วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

กระบวนการต้นแบบการผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับการเลี้ยงปูทะเล

Prototype production of formulate feed for small scale mud crab aquaculture

สิรินาถ เตชา[1], จันทร์สว่าง งามผ่องใส[1], เสรี ดอนเหนือ[1], ณรงค์ศักดิ์ พ่วงลาภ[1], สรวิศ เผ่าทองศุข[1], ศานิต ปิยพัฒนากร[2] และ กรณ์รวี เอี่ยมสมบูรณ์[2]*

Sirinart Techa[1], Chansawang Ngamphongsai[1], Seri Donnue[1], Narongsak Puanglarp[1], Sorawit Powthongsook[1], Sanit Piyapattanakorn[2] and Kornrawee Aiemsomboon[2]*

[1] *ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 113 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120*

[1] *National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani 12120, Thailand*

[2] *ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330*

[2] *Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University 254 Prayathai Rd., Wang Mai, Pratumwan, Bangkok, 10330, Thailand*

บทคัดย่อ: เนื่องจากอาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงปูทะเลมีอยู่อย่างจำกัดในตลาด กระบวนการผลิตขนาดเล็กที่เรียบง่ายและปรับเปลี่ยนได้ จึงเป็นทางออกที่ดีสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปู ในที่นี้ เราได้อธิบายต้นแบบสำหรับการผลิตอาหารสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วยอาหารกุ้งป่น (42.5%) สารยึดเกาะ ได้แก่ วีทกลูเตน (7.5%) และอัลฟ่าสตาร์ช (2.5%) เนื้อปลาบด (5%) และผงเคล (2.5%) นำมาขึ้นรูปเป็นอาหารเม็ดในรูปแบบแท่ง โดยใช้เครื่องอัดแท่งอาหารขนาดเล็กที่หาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพง อบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อาหารสำเร็จรูปที่ผลิตได้สามารถเก็บได้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เมื่อทำการศึกษา การคงตัวในน้ำ คุณค่าทางโภชนาการและการทดสอบการกิน เปรียบเทียบกับอาหารที่มีขายในท้องตลาด พบว่าคุณค่าทางโภชนาการหลัก ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตของอาหารต้นแบบมีค่าเท่ากับ 40.08±0.14%, 5.3±0.04%, 27.14% ตามลำดับ ในขณะที่คุณค่าทางโภชนาการอาหารที่มีขายในท้องตลาด อยู่ที่ 39.63±0.08%, 12.19±0.24% และ 27.37% ตามลำดับ ความสามารถคงตัวในน้ำระหว่างอาหารสำเร็จรูปทั้งสอง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหลังจาก 2 ชั่วโมง (89.35±1.54% ในอาหารต้นแบบและ 80.49±2.74% ในอาหารเชิงพาณิชย์) และ 3 ชั่วโมง (78.17±0.41% ในอาหารต้นแบบและ 73.06±2.22% ในอาหารเชิงพาณิชย์) ในขณะที่ชั่วโมงแรกมีค่าที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้อาหารต้นแบบสามารถดึงดูดการกินของปูได้ดีกว่าเม็ดเชิงพาณิชย์ (86.67% และ 60.00% (n=15) ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าการกิน (palatability) อยู่ที่ 64.10% สูงกว่าอาหารท้องตลาด (10.83%) อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตแล้ว การผลิตต้นแบบแต่ละรอบจะมีราคาประมาณ 3 สตางค์/เม็ด (น้ำหนักประมาณ 0.4 กรัม/เม็ด) และต้องใช้สามเม็ดในการให้อาหารในปริมาณที่ใกล้เคียงกับอาหารท้องตลาด ดังนั้นการให้อาหารในแต่ละมื้อ อาหารต้นแบบจะมีราคาต่ำกว่าอาหารเชิงพาณิชย์ (8 และ 12 สตางค์ ตามลำดับ) จากการศึกษาครั้งนี้ อาหารต้นแบบมีความเรียบง่ายและยืดหยุ่นสำหรับการผลิตขนาดเล็กและช่วยให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปูทะเลสามารถออกแบบสูตรอาหารของตนเองได้

คำสำคัญ: โภชนาการ; อาหารเม็ดสำเร็จรูป; เครื่องอัดแท่งอาหารขนาดเล็ก; ปูทะล; อาหารเสริม

* Corresponding author: Kornrawee.A@chula.ac.th

Received: date; October 4, 2022 Revised date; October 24, 2023

Accepted: date; November 15, 2023 Published: date;

ABSTRACT: Since crab formulated feeds are limited in the market, small scale production with simple and adjustable processes would be an ideal solution for developing crab aquaculture. Herein we described the prototype for formulate feed production that was composed of shrimp formulate feed (42.5%) mixed with binders: wheat gluten (7.5%) and alpha starch (2.5%), mashed fish meat (5%) and Kale powder (2.5%). The mixture was then reformed into pellets using household mincer and dried at 60°C for 2 hr. The pellets can be stored at room temperature for 1 week. Proximate analysis, stability, ingestion assay, and the worthiness of the feed were determined in comparison with commercial feed. The results revealed that the main nutrition values including protein, lipid and carbohydrate of prototype feed were 40.08±0.14%, 5.3±0.04%, 27.14%, respectively, whereas those of the commercial are found at 39.63±0.08%, 12.19±0.24%, and 27.37%, respectively. The stability between both feeds were significantly observed after 2 hr (89.35±1.54% in prototype and 80.49±2.74% in commercial feed) and 3 hr (78.17±0.41% in prototype and 73.06±2.22% in commercial feed) while the first hour was similar. It was found that the prototype pellet attracted crab better than the commercial one (86.67% and 60.00% (n=15), respectively). Palatability of the prototype pellets was 64.10% compared to that of the commercial diet (10.83%, $P<0.05$). When production cost per round is considered, prototype production costed around 3 Satang/pellet (~0.4 g/pellet), and it required 3 pellets to feed in similar amount with commercial pellet. Therefore, per each meal, prototype feed costed lower than the commercial one (8 and 12 Satang, respectively). According to this study, the prototype feed offers simpler and more flexible use for small scale production, and allows mud crab farmers to design their own feed formula.

Keywords: nutrition; formulate feed; small feed mincer; mud crab; feed additives

บทนำ

ปูทะเลเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของไทย เนื่องจากมีรสชาติที่ดี ราคาสูง และเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ทำให้การเพาะเลี้ยงปูทะเลในประเทศไทยมีการขยายตัวและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งจากภาครัฐและเอกชน (กรมประมง, 2563) อย่างไรก็ตามธุรกิจการเพาะเลี้ยงปูทะเลในประเทศไทยยังไม่สามารถขยายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควรเนื่องจากปัญหาหลายประการ ทั้งทางด้านการเพาะพันธุ์ อนุบาล และเพาะเลี้ยง นอกจากนี้อาหารที่เหมาะสมและสามารถควบคุมคุณภาพได้ถือว่าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงปูทะเล

