เอกสารวิชาการ

เรื่องที่ 2

การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus*) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพ

(ฉบับแก้ไขตามมติคณะกรรมการฯ ครั้งที่ 1/2565 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565)

โดย

เอื้องพลอย ใจลังกา

วุฒิชัย ลัดเครือ

เลขทะเบียนวิชาการ 64(2)-0423-123

สถานที่ดำเนินการ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมปศุสัตว์ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่) กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์

ระยะเวลาดำเนินการ เมษายน 2564- กรกฎาคม 2564

การเผยแพร่ เว็บไซต์กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ https://product.dld.go.th/index.php/th/help-menu-2/455-acheta-domesticus

การเผยแพร่ในเว็บไซต์กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์

หลักฐานการเผยแพร่งานวิชาการเรื่องที่ 2

การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus*) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพ (ฉบับแก้ไขตามมติคณะกรรมการฯ ครั้งที่ 1/2565 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565)

วันที่เผยแพร่ฉบับแก้ไข: 2 พ.ค. 2565 (วันเผยแพร่เดิม 15 ต.ค. 2564)

Web link: https://product.dld.go.th/index.php/th/help-menu-2/455-acheta-domesticus

หัวเรื่อง	ผู้เขียน	ฮิต
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเงี้ยวในเชิงอุตสาหกรรม	เขียนโดย Nattawit_Vongton	ฮิต: 23
การพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนทางเลือกจากจิ้งหรีด	เขียนโดย Nattawit_Vongton	ฮิต: 18
การพัฒนากระบวนการผลิตเนยแข็งเชดด้าจากน้ำนมแพะที่เหมาะสมสำหรับ ผู้ประกอบการรายย่อย "(แก้ไขตามมติคณะกรรมการฯ ครั้งที่ 1/2565 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565)"	เขียนโดย Nattawit_Vongton	ฮิต: 38
การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (Acheta domesticus) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพ "(แก้ไขตามมติคณะกรรมการฯ ครั้งที่ 1/2565 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565)"	เขียนโดย Super User	ฮิต: 67
การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเนื้อกระบือ"(แก้ไขตามมติคณะกรรมการฯ ครั้งที่ 1/2565 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565)"	เขียนโดย Super User	ฮิต: 65

การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (Acheta domesticus) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพ "(แก้ไขตามมติคณะกรรมการฯ ครั้งที่ 1/2565 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565)"

Super User ผลงานวิชาการ 15 ตุลาคม 2564 ฮิต: 68

Share ถูกใจ 0 ทวีต Share

การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus*)
เพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพ
เสื้องพลอย ไกลถังกา วุฒิชัย คัดเครือ
"(แก้ไขตามมติคณะกรรมการฯ ครั้งที่ 1/2565 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565)"

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของวิธีการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีด 2 วิธี ได้แก่ วิธีการสกัดด้วย เอทานอล (EtOH ความเข้มข้น 99.5%) และ วิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid 2 กรัม/1,200 มิลลิลิตร) ที่มีต่อค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลาย 2) เพื่อศึกษาผลการจำลองสภาวะความเป็นกรดต่าง (pH = 2, 4, 6, 8 และ 12) ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด และ 3) เพื่อศึกษาผลการจำลองสภาวะความเข้มข้นของ NaCl (2%, 4%, 6%, 8%, และ 12% w/v) ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด

ผลการทดลอง พบว่า วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการสกัดผงจิ้งหรีดด้วยเอทานอลได้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (75.53± 0.45%) ปริมาณไขมันเหลือน้อยที่สุด (10.84± 0.32%) และมีค่าสมบัติเชิงหน้าที่ด้านการละลาย (Solubility) ความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟม (Foam capacity and stability) สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการสกัด และที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค ดังนั้น วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการสกัดด้วยเอทานอล หลังจากนั้นจึงนำโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล ไปทำการศึกษาผลของการจำลองสภาวะสารละลายที่ pH 2-12 และ NaCl 2-12% (w/v) ต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด โดยพบว่า คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด เพิ่มขึ้นในช่วง pH 6 -12 และในทางตรงกันข้ามจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้น โดยค่าสภาวะของสารละลายที่ pH 8 และ12 และความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับ 2% (w/v) ส่งผลให้โปรตีนจิ้งหรีดมีความสามารถในการละลาย การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมสูงที่สุด โดยโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลจัดเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้น 75% ซึ่งมีต้นทุนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1,343.70 บาท/กก. โดยข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถใช้เพื่อกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้โปรตีนจากจิ้งหรีดทองแดงลาย ในการแปรรูปเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ: จิ้งหรีดทองแดงลาย, โปรตีนจิ้งหรีด, สมบัติเชิงหน้าที่

เลขทะเบียนวิชาการ : 66(2)-0623-123

ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่ กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์

การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus*) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพ

เอื้องพลอย ใจลังกา วุฒิชัย ลัดเครือ

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของวิธีการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีด 2 วิธี ได้แก่ วิธีการสกัดด้วยเอทานอล (EtOH ความเข้มข้น 99.5%) และ วิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid 2 กรัม/ 1,200 มิลลิลิตร) ที่มีต่อค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลาย 2) เพื่อศึกษาผลการจำลองสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH = 2, 4, 6, 8 และ 12) ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด และ 3) เพื่อศึกษาผลการจำลองสภาวะความเข้มข้นของ NaCl (2%, 4%, 6%, 8%, และ 12% w/v) ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด

ผลการทดลอง พบว่า วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการสกัดผงจิ้งหรีดด้วยเอทานอลได้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (75.53± 0.45%) ปริมาณไขมันเหลือน้อยที่สุด (10.84± 0.32%) และมีค่าสมบัติเชิงหน้าที่ด้านการละลาย (Solubility) ความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟม (Foam capacity and stability) สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการสกัด และที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค ดังนั้น วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการสกัดด้วยเอทานอล หลังจากนั้นจึงนำโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล ไปทำการศึกษาผลของการจำลองสภาวะสารละลายที่ pH 2-12 และ NaCl 2-12% (w/v) ต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด โดยพบว่า คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด เพิ่มขึ้นในช่วง pH 6 -12 และในทางตรงกันข้ามจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้น โดยค่าสภาวะของสารละลายที่ pH 8 และ12 และความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับ 2% (w/v) ส่งผลให้โปรตีนจิ้งหรีดมีความสามารถในการละลาย การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมสูงที่สุด โดยโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลจัดเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้น 75% ซึ่งมีต้นทุนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1,343.70 บาท/กก. โดยข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถใช้เพื่อกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้โปรตีนจากจิ้งหรีดทองแดงลาย ในการแปรรูปเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารที่มีประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ: จิ้งหรีดทองแดงลาย, โปรตีนจิ้งหรีด, สมบัติเชิงหน้าที่

เลขทะเบียนวิชาการ : 64(2)-0423-123

ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่ กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์

Improvement of functional properties of cricket *(Acheta domesticus)* powder as effective food ingredient

Auengploy Chailangka Vuttichai Ladkrue

Abstract

The objectives of this research were 1) to study the effect of two extraction methods for cricket protein production: the ethanol extraction (EtOH concentration 99.5%) and the ascorbic acid solution extraction method (Ascorbic acid 2g/1,200 ml), on physical, chemical, microbial, and functional properties of house cricket protein (*Acheta domesticus*). 2) to investigate the effect of pH conditions (pH = 2, 4, 6, 8 and 12) in food model processing on the functional properties of cricket protein; and 3) to study the effect of NaCl concentration (2%, 4%, 6%, 8%, and 12% w/v) in food model processing on the functional properties of cricket protein.

