 120, 80, 70 และ 70°C ตามลำดับ ได้ผลิตภัณฑ์พาสต้า แสดงใน Figure 2 และ Table 3

(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)

Figure 2 Characteristics of dried pasta noodles supplemented with different levels of frozen cricket powder protein by compare with commercial pasta

(a) commercial pasta : riceberry flour

(b) commercial pasta : wheat flour

(c) control pasta

(d) 3% MFF pasta

(e) 5% MFF pasta

(f) 10% MFF pasta

(g) 15% MFF pasta

ผลการศึกษาปริมาณโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็งที่ใช้เติมในพาสต้าตั้งแต่ 0-15% ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเส้นพาสต้าจากแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 แสดงดัง Figure 2 และ Table 8 พบว่า ค่าสี (L*, a* และ b*) มีความแตกต่างจากชุดควบคุม (Figure 2 (c)) และทางการค้า (Figure 2 (a-b)) ในการเพิ่มปริมาณโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็ง (Figure 2 (d-g))

จากผลการทดลองใน Table 3 พบว่า เส้นพาสต้าอบแห้งที่เติมปริมาณโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม อาจเป็นผลเนื่องมาจากค่าสีและรงควัตถุในผงโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่แข็งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นเมื่อเติมผงโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่แข็งในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น

คุณสมบัติของเนื้อสัมผัส (Texture) ของพาสต้าจะเป็นดัชนีคุณภาพที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภคโดยค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) เป็นค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดเส้นพาสต้าขาดออกจากกัน ถ้าใช้แรงในการ ตัดมากแสดงว่าเส้นพาสต้ามีความแน่นเนื้อมาก และยังแสดงถึงความคงทนของเส้นพาสต้าต่อการหุงต้มได้ ส่วนค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) แสดงถึงความเหนียว ความยืดหยุ่น ความสามารถในการ เกาะรวมกันของเส้นพาสต้าที่สุกแล้ว และยังชี้ความคงทนของเส้นพาสต้าด้วย จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณผงโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่แข็งเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบและสมบัติเชิงหน้าที่ของผงโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่แข็ง การศึกษาของ Duda *et al*. (2019) ศึกษาคุณภาพและคุณสมบัติทางโภชนาการ/เนื้อสัมผัสของพาสต้าแป้งสาลีดูรัมเสริมด้วยผงจิ้งหรีด พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของพาสต้าที่เสริมด้วยผงจิ้งหรีดจะมีค่าสูงกว่าพาสต้าชุดควบคุม เนื่องมาจากโปรตีนในตัวอย่าง โดยการเพิ่มผงจิ้งหรีดที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้นด้วย และจากผลการทดลองใน Table 3 พบว่า ค่าผลได้ (Yield) ปริมาณความชื้น (Moisture content) และปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) ของเส้นพาสต้าจากแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้ายเสริมผงโปรตีนจิ้งหรีดแช่แข็ง เท่ากับ 68.03-78.05%, 2.53-6.41% และ 0.41-0.73 ตามลำดับ ค่าผลได้สูงสุดที่ปริมาณของผงโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่แข็ง 10% สำหรับค่าความชื้นไม่เกิน 10% และปริมาณน้ำอิสระของเส้นพาสต้าทุกชนิด มีค่าไม่เกิน 0.6 จัดอยู่ในกลุ่มของอาหารแห้งที่มีอายุการเก็บรักษาได้นาน

Table 3 Physicochemical properties of dried pasta supplemented with different levels of frozen cricket protein powder and commercial pasta

Example	% Yield	Color			Moisture content (%)	Water activity	Protein %	Firmness (N)	Tensile strength (N)
		L*	a*	b*					
Commercial (riceberry)	-	30.22±1.28^{b}	5.31±0.31^{b}	10.62±2.07^{b}	5.12±0.29^{b}	0.28±0.01^{c}	-	3.42±0.39^{f}	0.44±0.15^{d}
Commercial (wheat rice)	-	51.48±0.12^{a}	12.62±0.41^{a}	35.33±1.03^{a}	2.71±0.06^{d}	0.29±0.01^{c}	-	2.54±0.00^{f}	0.66±0.03^{b}
Control	69.83	19.41±0.16^{d}	1.59±0.09^{c}	-1.72±0.08^{e}	4.84±0.50^{c}	0.54±0.05^{a}	-	10.64±0.52^{e}	0.23±0.05^{e}
MFF-Freeze Dry 3 %	69.92	22.85±0.87^{c}	0.82±0.64^{d}	-0.91±1.77^{e}	2.53±0.56^{d}	0.41±0.01^{b}	8.10±0.08^{d}	11.44±1.16^{d}	0.51±0.05^{c}
MFF-Freeze Dry 5 %	70.64	19.04±1.07^{d}	1.65±0.05^{c}	-1.28±0.21^{e}	4.95±0.82^{c}	0.53±0.03^{a}	10.65±0.04^{c}	12.50±1.83^{c}	0.56±0.10^{c}
MFF-Freeze Dry 10 %	78.05	23.60±0.59^{c}	1.09±0.03^{d}	1.95±0.01^{d}	4.45±0.38^{c}	0.55±0.01^{a}	13.17±0.08^{b}	13.14±0.52^{b}	0.70±0.04^{b}
MFF-Freeze Dry 15 %	68.03	23.64±2.29^{c}	1.69±0.91^{c}	6.16±2.64^{c}	6.41±0.48^{a}	0.53±0.01^{a}	19.94±0.04^{a}	15.20±2.12^{a}	0.94±0.04^{a}