ปูทะเลมีกลไกการเปลี่ยนแปลงของสรีระที่ซับซ้อนอยู่หลายกระบวนการในช่วงชีวิต ปูทะเลจะเดินทางเพื่อจับคู่ผสมพันธุ์กันในเขตน้ำกร่อยก่อนที่ตัวเมียจะเดินทางไปพัฒนาไข่จนมีไข่นอกกระดองและฟักไข่เป็นตัวอ่อนในทะเล ก่อนจะกลับมาเติบโตในเขตน้ำกร่อยหรือน้ำจืดอีกครั้ง (Koolkalya et al., 2006; Robertson and Kruger, 1994; Haesman et al., 1985) ทำให้การเลี้ยงปูทะเลต้องการสภาพแวดล้อมและอาหารที่แตกต่างในแต่ละช่วงชีวิต (Chung et al., 2011; Alava et al., 2007; Lavens et al., 1999) จากรายงานการวิจัย พบว่าระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ความต้องการสารอาหารจำเพาะก็มีความแตกต่างตามไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น แม่พันธุ์ปูทะเล มีความต้องการโปรตีนและกรดไขมันจำพวก docosahexaenoic acid (DHA) มากกว่าระยะอื่น ๆ เพื่อใช้ในการสร้างรังไข่และสะสมสารอาหารสำหรับลูกปู ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการรอด และการเจริญเติบโตของลูกปูที่จะฟักออกมา (Djunaidah et al., 2003; Suprayudi et al., 2004; Suprayudi et al., 2012) ในขณะที่การเลี้ยงปูนิ่ม ปริมาณโปรตีน ไขมันและฮอร์โมนที่ส่งเสริมและกระตุ้นการลอกคราบ มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อช่วยลดระยะเวลาเลี้ยงและลดต้นทุนในการผลิต (Catacutan, 2002; Tamsil and Hasnidar, 2017; Aaqillah-Amr et al., 2021; Hasnidar et al., 2021)

ในประเทศไทย ธุรกิจการเพาะเลี้ยงปูทะเลจัดว่ายังอยู่ในช่วงเริ่มต้น องค์ความรู้ โภชนาการหรือเทคนิคการเลี้ยงต่าง ๆ ยังไม่ครบถ้วนสมบูรณ์เหมือนกับสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดอื่น ทำให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปูทะเลมีทางเลือกในการจัดการฟาร์มที่จำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น เกษตรกรผู้เลี้ยงปูทะเลส่วนใหญ่ยังคงใช้อาหารสดจากธรรมชาติหลายชนิด เช่น ปลา หมึก หอย polycheate เป็นอาหารหลักในการเลี้ยงปูทะเล (Alava et al., 2007; Ali et al., 2011; Pattiasina et al., 2012) ซึ่งอาหารสดมีข้อเสียคือ ความแปรปรวนของคุณภาพและปริมาณในแต่ละช่วงเวลา ใช้แรงงานค่อนข้างมากในการเตรียม มีความยุ่งยากในการเก็บรักษา และที่สำคัญคือเศษอาหารตกค้างมีผลให้คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการให้อาหารสดซ้ำ ๆ ก็ทำให้ปูขาดสารอาหารได้ (Millamena and Quinitio, 2000)

ปัจจุบันอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับใช้เลี้ยงปูทะเลที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีอยู่อย่างจำกัดมาก ทั้งในแง่ของความหลากหลายของสูตรอาหารและขนาดที่เหมาะสมกับเพศและวัยของปูทะเล รวมถึงความต้องการที่แตกต่างของเกษตรกรผู้เลี้ยงปูทะเล เช่น ปูเนื้อ ปูไข่ และปูนิ่ม ซึ่งการเลี้ยงปูทะเลในแต่ละแบบต้องการสารอาหารที่แตกต่างกัน เกษตรกรผู้เลี้ยงจึงจำเป็นต้องมีการจัดการ นอกจากวิธีเลี้ยงที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องคำนึงถึงอาหารที่ปูในแต่ละประเภท เช่น ปูระยะชำ ต้องการอาหารที่ช่วยในการลอกคราบ ปูขุนเลี้ยงต้องการสารอาหารเพื่อสร้างมวลร่างกาย ในขณะแม่พันธ์/ปูไข่ จะต้องการอาหารที่มีโปรตีนและไขมันสูงเพื่อสร้างไข่ แต่อาหารปูทะเลที่มีขายในท้องตลาดเป็นอาหารมาตรฐานที่ส่วนใหญ่ใช้เลี้ยงปูขุน ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการพัฒนาต้นแบบกระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูปแบบแท่งโดยใช้อุปกรณ์ที่มีราคาถูก ใช้งานง่าย และมีขั้นตอนในการทำไม่ซับซ้อน ไม่ยุ่งยาก เกษตรกรรายย่อยสามารถดำเนินการได้และมีประสิทธิภาพ ที่สำคัญคือ มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนสูตรอาหารและขนาดของอาหารได้ สามารถปรับลดระดับการเสริมสารอาหารหรือสารกระตุ้นที่มีประโยชน์ ได้หลากหลายชนิดตามความต้องการ เพื่อนำไปเลี้ยงปูทะเลในแต่ละกลุ่มเป้าหมายได้อย่างเหมาะสม ในการทดลองนี้จะใช้ผงผักเคล ซึ่งเป็นพืชที่มีคุณค่าและสารอาหารสูงมาก คือ เคลในน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ประกอบไปด้วย โปรตีน 30 กรัม, คาร์โบไฮเดรต 90 กรัม, ไขมัน 7 กรัม, Vitamin A 3500 µg, Vitamin E 10.78 mg, Vitamin K 4,934 µg, กรดโฟลิค 988 mg, แคลเซียม 1050 mg, เหล็ก 10.6 mg, สังกะสี 3,92 mg, ฟอสฟอรัส 644 mg, โปแทสเซียม3438 mg เป็นวัตถุดิบตัวอย่างของสารเสริมที่ต้องการใส่ลงในสูตรอาหาร ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะตอบสนองต่อความต้องการของเกษตรกรที่เลี้ยงปูทะเลในหลากหลายรูปแบบการเลี้ยงและยังมีประโยชน์ต่อผู้สนใจทำงานทดลองวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในด้านโภชนาการของปูทะเล

วิธีการศึกษา

วัตถุดิบและอุปกรณ์

วัตถุดิบและปริมาณที่ใช้ประกอบอาหารเม็ดแสดงใน **Figure 1A** และ **Table 1** ตามลำดับ วัตถุดิบหลักได้แก่อาหารกุ้งเบอร์ 0 โดยมี อัลฟ่าสตาร์ชและวีทกลูเต็นทำหน้าที่เป็นสารเหนียวเพื่อการคงรูปของแท่งอาหารหลังผ่านเครื่องอัด นอกจากนี้ จะใช้เนื้อปลาสดบด ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นทั้งสารเหนียวและตัวดึงดูดให้ปูมีการยอมรับอาหารได้ดีขึ้น ในต้นแบบนี้จะใช้ผงเคล เป็นตัวแทนสารเสริมในสูตรอาหาร อาหารจะถูกขึ้นรูปใหม่โดยใช้เครื่องอัดแท่งอาหารขนาดเล็กแบบมือหมุน **(Figure 1B)** ซึ่งมีรูพิมพ์หลากหลายขนาด คือ 5, 8 และ 10 มม. ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกรูพิมพ์ตามขนาดของปูทะเลที่เลี้ยงได้