It was found that different extraction methods significantly affected physical, chemical, microbial, and functional properties ($p \leq 0.05$). The extraction of cricket powder with ethanol solution yielded the highest protein content (75.53± 0.45%), the lowest residual fat content (10.84± 0.32%). Moreover, the water solubility, foam capacity, and foam stability of ethanol extraction samples were higher than those of the unextracted and ascorbic acid extraction samples. Therefore, the optimum method was ethanol solution extraction. After that, the effect of pH conditions (pH 2-12) and sodium chloride (2-12% w/v) on the functional properties of cricket protein powder extracted by ethanol solution were studied. The results showed that the functional properties of the cricket protein increased from pH 6 to pH 12 but decreased with an increase in NaCl concentration. With the pH 8 and 12 as well as 2% (w/v) NaCl concentration, the cricket protein powder had the highest value of water solubility, emulsifying properties, foaming ability, and stability. It is classified as a 75% protein concentrate product which has a cost of 1,343.70 baht/kg. The information from this study can be used to determine the guidelines for the application of House cricket protein powder in food processing as an effective food ingredient.

Keywords: House cricket, Cricket protein powder, Functional properties

Registered No. : 64(2)-0423-123

Chiang Mai livestock product research and development center, Livestock Products Division, Department of Livestock Development

คำนำ

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้ประมาณการว่าในปีค.ศ. 2050 ประชากรโลกจะมีจำนวนเพิ่มถึงเก้าพันล้านคน ส่งผลให้เกิดปัญหาเรื่องของทรัพยากรธรรมชาติ และอาหารเกิดการขาดแคลนและไม่เพียงพอ ทาง FAO จึงได้เริ่มส่งเสริมให้คนทั่วโลกหันมาบริโภคจิ้งหรีดเป็นโปรตีนทางเลือก เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพ ราคาถูก ใช้ทรัพยากรในการจัดการฟาร์ม และการเลี้ยงต่ำ ผลผลิตสูง และหาได้ง่ายในท้องถิ่น (Van et al., 2013) ทำให้ในปัจจุบัน ทั่วโลกได้หันมาให้ความสนใจบริโภคจิ้งหรีดมากขึ้น ทางกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้เล็งเห็นว่า จิ้งหรีดเป็นแมลงเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญ จึงได้มีนโยบายในการส่งเสริมการเลี้ยงจิ้งหรีดให้แก่เกษตรกร ตั้งแต่การยกระดับมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงจิ้งหรีด การพัฒนา และปรับปรุงพันธุ์ จนถึงการแปรรูปเพื่อช่วยเพิ่มรายได้และยกระดับศักยภาพ และสนับสนุนการส่งออกจิ้งหรีด สร้างรายได้เข้าประเทศ สอดคล้องตามยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564) โดยตลาดส่งออกจิ้งหรีดของไทยไปต่างประเทศมีอัตราการขยายตัวอย่างรวดเร็วถึงร้อยละ 23 ต่อปี ในตลาดประเทศสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และจีน ในรูปแบบผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดแช่แข็ง ต้มบรรจุกระป๋อง จิ้งหรีดอบ และที่นิยมมากที่สุดคือแบบบดเป็นจิ้งหรีดผงเพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหาร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563)

ผงจิ้งหรีด (Cricket powder) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆได้ โดยเฉพาะผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus.*) แต่มีหลากหลายงานวิจัยที่พบข้อจำกัด สมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) ของผงจิ้งหรีด และแมลงต่างๆ เช่น คุณสมบัติในการละลาย การเกิดโฟม การเกิดเจล หรือ การเป็นอิมัลชันที่ไม่ดี (Hall et al., 2017; Yi et al., 2013) ในแง่อุตสาหกรรมอาหารนั้น การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย การเป็นอิมัลชัน การเกิดเจล หรือโฟม ด้วยการใช้เทคนิคการสกัดในการแยกองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออก เพื่อให้ได้โปรตีนที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ ซึ่งการสกัดและผลิตโปรตีนจากพืชหรือสัตว์ เพื่อให้มีปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้น สามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การสกัดโดยการใช้กรดหรือด่าง การสกัดด้วยเอนไซม์ (ธนาวุติและสุทัศน์, 2021) และการสกัดเพื่อแยกไขมันออกด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น สารกลุ่มแอลกอฮอล์ (Azagoh et al., 2016; Lam et al., 2018) โดยการสกัดที่เป็นที่นิยมใช้ในการสกัดโปรตีนจากแมลง คือ การสกัดโดยการใช้กรด เพื่อตกตะกอน และแยกโปรตีนออกจากองค์ประกอบอื่นๆ และการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเพื่อแยกไขมันออก ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบในแมลง ที่ทำให้สมบัติเชิงหน้าที่ไม่ดีนั้นเอง (Kim et al., 2016) ปริมาณของโปรตีนที่ได้หลังจากการสกัดแยกไขมันหรือองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกแล้ว จะแบ่งเป็นโปรตีนเข้มข้น (Protein concentrate 70 – < 90% protein) โปรตีนไอโซเลท (Protein isolate; ≥ 90% protein) และโปรตีนไฮโดรไลเซท (Protein hydrolysate) (ธนาวุติและสุทัศน์, 2021; Astawan & Prayudani, 2020) โดยมีตัวอย่างหลากหลายงานวิจัยที่ปรับปรุงคุณสมบัติของโปรตีนด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ซึ่งสารละลายเฮกเซนเป็นตัวที่นิยมใช้ในการสกัด เช่น Babiker et al. (2007) ใช้สารละลายเฮกเซนทำการสกัดโปรตีนจากตั๊กแตน Bußler et al. (2016) ได้ทำการทดลองใช้สารละลายเฮกเซนทำการสกัดไขมันออกจากโปรตีนในหนอนนกและหนอนแมลงวันลายด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การใช้สารละลายเฮกเซนอาจมีข้อคำนึงถึงปัญหาด้านความปลอดภัยในการใช้งาน (Gandh et al., 2005) จึงมีการศึกษาถึงการใช้สารละลายทางเลือกอื่นๆ เช่น Yi et al. (2013) ใช้สารละลายกรดแอสคอร์บิค สกัดแยกส่วนของโปรตีนจากแมลง 5 ชนิด พบว่า โปรตีนที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีไม่แตกต่างจากการใช้เฮกเซน Ribeiro et al. (2019) ศึกษาการใช้ตัวทำละลาย 5 ชนิด (ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน อะซีโตน ไดเอทิลอีเทอร์ และ เอทานอล) ในการสกัดไขมันจากจิ้งหรีด 2 สายพันธุ์ พบว่า เอทานอล 99.6% มีประสิทธิภาพในการสกัดไขมันดีที่สุด L'Hocine et al. (2006) ศึกษาการใช้สารละลายจากเอทานอล เมทานอล และสารละลายกรดแอสคอร์บิค ทำการสกัดไขมันจากโปรตีนถั่วเหลือง พบว่า การใช้เอทานอล และสารละลายกรดแบบอ่อนมีศักยภาพในการ