Note: Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3)

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณภาพการปรุงของพาสต้าอบแห้งที่เสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็ง 0-15% ได้ผลการวิเคราะห์ดัง Table 4 พบว่า เมื่อปริมาณผงโปรตีนจิ้งหรีดแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และเวลาในการปรุงสุกที่เหมาะสมของพาสต้าทางการค้าเท่ากับ 13.40- 18.30 min (Table 4) พาสต้าทั้ง 5 สูตรใช้เวลาในการปรุงสุก (12.30-22.40 min) เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ขนาดรูหน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 2 mm ในกระบวนการผลิตพาสต้าจึงมีขนาดเส้นพาสต้าที่ได้ใหญ่กว่าทางการค้าและมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง แต่น้ำหนักที่ได้หลักการต้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Table 4 Cooking properties of dried pasta supplemented with different levels of frozen cricket protein powder and commercial pasta

Example	Cooking Quality		
	Cooking time (min)	Cooking loss (%)	Cooking water absorption index (%)
Commercial (riceberry)	13.40±0.20^{d}	51.53±0.37^{a}	56.53±0.25^{b}
Commercial (wheat rice)	18.30±0.20^{b}	25.28±0.10^{d}	55.13±0.06^{b}
Control	22.40±0.20^{a}	28.36±0.03^{c}	69.77±0.09^{a}
MFF-Freeze Dry 3 %	13.00±0.00^{d}	30.89±0.02^{b}	35.23±0.02^{c}
MFF-Freeze Dry 5 %	13.00±0.00^{d}	23.24±0.01^{e}	32.24±0.01^{c}
MFF-Freeze Dry 10 %	12.30±0.00^{e}	20.94±2.93^{f}	29.97±2.08^{d}
MFF-Freeze Dry 15 %	15.20±0.00^{c}	23.84±1.57^{e}	32.35±1.08^{c}

Note: Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3)

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงดัง Table 5 พบว่า เส้นพาสต้าอบแห้งที่เสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็ง 10% ได้คะแนนความชอบสูงสุด (8.18) ใช้ระยะเวลาในการต้มสุก ปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำ และผลได้สูง ดังนั้นจึงเลือกสูตรเส้นพาสต้าอบแห้งที่เสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็ง 10% ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

Table 5 Sensory properties of dried pasta upplemented with different levels of frozen cricket powder protein and commercial pasta

Example	Sensory test				
	Color	Odor	Flavor	Texture	Overall liking
Commercial (riceberry)	8.00±0.83^{a}	7.90±0.66^{a}	7.93±0.58^{a}	8.33±0.60^{a}	8.40±0.49^{a}
Commercial (wheat rice)	8.00±0.98^{a}	7.96±0.96^{a}	7.66±0.71^{ab}	7.86±0.93^{b}	8.56±0.50^{a}
Control	5.86±1.45^{d}	5.50±1.57^{d}	5.96±1.51^{d}	7.96±0.96^{b}	7.90±0.80^{b}
MFF-Freeze Dry 3 %	6.36±0.80^{c}	6.56±0.67^{c}	6.16±0.91^{c}	6.30±0.46^{c}	6.10±0.66^{d}
MFF-Freeze Dry 5 %	6.76±1.07^{c}	7.13±0.77^{ab}	6.46±0.81^{c}	6.43±0.89^{c}	6.43±0.81^{d}
MFF-Freeze Dry 10 %	8.12±0.49^{a}	7.12±1.65^{ab}	7.94±0.75^{a}	8.00±0.71^{a}	8.18±0.64^{a}
MFF-Freeze Dry 15 %	7.35±0.93^{b}	6.53±1.33^{c}	7.12±0.78^{ab}	7.06±0.56^{b}	6.82±0.53^{c}

Note: Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3)

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$)