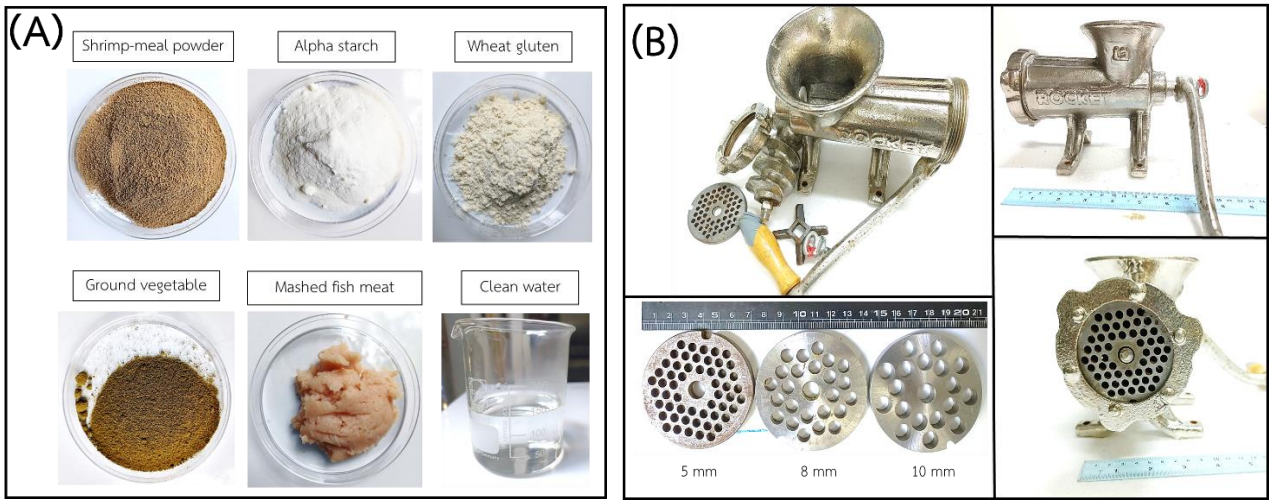

Figure 1 (A) ingredients for producing prototype pellets (B) small mincer used to reform the pellets.

Table 1 Ingredients to produce 1 kg of wet weight and related equipment

Ingredients	Gram	Baht/gram	Cost (Baht)
Shrimp meal powder (490 baht/10 kg)	425	0.049	20.825
wheat Gluten (120 Baht/kg)	75	0.12	9
[1] Mashed fish meat (85 baht/kg)	50	0.085	4.25
Alpha starch (80 Baht/kg)	25	0.08	2
[2] Kale powder (790 Baht/kg)	25	0.79	19.75
clean water (10 Baht/l)	400	0.01	4
Labor 20% per day			100
[3] Mincer		1,250 (one time investment)	
Total wet weight (85% is dried weight)	1,000		59.825
[4] Electricity 5%		Varied: electric mincer, or oven to dry	
[5] Absolute dried weight	**1,000**		**[6]70.38**

[1] Mixed ground Fish (https://www.facebook.com/useasideseafood/posts/1250333015169656/)

[2] Price varied, depending on different supplements

[3] Price varied depending on Capacity of the mincer

[4] depending on Type of Mincer or drying process. If handheld mincer and sundried are applied, no electric cost is included

[5] Pellets contains 15% moisture, therefore dried weight is 85% of the wet weight

[6] Ingredient cost (approximate price not included labor, mincer, and electricity)

กระบวนการขึ้นรูปแท่งอาหารด้วยเครื่องอัดแท่ง

นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ ได้แก่ อาหารลูกกุ้งผง วีทกลูเต็น อัลฟ่าสตาร์ช ผักอบแห้งบด มาผสมในกะละมัง โดยคนให้เข้ากันแล้วค่อย ๆ ฉีดน้ำสลับกับการคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำเนื้อปลาสดบดมาผสมและนวดให้เป็นเนื้อเดียวกันอย่างดี จากนั้นนำก้อนของส่วนผสมที่ได้ป้อนเข้าเครื่องอัดแท่งที่มีรูพิมพ์ขนาด 5 มม. อาหารที่ผ่านการอัดแท่งเรียบร้อยแล้วจะถูกตัดตามความยาวที่กำหนดในการทดลองนี้ จะใช้ความยาว 2.5-3 ซม. (ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดเม็ดและความยาวตามต้องการได้) และทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง **(Figure 2)**

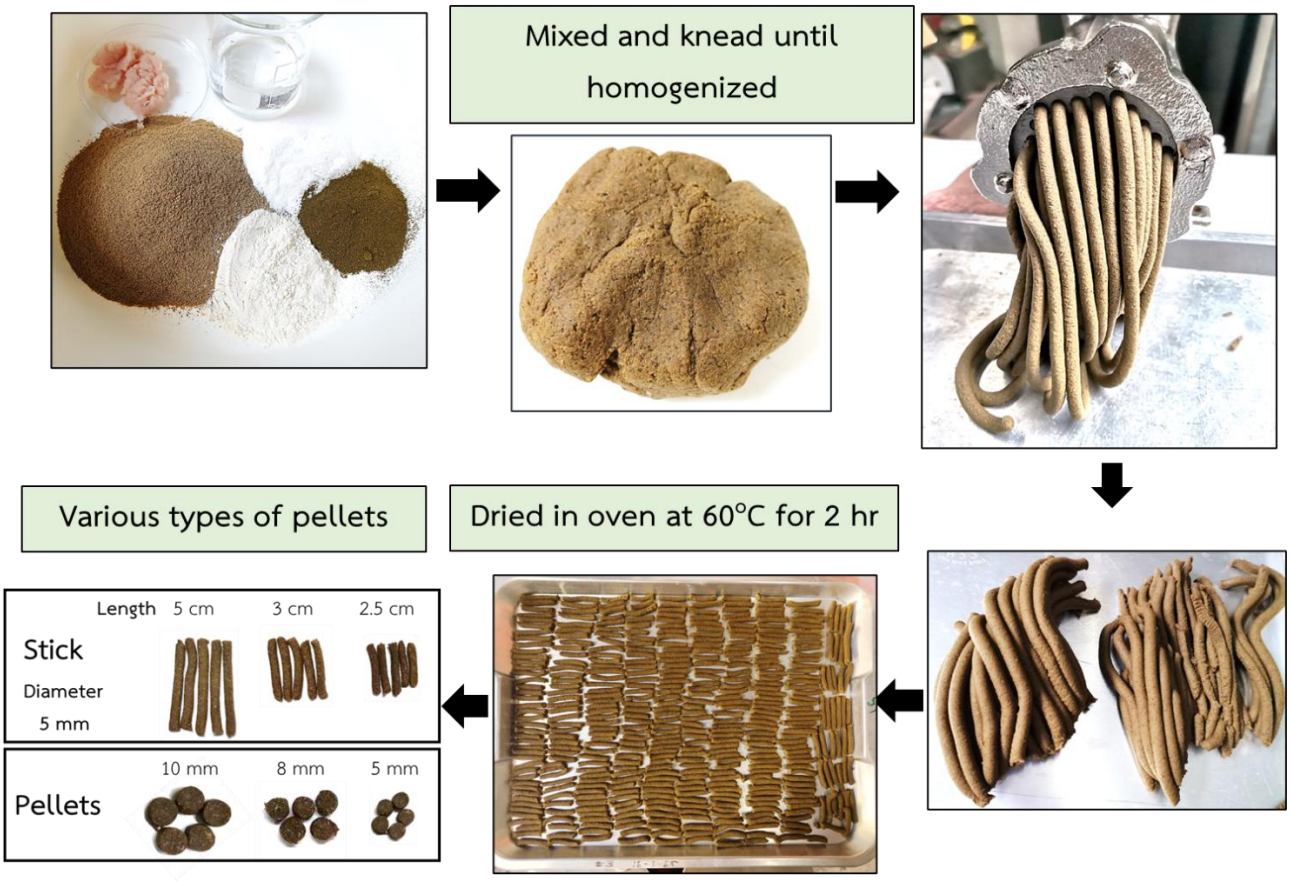

Figure 2 Schematic diagram describes processes to produce prototype pellets by small mincer