สกัดไขมัน ได้ใกล้เคียงกันกับเฮกเซน จากข้อมูลการศึกษาที่กล่าวมา ทำให้ทราบว่าวิธีการสกัดแยกไขมันออกเพื่อให้ได้โปรตีนเข้มข้นด้วยสารละลายเฮกเซนที่นิยมใช้กันนั้น มีปัญหาด้านความปลอดภัยในการใช้งาน ดังนั้น การศึกษาเพื่อหาสารทดแทน ด้วยการเปรียบเทียบการใช้เอทานอล และสารละลายกรดแบบอ่อน ซึ่งเป็นสารที่มีศักยภาพได้ใกล้เคียงกันกับการใช้สารละลายเฮกเซน จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อให้ได้สารที่ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการสกัดเพื่อให้ได้โปรตีนจากจิ้งหรีดที่มีคุณภาพมากที่สุด หลังจากการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเรียบร้อยแล้วนั้น จะมีขั้นตอนการประเมินศักยภาพการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ของโปรตีนชนิดนั้นๆ ด้วยการจำลองสภาวะบางประการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร (Gravel & Doyen, 2020) เช่น มีการศึกษาความสามารถในการละลาย และการเกิดเจลของโปรตีนแมลง ในสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ในระดับต่างๆกัน (Yi et al., 2013) การศึกษาสภาวะความเค็มที่ระดับ NaCl ที่แตกต่างกันที่มีผลต่อโปรตีน (Babiker et al., 2007) เพื่อดูผลกระทบต่อคุณสมบัติโปรตีน และการกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้โปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภทต่อไป

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นโอกาสและความจำเป็นในการพัฒนาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของจิ้งหรีดผงให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น เพื่อให้มีความเหมาะสม ที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ ซึ่งจะนำไปสู่การต่อยอด และเพิ่มมูลค่าจิ้งหรีด ให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความหลากหลาย และสร้างทางเลือกให้ผู้บริโภคมากขึ้น ในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การศึกษาวิธีการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีดด้วยสารละลาย 2 วิธี และผลกระทบที่มีต่อค่าคุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (*Acheta domesticus)* และโปรตีนจิ้งหรีดทองแดงลายที่ได้จากการสกัด

ศึกษาวิธีการสกัด 2 วิธี ได้แก่ วิธีการสกัดด้วยเอทานอล(EtOH ความเข้มข้น 99.5%,Food grade, ยูเนี่ยนโซลูชั่น,ไทย) เพื่อกำจัดไขมัน และ วิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid 2g/1,200 ml, Food grade, นอร์ทอีสฟาร์มาซูติคอล,จีน) เพื่อตกตะกอนแยกโปรตีน ที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ของผงจิ้งหรีดทองแดงลาย และโปรตีนจิ้งหรีดทองแดงลาย ที่ได้จากการสกัด โดยมีขั้นตอนการสกัดตามข้อ ก. และ ข. ดัดแปลงจาก L'Hocine et al. (2006) และ Yi et al. (2013) วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) มี 3 สิ่งทดลอง ได้แก่ 1) ผงจิ้งหรีดทองแดงลายที่ไม่ผ่านการสกัด 2) โปรตีนจิ้งหรีดทองแดงลายที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอล และ 3) โปรตีนจิ้งหรีดทองแดงลายที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค โดยในแต่ละสิ่งทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่าคุณภาพ 3 ซ้ำ โดยการสกัดด้วยเอทานอล และการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

ก. วิธีการสกัดด้วยเอทานอล	ข. วิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค
1.ชั่งผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (สะดิ้ง) จำนวน 400 กรัม	1.ชั่งผงจิ้งหรีดทองแดงลาย (สะดิ้ง) จำนวน 400 กรัม
2. เติมเอทานอล (ความเข้มข้น 99.5%) จำนวน 400 มล.	2. เติมสารละลายแอสคอร์บิคที่เตรียมจาก น้ำกลั่น 1,200 มล.: Ascorbic acid 2 กรัม
3. กวนด้วย Magnetic stirrer ที่ speed 2 เวลา 30 นาที	3. กวนด้วย Magnetic stirrer ที่ speed 2 เวลา 30 นาที

4. ตกตะกอนด้วย เครื่อง Centrifuge ที่ 3,000 rpm, 30 นาที 25°C	4. ตกตะกอนด้วย เครื่อง Centrifuge ที่ 3,000 rpm, 30 นาที 25°C
5. แยกส่วนของเหลวและไขมันออก	5. แยกส่วนของเหลวและไขมันออก
6.ทำซ้ำตามกระบวนการอีกหนึ่งครั้ง ตั้งแต่ข้อ 2-5	6.ทำซ้ำตามกระบวนการอีกหนึ่งครั้งตั้งแต่ข้อ 2-5 โดยเปลี่ยนเป็นน้ำกลั่น (เพื่อชะล้างกรด)
7.นำโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้จากการสกัดอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ 50 °C จนแห้ง (%moisture = 6-7)	7. นำโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้จากการสกัดอบแห้งตู้อบลมร้อน ที่ 50 °C จนแห้ง (%moisture = 6-7)

จากนั้นตัวอย่างผงจิ้งหรีดที่ไม่ผ่านการสกัด และโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล และสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ได้ วัดค่าคุณภาพต่างๆ ดังนี้

1.1 ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมี

1.1.1 ค่าสีระบบ CIE Lab (L*, a*, b*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี ZE-6000 colorimeter (Nippon Denshoku, Kogyo Co., Tokyo, Japan) โดย L* (ความสว่าง) a* (-เขียว +แดง) และ b* (-น้ำเงิน +เหลือง)

1.1.2 ค่าองค์ประกอบทั้งหมด (proximate analysis) ได้แก่

1) ปริมาณโปรตีน (crude protein) ด้วยการหาปริมาณไนโตรเจน (%) โดยวิธี Kjeldahl (N x 6.25) ด้วยเครื่องกลั่นสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeltec 8200, FOSS, Denmark) ตามวิธีที่ 991.20 (AOAC ,2019)

2) ปริมาณไขมัน สกัดด้วย petroleum ether โดยวิธี Soxhlet extraction ด้วยเครื่องสกัดไขมัน (ST 243 Soxtec, FOSS, Denmark) ตามวิธีที่ 932.06 (AOAC, 2019)

3) ปริมาณเถ้า เป็นการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 °C 2 ชั่วโมง ด้วยเตาเผาเถ้า (model 3-550, Neytech, USA) ตามวิธีที่ 930.30 (AOAC, 2019)

4) ปริมาณความชื้น ด้วยเครื่องวัดปริมาณความชื้น (Moisture balance, model XM 60, Precisa, Switzerland)

5) คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates ,CHO %) วิธี Total carbohydrate by difference (Ramdath et al., 2020) คำนวณจากสูตร (CHO % = [100 – moisture% – protein% – fat% – ash%])

6) ปริมาณความชื้น ด้วยเครื่องวัดค่าความชื้น (Model MX-50, AND, Japan)

1.1.3 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (yield, %) ของกระบวนการสกัด ดัดแปลงตามวิธีการของ Ndiritu et al. (2017) คำนวณจากสมการ ดังนี้

ร้อยละผลผลิต (%yield) =

100× (น้ำหนักโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้หลังการสกัด/น้ำหนักผงจิ้งหรีดเริ่มต้นก่อนสกัด)

1.2 ค่าคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

-ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Total plate count ตามวิธีที่ 990.12 (AOAC, 2019)
-ปริมาณเชื้อยีสต์ รา โคลิฟอร์ม และอีโคไล ตามวิธีที่ 991.14 (AOAC, 2019)
-จุลินทรียที่ทำให้เกิดโรค ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 364 ได้แก่
-Bacillus cereus. (FDA BAM Online, Chapter 14, 2012)
-Clostridium perfringens (FDA BAM Online, Chapter 16, 2001)
-Listeria monocytogenes (ISO 11290-1:2017)
-Salmonella spp. (ISO 6579-1:2017)
-Staphylococcus aureus (FDA BAM Online, Chapter 12, 2016)