สรุป

จิ้งหรีดสายพันธุ์สะดิ้งหรือจิ้งหรีดบ้านและสายพันธุ์ทองดำที่ใช้ในการศึกษานี้ พบว่า ผงจิ้งหรีดสะดิ้งจะมีลักษณะเป็นผงหยาบสีน้ำตาลอ่อน ส่วนจิ้งหรีดทองดำจะมีสีคล้ำกว่า คุณสมบัติทางกายภาพของผงจิ้งหรีดสะดิ้งมีค่าความสว่าง (L*) มากกว่าผงจิ้งหรีดทองดำ ค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองสายพันธุ์ ส่วนคุณสมบัติทางเคมีของจิ้งหรีดมีค่าโปรตีนสูงโดยค่าโปรตีนผงจิ้งหรีดสะดิ้งเท่ากับ 58.32% สูงกว่าผงจิ้งหรีดทองดำ (57.47%) และมีค่าไขมันสูงทั้งสองสายพันธุ์ (16.08-17.06%) สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีดด้วยวิธี Response optimization พบว่า สภาวะในการสกัดที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 40℃, S/L เท่ากับ 6 และเวลาการสกัด 30 นาที โดยจะให้ค่าเฉลี่ยของผลผลิตโปรตีนสกัดจากจิ้งหรีดที่สูงที่สุดที่ 22.32 ที่ความเชื่อมั่น 95% เมื่อนำผงสารสกัดโปรตีนจิ้งหรีดมาทำแห้งแบบ Freeze dry พบว่า ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 69.57% คิดเป็นผลผลิต 59.55% และอัตราการสกัดโปรตีน 71.03 ดังนั้นผงโปรตีนที่สกัดได้จึงเหมาะจะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันและจะช่วยยกระดับผงจิ้งหรีดได้ในทางพาณิชย์ เส้นพาสต้าผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จากแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 (20%) เสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดแช่เยือกแข็ง 10% มีคะแนนความชอบสูงสุด (8.18) ใช้ระยะเวลาในการต้มสุก (12.30 min) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำ (20.94%) และผลได้สูง (78.05%) ส่วนผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่เติมผงจิ้งหรีด 10% ได้คะแนนความชอบสูงสุด (7.13)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ในการสนับสนุนโครงการวิจัยการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากผงจิ้งหรีดด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชัน ภายใต้งบประมาณประจำปี 2565 และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการนวัตกรรมอาหารและการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่) ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Agricultural Technology Promotion Center (Economic Insects) Chumphon Province. (2018). Information on economic insect farmers by province in 2018 (Report). (in Thai)

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th ed. Gaithersburg. AOAC International

Chansom, T. (2020). Effects of different foods on growth, reproduction rate and protein content of field crickets (*Gryllus bimaculatusde Geer*). (Master's thesis). Kasetsart University. (in Thai)

Chooklin, S., Thongnok, S. & Phromkerd, W. (2023). Optimizing extruded snack production from germinated Med Fai brown rice by using response surface methodology. *Science & Technology Asia,* 28(3): 264-275.

Choi, B.D., Wang, N.A.K. & Auh, J.H. (2017). Defatting and Sonication Enhances Protein Extraction from Edible Insects. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources***,** 37(6): 955-961.

Duda, A., Adamczak, J., Chelminska, P., Justyna, J. & Kowalczewski, P. (2019). Quality and nutritional/textureal properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 8(46): 1-10.

Duangjarus, N., Chaiworapuek, W., Ritthiruangdej, P., Sae-tan, S. & Charoensiddhi, S. (2021). Ultrasound-assisted extraction for the recovery of proteins from duckweed (*Wolffia globosa*) using response surface methodology. Proceeding of the 59th KU Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok: Kasetsart University.

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

Kristinsson, H. & Rasco, B. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1): 43-81.

Laroche, M., Perreault, V., Marciniak, A., Gravel, A., Chamberland, J. & Doyen, A. (2019). Comparison of conventional and sustainable lipid extraction methods for the production of oil and protein isolate from edible insect meal**.** *Foods*, 8(572): 1-11.

Lertrat, K., Patthanothai, A. & Chokloi, S. (2018). The path to creating healthy food innovations. Khon Kaen: Khon Kaen press. (in Thai)

Panyam, D. & Kilara, A. (1996). Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic

modification. *Trends in Food Science & Technology,* 7(4): 120-125.

Pasini, G., Cullere, M., Vegro, M. & Simonato, B. (2022). Potentiality of protein fractions from the house cricket (*Acheta domesticus*) and yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) for pasta formulation. *LWT-Food Science and Technology*, 164(2): 1136-1138.

Rashmi, V.A. (2019). Functional Insect Protein Extracts for Food Applications. (Master's thesis). University of Central Oklahoma.

Rumpold, B.A. & Schulter, O.K. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition Food Research*, 57(5): 802-823.

Pantoa, T. (2020). Edible insects: nutrition value and their processing for utilization. *Food Journal*, 50(1): 5-12. (in Thai)

Rattanapanont, N. (2014). Food Chemistry. Bangkok: Odeon Store press. (in Thai)

Udomsil, N., Imsoonthornruksa, S., Gosalawit, C. & Ketudat-Cairns, M. (2019). Nutritional values and functional properties of house cricket (*Acheta domestic*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*). *Food Science and Technology Research*, 25(4): 597-605.