การทดสอบความคงตัวของอาหารในน้ำ

อาหารสำเร็จรูปต้นแบบที่ผลิตได้ (Prototype) และอาหารเม็ดจากท้องตลาด (Commercial A) จะถูกนำมาทดสอบความคงตัวของอาหารตามวิธีของ พิศมัย (2564) โดยการหาร้อยละการแตกตัวหรือสลายตัวของอาหารหลังจากแช่น้ำที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมงเทียบกับน้ำหนักอาหารเริ่มต้น ซึ่งมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

ร้อยละความคงทน = (น้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำหลังจากอบ/น้ำหนักตัวอย่างก่อนแช่น้ำหลังจากอบ)*100

การวิเคราะห์คุณค่าอาหารหลักด้วยวิธี Proximate analysis

การวิเคราะห์เพื่อหาส่วนประกอบสารอาหารหลักที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารโดยประมาณ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เถ้า และความชื้นในอาหารเม็ดต้นแบบเปรียบเทียบกับอาหารเม็ดจากท้องตลาด ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของ Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2000: https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/1564/2/279542_app.pdf) เพื่อหาปริมาณความชื้น, เถ้า, ไขมัน, ไฟเบอร์ และโปรตีน นำค่าที่ได้ทั้งหมดมารวมกันแล้วลบออกจากน้ำหนักแห้งรวมเริ่มต้น (100 กรัม) เพื่อหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต ดำเนินการโดย ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำชลบุรี กองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ กรมประมง

การทดสอบการยอมรับอาหารของปูทะเล

การทดสอบว่าปูทะเลมีการเข้าหาอาหารและกินอาหารที่ผลิตหรือไม่ (Behavioral and ingestion assay, Elsayed, 2016) ดำเนินการโดยนำปูทะเลระยะวัยรุ่นน้ำหนัก 50-60 กรัม ขนาดความยาวของกระดอง 50-70 เซนติเมตร มาเลี้ยงในบ่อปูนขนาด 0.8*1.0*1.0 เมตร ใส่ตาข่ายพลาสติกและท่อพีวีซีเพื่อทำหน้าที่เป็นที่หลบซ่อน เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 อาทิตย์เพื่อปรับตัว ปูจะถูกอดอาหารเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทำการทดลอง โดยจะทำการเลือกแบบสุ่มตลอด นำโหลแก้วสี่เหลี่ยม

ขนาด 11x11.5x16 ซม. ที่คลุมด้วยกระดาษทุกด้านยกเว้นด้านหน้า เติมน้ำทะเลจากบ่อเลี้ยง 5 ลิตร ทำการทดลองโดยใช้ปูจำนวน 30 ตัว สำหรับ 2 ชุดการทดลอง คือ อาหารท้องตลาด 15 ตัว และอาหารต้นแบบ 15 ตัว โดยแบ่งทำการทดลองรอบละ 3 ตัว/ชุดการทดลอง (ดังแสดงในภาพที่ 3) นำปูใส่โหลละ 1 ตัว รอจนปูปรับตัวในขวดโหลประมาณ 5 นาที แล้วนำอาหารเม็ดต้นแบบ (น้ำหนักแท่งละ 0.4 กรัม) จำนวน 3 แท่ง/โหล หรืออาหารเม็ดจากท้องตลาด (น้ำหนักเฉลี่ยเม็ดละ 1.2 กรัม) จำนวน 1 เม็ด/โหล ค่อย ๆ หย่อนลงไปในโหล **(Figure 3)** ในการทดลองจะบันทึกพฤติกรรมการกินอาหาร โดยจะทำการบันทึกเวลาที่ปูเริ่มเข้าหาอาหาร (Approaching time) เวลาที่ใช้ในการกิน โดยจะสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 30 นาที ทำการทดลองซ้ำ 5 รอบ นำระยะเวลาและจำนวนปูที่ใช้ในการเข้าหาอาหารมาคิดค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นเปอร์เซ็นต์การยอมรับ คือ การเข้าหา (Attractability) = จำนวนปูที่เข้าหาอาหาร*100/15

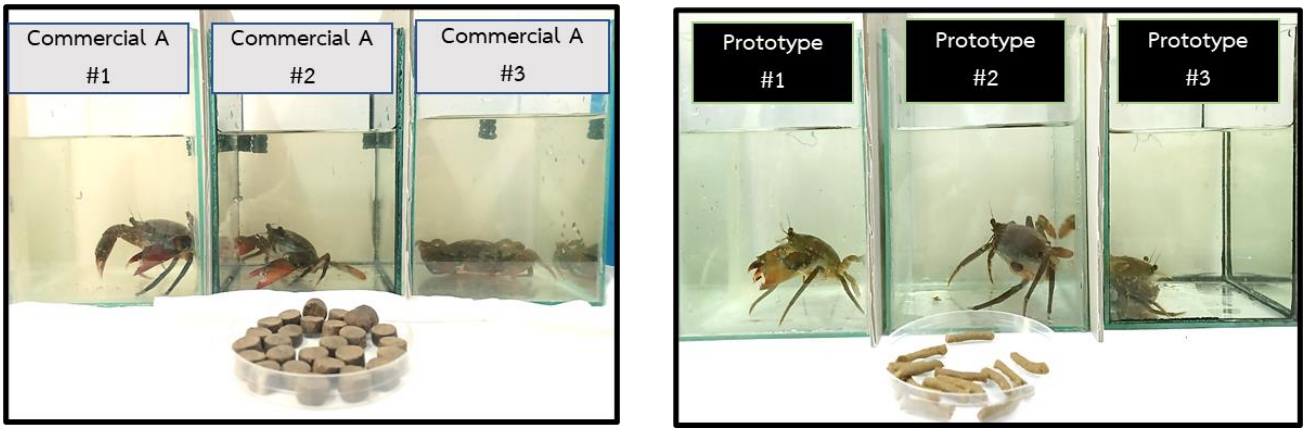

Figure 3 Behavioral and ingestion assay

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มคือ อาหารต้นแบบเปรียบเทียบกับอาหารเม็ดจากท้องตลาดจะใช้ t-Test: two sample assuming equal variance (SigmaPlot 14.5 program) โดยให้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอยู่ที่ $P<0.05$ แสดงด้วยเครื่องหมายดอกจัน หรือ a, b ในแต่ละแบบการทดสอบ