1.3 ค่าสมบัติเชิงหน้าที่

1.3.1 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ emulsifying capacity และ emulsion stability ดัดแปลงตามวิธีการของ Ndiritu et al. (2019) โดยมีวิธีการดังนี้

1) Emulsifying capacity (%) โดยนำจิ้งหรีดผงหรือโปรตีนจิ้งหรีด 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร และน้ำมันถั่วเหลือง 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปโฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (model T25 digital ultra turrax, IKA, Germany) ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาค่า emulsifying capacity (%) ด้วยสูตร ดังนี้

Emulsifying capacity (%) = 100 × (ปริมาตรของชั้นอิมัลชั่นด้านบน /ปริมาตรของสารที่ตกตะกอนด้านล่าง)

2) Emulsion stability (%) โดยนำจิ้งหรีดผงหรือโปรตีนจิ้งหรีด 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร และน้ำมันถั่วเหลือง 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกวนผสมด้วย Magnetic stirrer ที่ 700 รอบต่อนาทีเวลา 10 นาที นำไปให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 85 C เวลา 30 นาที และลดอุณหภูมิสารละลาย ให้ได้ 25 C หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทำการโฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (model T25 digital ultra turrax, IKA, Germany) ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาค่า emulsion stability (%) ด้วยสูตร ดังนี้

Emulsifying stability (%) = 100 × (ปริมาตรของชั้นอิมัลชั่นด้านบน /ปริมาตรของสารที่ตกตะกอนด้านล่าง)

1.3.2 ความสามารถในการละลาย (Solubility) ดัดแปลงตามวิธีการของ Jia et al., (2020) โดยนำจิ้งหรีดผงหรือโปรตีนจิ้งหรีด 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และกวนผสมที่ 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ด้วย Magnetic stirrer จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปปั่นแยกที่ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ด้วย เครื่อง Centrifuge (Eppendorf AG, Hamburg, Germany) ทำการแยกสารละลายด้านบนออก และนำไปอบให้แห้งที่ 105 °C ด้วยตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำหนักแห้งคงที่ บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาค่า Solubility (g/L) ด้วยสูตร ดังนี้

Solubility (g/L) = น้ำหนักสารละลายหลังอบแห้ง/ปริมาตรน้ำกลั่น

1.3.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ดัดแปลงตามวิธีการของ Ndiritu et al. (2017) โดยนำจิ้งหรีดผงหรือโปรตีนจิ้งหรีด 1 กรัม และน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เติมในหลอด centrifuge ขนาด 15 มิลลิลิตรจากนั้นจึงทำการปั่นเหวี่ยงที่ 2060 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีโดยใช้เครื่อง centrifuge (Eppendorf AG, Hamburg, Germany) บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาค่า Water holding capacity (ml/g) ด้วยสูตร ดังนี้

Water holding capacity (ml/g) =

(ปริมาตรของน้ำกลั่นที่เติม – ปริมาตรของน้ำกลั่นในตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยง)/น้ำหนักตัวอย่าง

1.3.4 ความสามารถในการดูดซับไขมัน (Fat absorption capacity) ดัดแปลงตามวิธีการของ Ndiritu et al. (2017) โดยนำจิ้งหรีดผงหรือโปรตีนจิ้งหรีด 0.3 กรัม และน้ำมันถั่วเหลือง 3 มิลลิลิตร เติมในหลอด centrifuge ขนาด 15 มิลลิลิตรจากนั้นจึงทำการปั่นเหวี่ยงที่ 2060 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีโดยใช้เครื่อง centrifuge (Eppendorf AG, Hamburg, Germany) จากนั้นเทสารละลายน้ำมันที่ลอยชั้นด้านบนทิ้ง ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ บันทึกข้อมูลที่ได้ และคำนวณหาค่า Water holding capacity (ml/g) ด้วยสูตร ดังนี้

Fat absorption capacity (%) = 100 × (น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือหลังปั่นเหวี่ยง/น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น)

1.3.5 ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม (Foam capacity and stability) ดัดแปลงตามวิธีการของ Ndiritu et al. (2017) โดยนำจิ้งหรีดผงหรือโปรตีนจิ้งหรีด 5 กรัม และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ทำการตีผสมด้วยเครื่องปั่นแบบมือถือ (Hand blender, MSM64110, BOSCH, India) speed 2 เวลา 2 นาที ทำการบันทึกปริมาตรก่อนสารละลายก่อนปั่นผสม (V_1) หลังปั่นผสมที่ 0 นาที (V_2) และหลังปั่นผสมที่ 5 นาที (V_3) และคำนวณหาค่า foam capacity และ foam stability (%) ด้วยสูตร ดังนี้

$$\text{Foam capacity (\%)} = 100 \times (V_2 - V_1)/V_1$$
$$\text{Foam stability (\%)} = 100 \times (V_3 - V_1)/V_1$$

1.4 การศึกษาต้นทุนวัตถุดิบในการสกัด

ทำการศึกษาต้นทุนวัตถุดิบในแต่ละการทดลองเปรียบเทียบกัน ตามวิธีของอนุรักษ์ (2564)

1.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางสถิติ

นำข้อมูลคุณภาพที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ($p \leq 0.05$) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan’s new multiple range test

2. การศึกษาผลการจำลองสภาวะความเป็นกรดด่างในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ที่มีต่อ สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด

นำโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการคัดเลือกในขั้นตอนที่ 1 ทำการศึกษาผลของสภาวะความเป็นกรดด่าง ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด โดยการจำลองสภาวะสารละลาย ที่มี pH ที่ 2, 4, 6, 8 และ 12 ด้วย 0.1 M NaOH และ 0.1 M HCL และผสมกับจิ้งหรีดผง วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) มี 5 สิ่งทดลองคือ สภาวะสารละลาย ที่มี pH ที่ 2, 4, 6, 8 และ 12 โดยในแต่ละสิ่งทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่าคุณภาพ 3 ซ้ำ และมีขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสมบัติเชิงหน้าที่ ดังนี้

2.1 ความสามารถในการละลาย (Solubility) ดัดแปลงตามวิธีการของ Jia et al., (2020) มีวิธีการตามข้อ 1.3 โดยใช้สารละลาย pH ที่ 2, 4, 6, 8 และ 12 เป็นตัวทำละลายผงโปรตีนแทนน้ำกลั่น

2.2 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ Emulsifying capacity และ emulsion stability ดัดแปลงตามวิธีการของ Ndiritu et al. (2019) มีวิธีการตามข้อ 1.3 โดยใช้สารละลาย pH ที่ 2, 4, 6, 8 และ 12 เป็นตัวทำละลายผงโปรตีนแทนน้ำกลั่น

2.3 ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม (Foam capacity and stability) ดัดแปลงตามวิธีการของ Ndiritu et al. (2017) มีวิธีการตามข้อ 1.3 โดยใช้สารละลาย pH ที่ 2, 4, 6, 8 และ 12 เป็นตัวทำละลายผงโปรตีนแทนน้ำกลั่น

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลคุณภาพที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ($p \leq 0.05$) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's new multiple range test เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่โปรตีนจิ้งหรีดมีประสิทธิภาพการทำงานตามสมบัติเชิงหน้าที่ได้ดีที่สุด

3. การศึกษาผลการจำลองสภาวะความเข้มข้นของ NaCl ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด

นำโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการคัดเลือกในขั้นตอนที่ 1 ทำการศึกษาผลของสภาวะความเข้มข้นของ NaCl ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด โดยการจำลองสภาวะสารละลายที่มีความเข้มข้นของ NaCl ที่ 2%, 4%, 6%, 8%, และ 12% w/v และผสมกับโปรตีนจิ้งหรีดตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสมบัติเชิงหน้าที่ ตามการทดลองข้อที่ 2

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือ Complete randomized design มี 5 สิ่งทดลอง ดังนี้ สภาวะสารละลายที่มีความเข้มข้นของ NaCl ที่ 2%, 4%, 6%, 8%, และ 12% w/v โดยในแต่ละสิ่งทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่าคุณภาพ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ($p \leq 0.05$) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's new multiple range test เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่โปรตีนจิ้งหรีดมีประสิทธิภาพการทำงานตามสมบัติเชิงหน้าที่ได้ดีที่สุด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาวิธีการสกัดโปรตีนจากผงจิ้งหรีดด้วยสารละลาย 2 วิธี และผลกระทบที่มีต่อค่าคุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด

จากการสกัดผงจิ้งหรีดด้วยวิธีการสกัดด้วยเอทานอล (EtOH ความเข้มข้น 99.5%) และวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid 2g/1,200 ml) พบว่า ค่า Proximate analysis ค่าสี และ ร้อยละผลผลิต ที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังผลแสดงในตารางที่1 โดยการสกัดด้วยเอทานอล ให้ปริมาณโปรตีนที่มากที่สุดคือ 75.53± 0.45% และมีปริมาณไขมันเหลือน้อยสุด คือ 10.84± 0.32% เมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค และตัวอย่างจิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่านการสกัด ในขณะที่วิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค มีร้อยละผลผลิตที่มากกว่า การสกัดด้วยเอทานอล และสามารถกำจัดปริมาณเถ้าได้มากที่สุด โดยมีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ L'Hocine et al. (2006) ที่ศึกษาการใช้สารละลายจากเอทานอล เมทานอล และสารละลายกรดแอสคอร์บิค ทำการสกัดไขมันจากโปรตีนถั่วเหลือง พบว่า การใช้เอทานอล สามารถสกัดไขมันออกได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิค และใกล้เคียงกับเฮกเซน นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Amarender et al.(2020) ที่พบว่าการใช้เอทานอล นั้นให้ผลการสกัดไขมันจากจิ้งหรีดวงศ์ *Gryllidae* ได้ดีกว่า กรดแอสคอร์บิค และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในขณะเดียวกัน สารละลายกรดแอสคอร์บิคยังสามารถกำจัดเถ้าได้ดีกว่า เนื่องจากมีความสามารถในการทำละลายแร่ธาตุได้ดีนั้นเอง

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของจิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพ	การทดลอง		
	ไม่ผ่านการสกัด	สกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค	สกัดด้วยเอทานอล
โปรตีน (% dry basis)	$64.78^{c} \pm 0.68$	$68.55^{b} \pm 0.67$	$75.53^{a} \pm 0.45$
ไขมัน (% dry basis)	$19.88^{a} \pm 0.58$	$14.29^{b} \pm 0.84$	$10.84^{c} \pm 0.32$
คาร์โบไฮเดรต (%CHO)	$12.00^{b} \pm 0.43$	$14.70^{a} \pm 0.17$	$8.79^{c} \pm 0.23$
เถ้า (% dry basis)	$4.35^{a} \pm 0.13$	$2.24^{b} \pm 0.07$	$4.5^{a} \pm 0.42$
ความชื้น (%)	$7.12^{a} \pm 0.91$	$6.87^{b} \pm 0.21$	$6.66^{b} \pm 0.69$
ร้อยละผลผลิต (%yield)	-	$91.82^{a} \pm 0.34$	$86.00^{b} \pm 0.12$
ค่าสี L*	$54.88^{b} \pm 0.23$	$44.01^{c} \pm 0.12$	$58.04^{a} \pm 0.06$
a*	$4.67^{c} \pm 0.14$	$5.88^{a} \pm 0.16$	$4.91^{b} \pm 0.06$
b*	$15.34^{b} \pm 0.09$	$17.71^{a} \pm 0.04$	$15.46^{b} \pm 0.27$

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b,c} แสดงค่าเฉลี่ยในแถวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 1 ค่าสีของจิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่านการสกัด และผ่านการสกัดด้วยกรดแอสคอร์บิค และเอทานอล

ในส่วนค่า สี L* (ความสว่าง) a* (-เขียว +แดง) และ b* (-น้ำเงิน +เหลือง) แสดงในตารางที่ 1 พบว่า โปรตีนจิ้งหรีดที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลมีค่า L* ที่สูง และมี ค่า a* และ b* ที่น้อยกว่าโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้จากการสกัดด้วยแอสคอร์บิค ซึ่งหมายถึงโปรตีนจิ้งหรีดที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอล มีสีออกโทนสว่าง และมีสีที่อ่อนกว่าโปรตีนจิ้งหรีดที่สกัดด้วยแอสคอร์บิค (ตามภาพที่ 1) สาเหตุเนื่องมาจาก เอทานอลจัดเป็นสารละลายกลุ่มไม่มีขั้วที่มีความสามารถในการเป็นตัวทำละลายเม็ดสีในแมลงได้ (Kim et al., 2021) ประกอบกับความสามารถในการดึงไขมันออกไปได้สูง ทำให้สารเม็ดสีที่ละลายในไขมันจิ้งหรีดจึงได้ละลายออกไปด้วย (Laroche et al., 2019)

ผลค่าสมบัติเชิงหน้าที่ของจิ้งหรีดผงที่ผ่านกระบวนการสกัด 2 วิธี แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า โปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลาย 2 วิธี ให้ค่าสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับไขมัน และความสามารถในการเกิดโฟมที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผงจิ้งหรีดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการสกัด โดยโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล มีค่าการละลาย และการเกิดโฟม มากกว่า โปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการสกัดด้วยเอทานอล สามารถกำจัดไขมันออกได้สูง โดยไขมันนั้นมีคุณลักษณะที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งไปปิดกั้นความสามารถในการละลายของโปรตีน และส่งผลต่อความสามารถในการเกิดโฟม และการดูดซับไขมันได้ (Azagoh et al., 2016; Lam et al., 2018) ในส่วนของโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิคนั้น มีค่า Emulsifying capacity และ Emulsifying stability ที่สูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอล ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับการทดลองของ Ndiritu et al. (2017) ที่พบว่า การใช้สารละลายกรดอ่อนแอสคอร์บิคในการสกัดโปรตีนจิ้งหรีด มีผลทำให้ค่า Emulsifying capacity และ Emulsifying stability สูงกว่าการใช้ สารละลายเฮกเซน เนื่องจาก สารละลายกรดมีความสามารถในการเปลี่ยนสภาพโครงสร้างของโปรตีนให้เปิดเผยกรดอะมิโนกลุ่มที่ไม่มีขั้ว (non-polar) เพิ่มขึ้น ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการจับสารละลายน้ำและน้ำมันในการทำอิมัลชั่นได้มากขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าสมบัติเชิงหน้าที่ของจิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน

ค่าสมบัติเชิงหน้าที่	การทดลอง		
	จิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่านการสกัด	สกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค	สกัดด้วยเอทานอล
Water holding capacity (ml/g)	1.48^{b}±0.01	1.63^{a}±0.01	1.64^{a}±0.01
Fat Absorb Capacity (%)	240.37^{c}±3.39	343.11^{a}±3.72	297.03^{b}±3.00
Solubility (g/L)	14.68^{b}±0.14	3.83^{c}±0.46	17.48^{a}±0.79
Foam Capacity (%)	0.67^{b}±0.08	1.44^{b}±0.09	2.55^{a}±0.05
Foam stability (%)	0.33^{b}±0.08	0.33^{b}±0.18	2.33^{a}±0.05
Emulsifying capacity (%)	19.25^{c}±0.56	33.07^{a}±1.57	28.32^{b}±0.76
Emulsifying stability (%)	11.38^{c}± 0.76	29.56^{a}±1.57	24.04^{b}±1.95