ผลการศึกษา

ค่าความคงตัวของอาหาร

ผลการวิเคราะห์ค่าความคงตัวของอาหารต้นแบบเปรียบเทียบกับอาหารเม็ดจากท้องตลาดแสดงใน **Figure 4** พบว่าค่าความคงตัวในชั่วโมงแรกของอาหารจากทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน (อาหารต้นแบบเท่ากับ 98.63±0.74% ส่วนอาหารเม็ดจากท้องตลาดเท่ากับ 100±0.00%) ในขณะที่ความคงตัวในชั่วโมงที่ 2 และ 3 ของอาหารจากอาหารต้นแบบอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดีกว่าอาหารเม็ดจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (อาหารต้นแบบชั่วโมงที่ 2 เท่ากับ 89.35±1.54%, และชั่วโมงที่ 3 เท่ากับ 78.17±0.41% ส่วนอาหารเม็ดจากท้องตลาดชั่วโมงที่ 2 เท่ากับ 80.49±2.74% และชั่วโมงที่ 3 เท่ากับ 73.06±2.22%) จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอาหารต้นแบบที่ผลิตได้สามารถคงตัวอยู่ในน้ำในชั่วโมงที่ 2 และ 3 ได้ดีกว่าอาหารเม็ดจากท้องตลาด

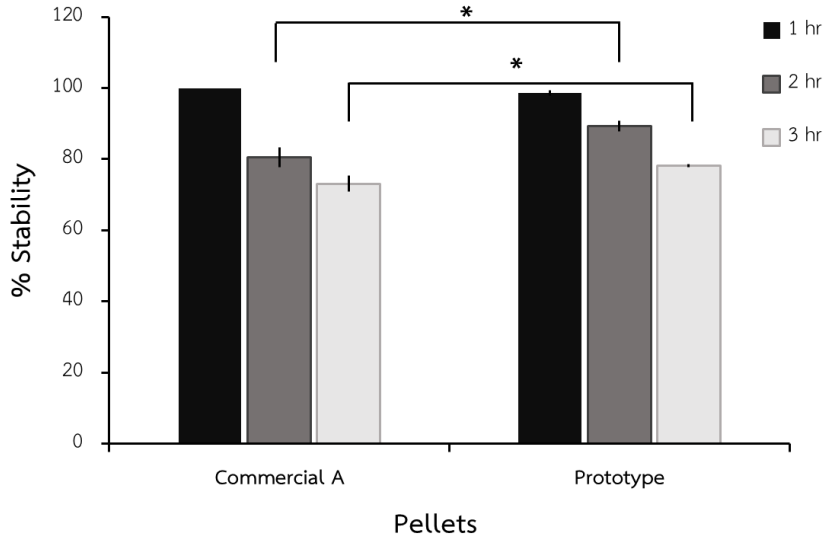

Figure 4 Comparison of stability test between commercial A and prototype pellets at 1, 2, and 3 hr. Statistical analysis performed by t-Test, significantly different denoted by asterisk.

ค่าสารอาหารหลักของอาหารต้นแบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าสารอาหารหลักในอาหารต้นแบบเปรียบเทียบกับอาหารเม็ดจากท้องตลาดแสดงใน **Table 2** จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและเถ้าของอาหารทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกัน ขณะที่ปริมาณไขมันและไฟเบอร์ในอาหารต้นแบบมีค่าต่ำกว่าอาหารท้องตลาด และอาหารต้นแบบมีปริมาณความชื้นที่สูงกว่าอาหารเม็ดจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

Table 2 Proximate analysis of commercial and prototype pellets

Pellet	Moisture (%)	Protein (%)	Carbohydrate (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Ash (%)
Commercial A	6.56 ± 0.04^{a}	39.63 ± 0.08	27.37	12.19 ± 0.24^{a}	2.82 ± 0.12	11.43 ± 0.04
Prototype	15.35 ± 0.26^{b}	40.08 ± 0.14	27.14	5.3 ± 0.04^{b}	1.17 ± 0.10	10.96 ± 0.11

การยอมรับอาหารของปูทะเล

ผลการทดสอบการยอมรับอาหารของปูทะเลจำนวน 15 ตัว เมื่อได้รับอาหารต้นแบบและอาหารเม็ดจากท้องตลาดแสดงใน **Table 3** จากพฤติกรรมการกินอาหารของปูทะเล พบว่าปูส่วนใหญ่ (75-85%) จะเข้าหาอาหารทันที ในขณะที่การกินอาหารอย่างต่อเนื่องของปูทะเลพบในอาหารต้นแบบมากกว่าอาหารท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ทั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดปริมาณอาหารที่ปูกินเข้าไป แต่ดำเนินการสังเกตการกินอาหารว่าปูกินอาหารหรือไม่

Table 3 Attractiveness of the commercial and prototype pellets

Feed	Number pellet fed	n	approaching time (min)	Feeding time (min)*	Number of crab finish its feed	Attractability[1] (%)
Commercial (1.2 g/pellet)	1	15	6.16±3.19	30.00[a]	0	9/15 (60.00%)
Prototype (0.4 g/pellet)	3	15	4.02±2.72	20.05±4.24[b]	6	13/15 (86.67%)

* After 30 min of experiment, if crab did not eat, feeding time was designated at 30 min

[a, b] statistical difference (P<0.05) t-test analysis: paired two sample for means

นอกจากนี้ยังพบว่าปูทะเลสามารถกินอาหารต้นแบบได้จนหมดในเวลา 14-17 นาที ในขณะที่อาหารเม็ดจากท้องตลาดถูกทิ้งเหลือไว้ เมื่อทำการเปรียบเทียบความดึงดูดของอาหารทั้งสองชนิด โดยหย่อนอาหารทั้งสองแบบพร้อมกัน พบว่าการเข้าหาอาหารของปูเป็นแบบสุ่มซึ่งปูจะทดลองแทะอาหารทั้งสองชนิด แต่ปูจะเลือกกินอาหารต้นแบบมากกว่า ดังแสดงใน **Figure 5C**

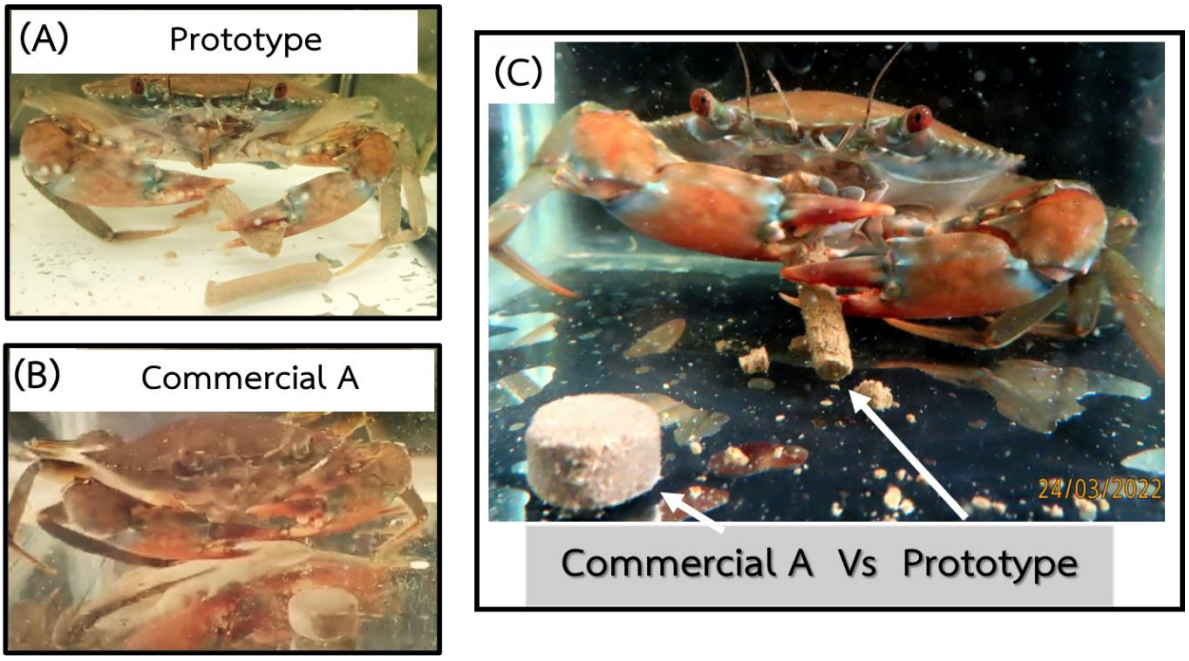

Figure 5 Behavioral and ingestion assay of mud crabs to feed pellets (A) Prototype pellets compared to Commercial A pellet (B) when both feeds were dropped simultaneously, crabs prefer to eat the prototype pellet(C).

วิจารณ์

การใช้อาหารสำเร็จรูปในสัตว์น้ำได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้อาหารธรรมชาติ ทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพ (Chung et al., 2011; Alava et al., 2007; Lavens et al., 1999) อาหารเม็ดสำหรับใช้ในการเลี้ยงปูทะเลที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบัน (พ.ศ. 2565) นั้นมีอยู่เพียงรายเดียวและมีอาหารเพียง 1 สูตรเท่านั้น ซึ่งไม่น่าจะเหมาะสมกับการเลี้ยงปูทะเลในทุกช่วงอายุและสภาพการเลี้ยงในทุกแบบได้ การทดลองในงานวิจัยนี้ใช้อาหารกุ้งทะเลเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารปูทะเลต้นแบบ เนื่องจากอาหารกุ้ง มีการพัฒนาโดยนักวิชาการและบริษัทขนาดใหญ่ มีการแข่งขันในแง่คุณภาพและราคาระหว่าง

บริษัทผู้ผลิตอย่างต่อเนื่อง ทำให้มั่นใจในคุณภาพและต้นทุนที่ไม่แพงจนเกินไปในการนำมาปรับปรุงเป็นอาหารปูทะเล โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงปูไม่จำเป็นต้องจัดหาวัตถุดิบย่อยหลาย ๆ ชนิด เช่น ปลาป่น กากถั่วเหลือง น้ำมันปลา ฯลฯ ที่กลไกตลาดถูกควบคุมด้วยบริษัทคู่ค้ารายใหญ่ หรืออาจต้องจัดซื้อในปริมาณที่สูงมาก และต้องจัดเก็บอย่างดีเพื่อรักษาคุณภาพ การผลิตอาหารตามวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ทำให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปูทะเล สามารถนำอาหารกุ้งที่มีคุณค่าทางอาหารสูงระดับหนึ่งแล้วมาขึ้นรูปใหม่ให้มีลักษณะรูปร่างอาหารให้เหมาะกับการกินของปูและสามารถเพิ่มหรือลดสัดส่วนโภชนาการบางอย่างให้เหมาะกับปูในแต่ละวัยได้ตามต้องการโดยใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถผลิตอาหารที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับการเลี้ยงปูทะเลด้วยต้นทุนที่เหมาะสม สามารถดำเนินการในเชิงพาณิชย์ได้อย่างยั่งยืน แนวทางดังกล่าวได้รับความสนใจและเริ่มมีการนำเสนอจากนักวิชาการ และรายงานถึงการปรับใช้สูตรอาหารกุ้งและปลาเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตอาหารสำเร็จรูปเพื่อใช้เลี้ยงปูทะเล (Millamena and Quinitio, 2000; Djunaidah et al., 2003)

คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปูทะเลสำเร็จรูปจากท้องตลาด (Commercial A) ที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ (โปรตีน 39.63%, คาร์โบไฮเดรท 27.37%, ไขมัน 12.19%, ไฟเบอร์ 2.82%, เถ้า 11.43%, และ ความชื้น 6.56%) ซึ่งโดยรวมมีค่าใกล้เคียงกับอาหารต้นแบบ (โปรตีน 40%, คาร์โบไฮเดรต 40%, ไขมัน 5.3 %, ไฟเบอร์ 3%, และ ความชื้น 12%) ยกเว้นปริมาณไขมัน ที่มีค่าต่ำกว่าค่าที่พบในอาหาร commercial อย่างไรก็ตามระดับของไขมันในอาหารต้นแบบนี้ก็ยังอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยที่เพียงพอต่อความต้องการของปูทะเล โดยอ้างอิงตามรายงานวิจัยระบุว่าระดับไขมันที่ปูทะเลต้องการคือ 5.3 -13.8 % ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยความแตกต่างขององค์ประกอบชนิดไขมันด้วย ส่วนระดับโปรตีนที่ปูทะเลต้องการขึ้นกับช่วงอายุของปู เช่น ปูวัยอ่อนต้องการอาหารที่มีโปรตีนสูงถึง 45% ในขณะที่ตัวเต็มวัยต้องการอยู่ในระดับ 35-40% (Sheen and Wu 1999; Catacutan, 2002; Unnikrishnan and Paulraj, 2010) จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นได้ว่าอาหารปูทะเลต้นแบบมีคุณค่าสารอาหารหลักไม่ด้อยไปกว่าอาหารจากสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดอีก ทั้งยังมีวิตามิน เกลือแร่ที่เสริมลงไปจากผงผักเคล แต่เมื่อคิดต้นทุนการผลิตอาหารต้นแบบเปรียบเทียบกับอาหารสำเร็จรูปจากท้องตลาดพบว่าอาหารต้นแบบมีต้นทุนต่อมื้อที่ถูกกว่าอาหารสำเร็จรูป **(Table 1 และ Table 4)**

โปรตีนและไขมันนับเป็นสารอาหารหลักที่มีความสำคัญในการผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับการเลี้ยงปูทะเล จากรายงานการวิจัยพบว่า คุณค่าสารอาหารหลักของอาหารสำเร็จรูปสำหรับปูทะเลโดยเฉลี่ย ควรมีค่าโปรตีนอยู่ที่ 32-40% และค่าไขมันอยู่ที่ 6-12% (Unnikrishnan and Paulraj, 2010; Sheen and Wu, 1999; Catacutan, 2002) ขณะที่อาหารสำหรับปูไข่หรือแม่พันธุ์ ระดับโปรตีนที่ต้องการเพิ่มขึ้นอย่างมาก ควรมีค่าโปรตีนในช่วง 43-58% (Azra and Ikhwanuddin, 2016) ส่วนระดับไขมันที่ต้องการยังคงเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่ชนิดของไขมันนั้นมีผลต่อพัฒนาการของปูทะเลในแต่ละช่วงชีวิตอย่างมาก (Suprayudi et al., 2002 ; Suprayudi et al., 2004; Genodepa et al., 2004; Holme et al., 2007) จะเห็นได้ว่าความต้องการสารอาหารของปูทะเลในแต่ละช่วงชีวิต แตกต่างกันทั้งปริมาณและชนิดของสารอาหาร ซึ่งเป็นสิ่งที่อุปทานทางด้านคุณภาพของอาหารสำเร็จรูปในท้องตลาด ณ ปัจจุบัน ยังไม่สามารถตอบโจทย์ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงปูทะเลได้ อย่างไรก็ตาม โดยแนวคิดของอาหารต้นแบบนี้ การปรับเพิ่มหรือลดวัตถุดิบในสูตรอาหาร เพื่อควบคุมคุณค่าทางโภชนาการ สามารถทำได้ทันทีที่ต้องการ