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b,c} แสดงค่าเฉลี่ยในแถวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์ของโปรตีนจิ้งหรีดผงที่ผ่านกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า กระบวนการสกัดแต่ละแบบไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์ รา โคลิฟอร์ม อีโคไล และกลุ่มจุลินทรียที่ทำให้เกิดโรค โดยหากอ้างอิงมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 209) พ.ศ.2543 เรื่อง ผลิตภัณฑ์ของนม (นมผง) และ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ.2563 เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (ปัจจุบันมาตรฐานโปรตีนจิ้งหรีดผงยังไม่ได้มีการจัดทำและบังคับใช้) กำหนดว่าผลิตภัณฑ์ต้องตรวจพบแบคทีเรียได้ไม่เกิน 100,000 cfu ในผลิตภัณฑ์ของนมชนิดแห้ง 1 กรัม และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค 3 ชนิดดังนี้ *Salmonella* spp ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus cereus* ต้องพบไม่เกิน 100 cfu ใน 1 กรัม ตัวอย่าง โดยพบว่า โปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการสกัดทั้ง 2 วิธี พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคไม่เกินกว่าที่กฎหมายกำหนด โดยในส่วนของต้นทุนวัตถุดิบของการสกัดแต่ละวิธี แสดงในตารางที่ 4 พบว่า ต้นทุนผลิตภัณฑ์ของโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล (1,343.70 บาท/กก.) สูงกว่าการสกัดโดยใช้กรดแอสคอร์บิค (1,122.20 บาท/กก.) แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณโปรตีนที่ได้จากการสกัด (ข้อมูลจากตารางที่1) พบว่า โปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล จัดเป็น ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเข้มข้น 75% (Protein concentrate 75%) ซึ่งมีราคาจำหน่ายในท้องตลาดที่สูงกว่า และมีมูลค่าเพิ่มที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค

จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้น พบว่า วิธีการสกัดโปรตีนจิ้งหรีดด้วยเอทานอลสามารถสกัดได้โปรตีนจิ้งหรีดที่มีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าการใช้แอสคอร์บิค มีค่าความสามารถในการละลาย การเกิดโฟม ที่ดีกว่า นอกจากนั้นยังมีความคุ้มค่าในการผลิตเมื่อพิจารณาในแง่ของมูลค่าเพิ่มที่ได้ มากกว่าการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค ผู้วิจัยจึงได้ทำการคัดเลือกโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอล ไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของจิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน

ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์	การทดลอง		
	จิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่านการสกัด	สกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค	สกัดด้วยเอทานอล
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	3.41 $X10^2$	3.32$X10^2$	3.26$X10^2$
ยีสต์และรา (CFU/g)	1.91$X10^2$	1.90$X10^2$	1.83 $X10^2$
E. Coli และ Coliform (MPN/25g)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Bacillus cereus (CFU/g)	< 10	< 10	< 10
Clostridium perfringens (CFU/g)	< 10	< 10	< 10
Listeria monocytogenes (CFU/25g)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Salmonella spp. (CFU/25g)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Staphylococcus aureus (CFU/g)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ CFU = Colony forming unit, MPN = Most probable number

ตารางที่ 4 ต้นทุนวัตถุดิบของจิ้งหรีดผงที่ไม่ผ่าน และผ่านกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน

รายการ	**การทดลอง**		
	ไม่ผ่านการสกัด	**สกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค**	**สกัดด้วยเอทานอล**
น้ำหนักจิ้งหรีดผงเริ่มต้น (กรัม)	400.00	400.00	400.00
น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการสกัด (กรัม)	400.00	368.00	344.00
ร้อยละโปรตีนที่ได้	64.78 ± 0.68	68.55± 0.67	75.53± 0.45
ต้นทุนวัตถุดิบรวม (บาท) ต่อการสกัด 1 ครั้ง	**400.00**	**413.00**	**462.00**
- จิ้งหรีดผงพันธุ์ทองแดงลาย 400 กรัม (1,000 บาท/กก.)	400.00	400.00	400.00
- เอทานอล 800 มล. (1,400 บาท/18 ลิตร)	-	-	62.00
- น้ำกลั่น 1,200 มล. (120 บาท/20 ลิตร)	-	11.40	-
- กรดแอสคอร์บิค 2 กรัม (790 บาท/ 1 กก.)	-	1.60	-
ต้นทุนผลิตภัณฑ์ (บาท/กก.)	**1,000.00**	**1,122.20**	**1,343.70**
ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ต่อกก. (แบ่งตามความเข้มข้นของโปรตีน)ที่มีในท้องตลาด (บาท)			
-โปรตีนจิ้งหรีดเข้มข้น 70% (Concentrated protein, 70-88% protein)	-	-	2,250-2,500
- ผงจิ้งหรีด		1,000-1,500	-
มูลค่าเพิ่ม (เท่า)		1.34	1.86

2. การศึกษาผลการจำลองสภาวะความเป็นกรดด่างในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด

จากการนำโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านวิธีการสกัดด้วยเอทานอล จากการทดลองที่ 1 มาทำการศึกษาผลของสภาวะความเป็นกรดด่าง ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด โดยการจำลองสภาวะสารละลาย ที่มี pH ที่ 2, 4, 6, 8 และ 12 ได้ผลความสามารถในการละลาย การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟม แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ความสามารถในการละลายของโปรตีนจิ้งหรีด ในสารละลายที่ pH แต่ละระดับค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่า โปรตีนจิ้งหรีดมีความสามารถในการละลายลดลงต่ำสุดที่ pH 4 และค่อยๆเพิ่มขึ้นใน pH อื่นๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mintah et al., (2020) ที่พบว่าโปรตีนจากแมลง จะมีค่าการละลายที่ต่ำที่สุดในช่วงสารละลายที่มี pH 4-5 และจะสูงขึ้นที่ pH อื่นๆทั้งในสภาวะกรด และด่าง เนื่องจากที่ pH 4-5 เป็นจุดที่ประจุรวมของกรดอะมิโนเป็น 0 (isoelectric point) ส่งผลให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนและการละลายลดลงในช่วงนี้นั้นเอง โดยโปรตีนจิ้งหรีดมีความสามารถในการละลายได้สูงสุดในช่วงสภาวะ pH 8 และ 12 ซึ่งใกล้เคียงกับโปรตีนจากด้วงงวงมะพร้าว (*R. ferrugineus.*) และหนอนนก *(T. molitor)* ที่มีค่าการละลายสูงสุดอยู่ที่ pH 11 ในส่วนของความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าโปรตีนจิ้งหรีด มีค่าสูงสุดอยู่ที่ช่วง pH 8 และ 12 และลดลงไปในสภาวะที่เป็นกรด สาเหตุเนื่องจากว่า ในสภาวะที่เป็นด่าง โครงสร้างของโปรตีนจะมีการคลายตัวและเผยสายกรดอะมิโนทั้งที่มีขั้วและไม่มีขั้วในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อความสามารถในการละลายน้ำ และการจับไขมันในระบบอิมัลชั่นได้มากยิ่งขึ้น (Mintah et al., 2020; Omotoso & Adedire, 2007; Yi et al., 2017) สำหรับความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมของโปรตีนจิ้งหรีด พบว่าจะมีทิศทางสอดคล้องกับค่าความสามารถในการละลาย โดยมีค่าต่ำสุดที่สารละลายที่ pH 4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim et al., (2019) ที่พบว่าความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมของโปรตีน จะแปรผันไปตามปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนที่ละลายในสารละลาย หากความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลต่อการเกิดโครงสร้างของโฟมและความคงตัวของโฟมที่มากขึ้นนั้นเอง