ในเรื่องความคงตัวของอาหารเมื่ออยู่ในน้ำ อาหารต้นแบบสามารถคงสภาพอยู่ในน้ำได้ดีกว่าอาหารสำเร็จรูปจากท้องตลาด โดยความแตกต่างสามารถเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 2-3 ชั่วโมง ที่แช่อยู่ในน้ำ สาเหตุที่อาหารต้นแบบสามารถคงตัวอยู่ในน้ำได้ดีกว่าอาหารเม็ดจากท้องตลาด เนื่องจากมีการเพิ่มสารเหนียวและเนื้อปลาสดซึ่งทำให้การแตกสลายของแท่งอาหารเกิดขึ้นช้าลง ทำให้ปูทะเลสามารถจับอาหารติดและกินได้นานขึ้น ช่วยลดการสูญเสียอาหาร ซึ่งจะช่วยลดของเสียอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงอีกทางหนึ่งด้วย จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการนำอาหารเม็ดสำเร็จรูปมาอัดขึ้นรูปสามารถทำได้โดยไม่เสียคุณสมบัติในเรื่องการคงตัว

โดยปกติอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีการเสริมคุณค่าทางอาหารหลายอย่างมักประสบปัญหาในการดึงดูดให้สัตว์เลี้ยงยอมรับอาหารได้ไม่เหมือนกับอาหารสดจากธรรมชาติ สำหรับปูทะเลซึ่งเป็นสัตว์นักล่า การยอมรับอาหารสำเร็จรูปจึงปรับตัวได้ยาก เช่นเดียวกับกุ้งทะเล หรือสัตว์น้ำที่กินเนื้ออีกหลายชนิด ดังนั้นการเสริมอาหารสดบางส่วน เช่น เนื้อปลาสด หอย และหมึก จึงเป็นแนวทางที่มีการเสนอเพื่อเพิ่มการยอมรับอาหารสำเร็จรูปของปูทะเล (Djunaidah et al., 2003; Alava et al., 2007) ผลการทดลองการดึงดูดและการยอมรับอาหารของปูทะเลในงานวิจัยนี้ พบว่าปูทะเลเข้าหาอาหารอย่างรวดเร็วและกินอาหารจนหมด ขณะที่การเข้าหาอาหารสำเร็จรูปจากท้องตลาดทำได้ช้ากว่าและกินอาหารไม่หมด แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า อาหารต้นแบบมีประสิทธิภาพสูงกว่าในการสร้างการ

ยอมรับอาหารของปูทะเล การเสริมผงผักเคลประมาณ 2.5% เป็นตัวอย่างการช่วยเสริมสารอาหารบางชนิดซึ่งปกติไม่ดึงดูดความสนใจของปู แต่ในงานวิจัยนี้สามารถทำให้ปูสนใจอาหารได้ดีกว่าอาหารเม็ดจากท้องตลาด ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมเนื้อปลาสดประมาณ 5% นอกจากจะรักษาระดับโปรตีนและไขมันให้อยู่ในระดับสูงแล้วยังช่วยดึงดูดปูทะเลให้ยอมรับอาหารได้ดีกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูป ซึ่งจุดนี้น่าจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อาหารต้นแบบสามารถเติมสารอาหารเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพและหลากหลาย โดยไม่ทำให้ความดึงดูดของอาหารต่อปูทะเลต้องเสียไป

Table 4 Overall feature of commercial and prototype pellets for using per meal

Pellets	weight (g/pellet)	pellets/kg	Baht/kg	cost (baht/pellet)	cost (baht/meal)
Commercial (499 baht/5 kg)	1.2	833	99.8	0.12	0.12
Prototype	0.4	2500	70.38*	0.03	0.08

* Price from Table 1

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนการผลิตอาหารสำเร็จรูปต้นแบบเพื่อใช้เลี้ยงปูทะเล โดยเน้นการใช้เครื่องมือขนาดเล็ก กลไกไม่ซับซ้อน และราคาไม่แพงเพื่อให้เกษตรกรรายย่อยสามารถจัดหาและนำไปใช้ได้โดยง่าย เนื่องจากใช้แรงงานคนในการเดินเครื่อง แม้เป็นแหล่งห่างไกลจากไฟฟ้าก็ยังสามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ ระบบต้นแบบนี้สามารถขยายกำลังผลิตได้ โดยเพิ่มมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ขนาดเล็กเสริมเข้าไปได้ไม่ยากนัก อย่างไรก็ตามประโยชน์ที่สำคัญของต้นแบบนี้คือ การผลิต อาหารสำเร็จรูปที่สามารถปรับเปลี่ยนสูตรอาหารได้โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงเองเพื่อให้เหมาะสมกับแนวทางของการเลี้ยงปูทะเลในแต่ละแบบ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถนำอาหารสำเร็จรูปของสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่น อาหารกุ้งที่มีการผลิตอยู่แล้วในตลาดและมีความหลากหลายทั้งชนิดและคุณภาพ มาเป็นวัตถุดิบหลักในการขึ้นรูปอาหารใหม่ให้มีขนาดและรูปร่างเหมาะสมกับการเลี้ยงปูทะเลในแต่ละวัยและขนาด นอกจากนี้เกษตรกรสามารถนำวัตถุดิบอื่นๆ ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่นมาเป็นส่วนผสมทดแทนได้ โดยยังคงคุณค่าอาหารที่สำคัญไว้ได้อย่างครบถ้วนและมีต้นทุนที่ต่ำกว่าอาหารปูทะเลสำเร็จรูปที่มีขายอยู่ในท้องตลาดด้วย นอกจากนี้ ประเด็นสำคัญคือแนวทางการผลิตอาหารในงานวิจัยนี้ สามารถเสริมสารอาหาร หรือวัตถุดิบที่สำคัญอื่น ๆ เช่น วิตามิน สารกระตุ้นการลอกคราบ สารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของปูทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีความยืดหยุ่นในการกำหนดความเข้มข้นของสารเสริมได้มากกว่าการคลุกกับอาหารเม็ดสำเร็จรูปซึ่งมีการสูญเสียอย่างมากในระหว่างการใช้และเก็บรักษา ดังนั้นต้นแบบกระบวนผลิตอาหารเม็ดอย่างง่ายสำหรับใช้เลี้ยงปูทะเลที่เสนอในงานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรรายย่อยในการเพาะเลี้ยงปูทะเลอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการนำเสนอแนวทางการผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงปูทะเลอย่างง่ายแต่มีประสิทธิภาพ เป็นต้นแบบให้เกษตรกรสามารถนำไปปรับใช้ได้อย่างหลากหลายและสามารถทำได้เองในครัวเรือนหรือธุรกิจขนาดเล็ก กล่าวคือ ชนิดของเครื่องอัดที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ต้องใช้ต่อวัน เช่น ฟาร์มขนาดใหญ่ ต้องการใช้อาหารมากกว่า 5 กิโลกรัมต่อวัน อาจจะเลือกใช้เครื่องอัดอัตโนมัติที่จะช่วยทุ่นแรงและเวลา อย่างไรก็ตาม ยังมีการศึกษาวิจัยในรายละเอียดทางวิชาการอีกมากที่จำเป็นต้องทำต่อเนื่องจากนี้ เพื่อความชัดเจนในการเพิ่มประสิทธิภาพและความเหมาะสมในแนวทางการผลิตอาหารปูทะเลอย่างยั่งยืนต่อไป

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รศ.ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล ที่เป็นผู้จุดประกายความคิด และกรุณาให้คำแนะนำและปรึกษา จนนำไปสู่การค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้ และทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ

ชลบุรี กองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ กรมประมง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินการทดสอบคุณภาพอาหารจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2563. สถิติฟาร์มเลี้ยงปูทะเล ประจำปี 2562 กลุ่มสถิติการประมง กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง เอกสารฉบับที่ 15/2563.

พิศมัย สมสืบ. 2564. ขนาดอาหาร ค่าความคงทน และการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราในอาหารกุ้งทะเล feed size, water stability of shrimp feed and analysis on Mycotoxin contamination. กองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Aaqillah-Amr, M.A., A. Hidir, M.N. Azra, A.R. Ahmad-Ideris, M.H. Abualreesh, M.N. Noordiyana, and M. Ikhwanuddin. 2021. Use of pelleted diets in commercially farmed decapods during Juvenile stages. A review. Animals (Basel). 11(6): 1761.

Alava, V.R., E.T. Quinitio, J.B. de-Pedro, F.M.P. Priolo, Z.G.A. Orosco, and M. Wille. 2007. Reproductive performance, lipids and fatty acids of mud crab *Scylla serrata* (Forsskal) fed dietary lipid levels. Aquaculture Research. 38: 1442–1451.

Ali, S.A., J.S. Dayal, and K. Ambasankar. 2011. Presentation and evaluation of formulated feed for mud crab *Scylla serrata.* Indian Journal of Fisheries. 58(2): 67-73.

Azra, M.N., and M. Ikhwanuddin. 2016. A review of maturation diets for mud crab genus *Scylla* broodstock: Present research, problems and future perspective. Saudi Journal of Biological Sciences. 23: 257-267.

Catacutan, M. 2002. Growth and body composition of juvenile mud crab, *Scylla serrata*, fed different dietary protein and lipid levels and protein to energy ratios. Aquaculture. 208: 113–123.

Chung, M.-Y., C.-H. Liu, Y.N. Chen, and W. Cheng. 2011. Enhancing the reproductive performance of tiger shrimp, *Penaeus monodon*, by incorporating sodium alginate in the broodstock and larval diets. Aquaculture. 312: 180–184.

Djunaidah, L.S., M. Wille, E.K. Kontara, and P. Sorgeloos. 2003. Reproductive performance and offspring quality in mud crab (*Scylla paramamosain*) broodstock fed different diets. Aquaculture International. 11: 3–15.

Elsayed, F. 2016. "Behavioral Studies of Chemoreception by the Pacific White Shrimp *Litopenaeus Vannamei*: Testing Attractability and Palatability of Proprietary Chemical Mixtures that Augment Feed Pellets Used in Shrimp Aquaculture." Thesis, Georgia State University. doi: 10.57709/8547637.

Genodepa, J., C. Zeng, and P.C. Southgate. 2004. Preliminary assessment of a microbound diet as an Artemia replacement for mud crab, *Scylla serrata*, megalopa. Aquaculture. 236: 497-509.

Hasnidar, H., A. Tamsil, and M.I. Wamnebo. 2021. The effects of the amaranth extract (*Amaranthus spp*.) on the molting of orange mud crab (*Scylla olivacea*). AACL Bioflux. 14(2): 1035-1045.

Haesman, M.P., D.R. Fielder, and R.K. Shepherd. 1985. Mating and spawning in the mud crab, *Scylla serrata* (Forskal) (Decapoda, Portunidae). Australian Journal of Marine and Freshwater Research. 36: 773–783.

Holme, M.H., P.C. Southgate, and C. Zeng. 2007. Assessment of dietary lecithin and cholesterol requirements of mud crab, *Scylla serrata*, megalopa using semi-purified microbound diets. Aquaculture Nutrition. 13: 413-423.

Koolkalya, S., T. Thapanand, S. Tunkijjanujij, V. Havanont, and T. Jutagate. 2006. Aspects in spawning biology and migration of the mud crab *Scylla olivacea* in the Andaman Sea, Thailand. Fisheries Management and Ecology. 13(6): 391–397.

Lavens, P., E. Lebegue, H. Jaunet, A. Brunel, P.H. Dhert, and P. Sorgeloos. 1999. Effect of dietary essential fatty acids and vitamins on egg quality in turbot broodstocks. Aquaculture International. 7: 225-240.

Millamena, O.M., and E. Quinitio. 2000. The effects of diets on reproductive performance of eyestalk ablated and intact mud crab *Scylla serrata*. Aquaculture 181: 81–92.

Pattiasina, B.J., E. Jamal, and A.Y. Pattinasarany. 2012. The effect of different feed on the spawning performance of mud crab *Scylla serrata* broodstock. Journal of Akuakultur Indonesia. 11: 153–161.

Robertson, W.D., and A. Kruger. 1994. Size at maturity, mating and spawning in the portunid crab *Scylla serrata* (Forskål) in Natal. South Africa Estuarine Coastal and Shelf Science. 39: 185–200.

Sheen, S.S., and S.W. Wu. 1999. The effects of dietary lipid levels on the growth response of juvenile mud crab *Scylla serrata.* Aquaculture. 175: 143-153.

Suprayudi, M.A., T. Takeuchi, and K. Hamasaki. 2002. The effect of n-3 HUFA content in rotifers on the development and survival of mud crab, *Scylla serrata*, larvae. Suisanzoshoku. 50(2): 205–212.

Suprayudi, M.A., T. Takeuchi, and K. Hamasaki. 2004. Effect Artemia enriched with EPA and DHA on the survival and the occurrence of molting failure to megalop of mud crab, *Scylla serrata* larvae. Fisheries Science. 70: 650-658.

Suprayudi, M.A., T. Takeuchi, and K. Hamasaki. 2012. Phospholipids effect on Survival and Molting Synchronicity of Larvae Mud Crab *Scylla serrata*. HAYATI Journal of Biosciences. 19(4): 163-168.

Tamsil, A., and H. Hasnidar. 2017. The Effect of molting hormone (20-hydroxyecdysone) on molting of mud crab (*Scylla olivacea* Herbst, 1976). Ecology Environment and Conservation. 24: 960-967.

Unnikrishnan, U., and R. Paulraj. 2010. Dietary protein requirement of giant mud crab *Scylla serrata* juveniles fed iso-energetic formulated diets having graded protein levels. Aquaculture Research. 41: 278–294.

Zhao, J., X. Wen, S. Li, D. Zhu, and Y. Li. 2016. Effects of different dietary lipid sources on tissue fatty acid composition, serum biochemical parameters and fatty acid synthase of juvenile mud crab *Scylla paramamosain* (Estampador 1949). Aquaculture Research. 47: 887–899.