ตารางที่ 5 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีดที่สภาวะสารละลายที่ pH 2, 4, 6, 8 และ 12

การทดลอง	Solubility (g/L)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Foam capacity (%)	Foam stability (%)
pH 2	30.72±0.31^{b}	21.19±0.01^{c}	20.86±0.57^{c}	1.33±0.12^{b}	1.67±0.58^{b}
pH 4	15.57±0.56^{d}	22.64±0.89^{c}	21.98±0.57^{c}	0.67±0.08^{c}	0.67±0.57^{c}
pH 6	18.02±0.56^{c}	25.35±0.61^{b}	24.01±0.62^{b}	1.67±0.08^{b}	1.60±0.58^{b}
pH 8	42.58±0.13^{a}	31.63±0.61^{a}	29.50±0.26^{a}	2.67±0.15^{a}	3.33±0.24^{a}
pH 12	41.29±0.42^{a}	32.66±0.29^{a}	29.66±0.32^{a}	2±0.41^{b}	1.80±0.42^{b}

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b,c} แสดงค่าเฉลี่ยในแถวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. การศึกษาผลการจำลองสภาวะความเข้มข้นของ NaCl ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด

นำโปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านการคัดเลือกในการทดลองที่ 1 ทำการศึกษาผลของสภาวะความเข้มข้นของ NaCl ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด โดยการจำลองสภาวะสารละลายที่มีความเข้มข้นของ NaCl ที่ 2%, 4%, 6%, 8%, และ 12% (w/v) ได้ผลความสามารถในการละลาย การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟม ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีดที่สภาวะสารละลายที่มีความเข้มข้นของ NaCl ที่ 2%, 4%, 6%, 8%, และ 12% (w/v)

การทดลอง	Solubility (g/L)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Foam capacity (%)	Foam stability (%)
NaCl 2%	76.64±0.60^{a}	20.53±0.58^{a}	11.86±0.58^{a}	2.33±0.10^{a}	2.67±0.08^{a}
NaCl 4%	71.04±0.67^{b}	15.98±0.57^{b}	10.98±0.49^{ab}	1.67±0.08^{ab}	2±0.07^{ab}
NaCl 6%	54.01±0.62^{c}	11.01±0.41^{d}	8.35±0.61^{d}	1.33±0.08^{b}	1.33±0.08^{bc}
NaCl 8%	55.35±0.76^{d}	12.63±0.39^{c}	9.63±0.39^{c}	1.00±0.04^{b}	1.33±0.12^{bc}
NaCl 12%	33.62±0.34^{e}	12.32±0.34^{c}	10.32±0.34^{bc}	0.87±0.10^{b}	1.01±0.04c

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ^{a,b,c} แสดงค่าเฉลี่ยในแถวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการละลายของโปรตีนจิ้งหรีด มีค่าลดลง ตามระดับความเข้มข้นของ NaCl ที่สูงขึ้น โดยโปรตีนจิ้งหรีดมีค่าการละลายสูงสุด (76.64±0.60 g/L) ที่สารละลาย NaCl เข้มข้น 2% (w/v) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่นิยมใช้ในการทำผลิตภัณฑ์กลุ่มไส้กรอกอิมัลชัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Babiker et al. (2007) ที่ศึกษา ความสามารถในการละลาย ของ Sudanese Tree Locust ในสารละลาย NaCl พบว่า โปรตีนของ Sudanese Tree Locust ละลายได้ดีที่สุดที่ NaCl ความเข้มข้น 0.4 M (ประมาณ 2% w/v) และลดลงไปตามความเข้มข้น NaCl ที่เพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากในสภาวะธรรมชาติ โปรตีนจะละลายอยู่ในน้ำ โดยสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ โมเลกุลของโปรตีนส่วนที่ชอบน้ำจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ แต่เมื่อมีการเติม NaCl ที่ความเข้มข้นสูง NaCl จะแตกตัวเป็นประจุบวก และประจุลบ และมีแรงดึงดูดโมเลกุลของน้ำมากกว่า ทำให้โมเลกุลของน้ำก็จะเข้ามาล้อมรอบโมเลกุลของ NaCl แทนโมเลกุลของโปรตีน จึงทำให้โปรตีนแยกตัวออกจากน้ำ เกิดการตกตะกอน และไม่ละลายน้ำนั้นเอง (Albarracın, 2011) ในส่วนของความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟม พบว่า มีค่าสูงสุดอยู่ที่ในสภาวะที่สารละลาย NaCl ที่ 2% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับโปรตีนจากถั่วฟาวา และหนอนไหม ที่มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีในช่วง ความเข้มข้นที่ 1-5% (Adeyeye., 2008) และลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย NaCl เพิ่มขึ้น โดยพบว่า ความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่เพิ่มขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน และการเผยกรดอะมิโนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการตกตะกอนและการรวมตัวของโปรตีนที่แน่นขึ้นส่งผลให้การเผย

กรดอะมิโนที่มีขั้วและไม่มีขั้วลดลง (Hu et al., 2017; Mintah et al., 2020) ทำให้ความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ลดลง ในส่วนความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมที่เพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนที่ละลายในสารละลายที่มากขึ้นนั้นเอง (Kim et al., 2019)

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิธีการสกัดโปรตีนจิ้งหรีดพันธุ์ทองแดงลายด้วยสารละลายที่ใช้ในการสกัดไขมันและโปรตีน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการสกัดด้วยสารละลาย เอทานอล (EtOH ความเข้มข้น 99.5%) และ วิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid 2 กรัม/1,200 มิลลิลิตร) ที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีด พบว่า วิธีการสกัดที่เหมาะสม คือการสกัดด้วยเอทานอล โดยโปรตีนจิ้งหรีดผงที่ได้ มีปริมาณโปรตีน (75.53± 0.45%) สูงที่สุด และ มีค่าสมบัติเชิงหน้าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการสกัด ในส่วนของค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์ของโปรตีนจิ้งหรีดผงที่ผ่านกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่า โปรตีนจิ้งหรีดที่ผ่านกระบวนการสกัดทั้ง 2 วิธี มีความปลอดภัยด้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคตามที่กฎหมายกำหนด โดยผลิตภัณฑ์ของผงจิ้งหรีดที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอลจัดเป็น ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเข้มข้น 75% และมีต้นทุนเท่ากับ 1,343.70 บาท/กก.

การศึกษาผลการจำลองสภาวะ pH และ ความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับต่างๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจิ้งหรีดพบว่าสารละลายที่ pH 8 และ12 และความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับ 2% (w/v) โปรตีนจิ้งหรีดมีความสามารถในการละลาย การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมสูงที่สุด ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ สามารถนำไปใช้ปรับปรุงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนจิ้งหรีดเข้มข้น และใช้ประกอบการกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้โปรตีนจิ้งหรีดผงพันธุ์ทองแดงลาย ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะต่างๆ เช่น การเลือกใช้โปรตีนจิ้งหรีดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกลุ่มที่มี pH ในช่วง 8-12 จะทำให้โปรตีนสามารถละลายได้ดี คงตัว และไม่มีการตกตะกอนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ได้มากกว่าเครื่องดื่มกลุ่มที่มีสภาวะที่เป็นกรด ที่ pH 4 หรือการใช้โปรตีนจิ้งหรีดเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเกลือที่สูงกว่า 2% ก็อาจมีผลต่อค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงไปนั้นเอง

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 209) พ.ศ.2543 เรื่องผลิตภัณฑ์ของนม.

กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 เรื่อง เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

ธนาวุฒิ จิโน และสุทัศน์ สุระวัง. (2021). องค์ประกอบทางเคมีและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากจิ้งหรีดทางการค้า. *Thai Journal of Science and Technology*, 10(1).

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2563, รัฐมนตรีเกษตรฯดันไทยสู่มหาอำนาจจิ้งหรีดโลก สศก.โชว์ศักยภาพเกษตรผลิตพาณิชย์ตลาด ขับเคลื่อนอุตสาหกรรมเกษตร ด้วยศาสตร์พระราชาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th (21 ก.ค. 2564)

อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์, 2564, การบัญชีต้นทุน [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://home.kku.ac.th /anuton/cost%20accounting/cost%20split.htm (30 ก.ค. 2564)

Adeyeye, E. (2008). Proximate composition, nutritionally valuable minerals and the effects of some salts on the functional properties of silk worm (Anaphe infracta) Larvae. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research, 51(2), 77–85.

Albarracín, W., Sánchez, I. C., Grau, R., & Barat, J. M. (2011). Salt in food processing; usage and reduction: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(7), 1329-1336.https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02492.x

Amarender, R. V., Bhargava, K., Dossey, A. T., & Gamagedara, S. (2020). Lipid and protein extraction from edible insects – Crickets (Gryllidae). *Lwt*, *125*, 109222. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109222

AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (2019) 21st ed. AOAC International, Rockville, MD, USA

Astawan, M., & Prayudani, A. P. . (2020). The Overview of food technology to process soy protein isolate and its application toward food industry. *World Nutrition Journal*, *4*(1), 12. https://doi.org/10.25220/wnj.v04.s1.0003

Azagoh, C., Ducept, F., Garcia, R., Rakotozafy, L., Cuvelier, M. E., Keller, S., Lewandowski, R., & Mezdour, S. (2016). Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. *Food Research International*, *88*, 24–31. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.010

Babiker, E. E., Hassan, A. B., Eltayeb, M. M., Osman, G. A., El Hassan, N. M., & Hassan, K. A. (2007). Solubility and functional properties of boiled and fried Sudanese tree locust flour as a function of NaCl concentration. *Journal of Food Technology*, *5*(3), 210-214.

Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. K. (2016). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, *2*(12). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218

Gandh, A. P., Joshi, K. C., Jha, K., Parihar, V. S., Srivastav, D. C., Raghunadh, P., Kawalkar, J., Jain, S. K., & Tripathi, R. N. (2005). Studies on alternative solvents for the extraction of peanut oil. *Journal of Food Science and Technology*, *42*(4), 352–355.

Gravel, A., & Doyen, A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *59*(October 2019), 102272. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272

Hall, F. G., Jones, O. G., O'Haire, M. E., & Liceaga, A. M. (2017). Functional properties of tropical banded cricket (*Gryllodes sigillatus*) protein hydrolysates. *Food Chemistry*, *224*, 414–422. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.138

Hu, H., Fan, T., Zhao, X., Zhang, X., & Sun, Y. (2017). Influence of pH and salt concentration on

functional properties of walnut protein from different extraction methods. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(9), 2833–2841. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2721-6

ISO 11290 - 1:2017. Microbiology of the food chain - horizontal method for the detection and enumeration of *Listeria monocytogenes* and of *Listeria spp*. - Part 1: detection method. Geneva,Switzerland: International Organization for Standardization; 2017.

ISO 6579 - 1:2017. Microbiology of the food chain - horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* - Part 1: detection of *Salmonella spp*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2017.

Jia, C., Cao, D., Ji, S., Lin, W., Zhang, X., & Muhoza, B. (2020). Whey protein isolate conjugated with xylo-oligosaccharides via maillard reaction: Characterization, antioxidant capacity, and application for lycopene microencapsulation. *Lwt*, *118* (October 2019). https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108837

Kim, H. W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., Jones, O. G., & Kim, Y. H. B. (2016). Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 116–123. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.023

Kim, T. K., Yong, H. I., Jeong, C. H., Han, S. G., Kim, Y. B., Paik, H. D., & Choi, Y. S. (2019). Technical Functional Properties of Water- And Salt-soluble Proteins Extracted from Edible Insects. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 643–654. https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e56

Kim, T. K., Yong, H. I., Kim, Y. B., Jung, S., Kim, H. W., & Choi, Y. S. (2021). Effects of organic solvent on functional properties of defatted proteins extracted from *Protaetia brevitarsis* larvae. *Food Chemistry*, *336*,127679. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127679

L'Hocine, L., Boye, J. I., & Arcand, Y. (2006). Composition and functional properties of soy protein isolates prepared using alternative defatting and extraction procedures. *Journal of Food Science*, *71*(3). https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15609.x

Lam, A. C. Y., Can Karaca, A., Tyler, R. T., & Nickerson, M. T. (2018). Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, *34*(2), 126–147. https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135

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(11), 572. https://doi.org/10.3390/foods8110572

Mintah, B. K., Dabbour, M., He, R., Agyekum, A. A., Golly, M. K., & Ma, H. (2020). Edible insect protein for food applications : Extraction , composition , and functional properties. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(4), 13362. https://doi.org/10.1111/jfpe.13362

Ndiritu, A. K., Kinyuru, J. N., Gichuhi, P. N., & Kenji, G. M. (2019). Effects of NaCl and pH on the functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. *Journal of*

Food Measurement and Characterization, *13*(3), 1788–1796. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00097-5

Ndiritu, A. K., Kinyuru, J. N., Kenji, G. M., & Gichuhi, P. N. (2017). Extraction technique influences the physico-chemical characteristics and functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(4), 2013–2021. https://doi.org/10.1007/s11694-017-9584-4

Omotoso, O. T., & Adedire, C. O. (2007). Nutrient composition, mineral content and the solubility of the proteins of palm weevil, *Rhynchophorus phoenicis* f. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Zhejiang University. Science B*, *8*(5), 318–322. https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0318

Ramdath, D. D., Lu, Z. H., Maharaj, P. L., Winberg, J., Brummer, Y., & Hawke, A. (2020). Proximate analysis and nutritional evaluation of twenty Canadian lentils by principal component and cluster analyses. *Foods*, 9(2). https://doi.org/10.3390/foods9020175

Ribeiro, J. C., Lima, R. C., Maia, M. R. G., Almeida, A. A., Fonseca, A. J. M., Cabrita, A. R. J., & Cunha, L. M. (2019). Impact of defatting freeze-dried edible crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) on the nutritive value, overall liking and sensory profile of cereal bars. Lwt, *113*, 108335. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108335

Tallent SM, Knolhoff A, Rhodehamel EJ, Harmon SM, Bennett RW. Chapter 14: Bacillus cereus. In: Bacteriological analytical manual (BAM). [online]. 2012; [cited 2020 March 2] Available from: URL: https://www.fda.gov/food/laboratory - methods - food/bam - bacillus - cereus.

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: prospects for food and feed security (No. 171). Food and agriculture organization of the United Nations.

Yi, L., Boekel, M. A. J. S. Van, & C.M.M., L. (2017). Extracting *Tenebrio molitor* protein while preventing browning: effect of pH and NaCl on protein yield. *Journal of Insects as Food and Feed*, *3*(1), 21–31. https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0015

Yi, Liya, Lakemond, C. M. M., Sagis, L. M. C., Eisner-Schadler, V., Huis, A. Van, & Boekel, M. A. J. S. V. (2013). Extraction and characterization of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, *141*(4), 3341–3348. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115