Research Article
Journal of Vocational Education in Agriculture Vol. 9 ● No. 1 • January – June 2025

ผลของการเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในอาหารต่อการเจริญเติบโต ปริมาณเม็ดเลือดและสีของกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man 1879)

Effects of Supplementation of Fermented *Chara corallina* in Feed on Growth Performance, Haemocytes and Coloration of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man 1879)

วรรณิณี จันทร์แก้ว[1*] จันทร์สว่าง งามผ่องใส[2]
อรอุมา ทองส่งโสม[1] และ วัฒนา วัฒนกุล[3]
Wanninee Chankaew[1*], Chansawang Ngamphongsai[2],
Onuma Thongsongsom[1] and Wattana Wattanakul[3]

Received: 29 March 2024
Revised: 8 April 2025
Accepted: 21 May 2025

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในระดับแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหาร ปริมาณเม็ดเลือดรวมและสีหลังต้มสุกของกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man 1879) ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วยอาหารทดลอง 5 สูตรที่เสริมสาหร่ายหมักที่ระดับ 0 (ชุดควบคุม) 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร

[1]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช ประเทศไทย 80110
[1]Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, Thailand 80110
[2]ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี ประเทศไทย 12120
[2]National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani, Thailand 12120
[3]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตรัง ประเทศไทย 92150
[3]Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang, Thailand 92150
[*]ผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: wanninee.c@rmutsv.ac.th

บรรจุน้ำ 100 ลิตร ใช้กุ้งทดลองที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 0.69-0.73 กรัม จำนวน 15 ตัวต่อซ้ำ ให้อาหารวันละ 3 มื้อ โดยให้กุ้งกินอาหารจนอิ่ม ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักมีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน อัตรารอดตาย และปริมาณเม็ดเลือดรวมในตัวกุ้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดการทดลองและชุดควบคุม แต่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของกุ้งหลังต้มสุกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กุ้งที่ได้รับอาหารที่เสริมสาหร่ายหมักระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสีแดง ค่าสีเหลืองสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 5.64±3.42 และ 18.63±3.27 ตามลำดับ จากการศึกษานี้สรุปได้ว่าการเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในระดับ 5-20 เปอร์เซ็นต์ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และปริมาณเม็ดเลือดรวม แต่การเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในอาหาร 20 เปอร์เซ็นต์ช่วยเพิ่มค่าสีแดงและสีเหลืองของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุกได้

คำสำคัญ: การหมัก กุ้งก้ามกราม การเจริญเติบโต ความเข้มสี เม็ดเลือด

ABSTRACT

This study was conducted in order to evaluate effects of fermented *Chara corallina* (FCC) at different levels on growth performance, feed utilization, total haemocytes and color of the cooked prawn, Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man 1879). A completely randomized design (CRD) was employed to five experimental diets, with supplementing FCC at 0 (control), 5, 10, 15 and 20%. The experiment was conducted in plastic containers (200 L) filling with 100 L of water. The prawn initial weight was 0.69-0.73 g. The stocking density was 15 prawn per replication.The prawn were fed three times per day to apparent satiations. The experimental period was 12 weeks. The results showed that weight gain, average dialy weight gain, specific growth rate, feed conversion ratio, protein efficiency, survival rate and total haemocytes were not statistically significant among the treatments and control group ($p>0.05$), but the color of cooked prawn were significant differences ($p<0.05$). The highest of red hue (a*) and yellow hue (b*) were found in the prawn fed by diet of 20% FCC supplementation, which were 5.64±3.42 and 18.63±3.27, respectively.It could be concluded that, the supplementation of FCC in prawn diet at 5-20% had no significant effects on growth, survival and total haemocytes. However, by adding 20% of FCC could enhance the red and yellow coloration of the cooked prawn.

Keywords: Fermented; Giant Freshwater Prawn; Growth; Pigmentation; Haemocyst

บทนำ

กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* Deman, 1879) เป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย จัดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมบริโภคกันมากทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ การเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจัดเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากเนื้อกุ้งมีรสชาติดีและมีคุณค่า

ทางโภชนาการสูง อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามก็ยังประสบปัญหาด้านการเจริญเติบโต การเกิดโรคต่างๆ รวมทั้งอาหารเลี้ยงกุ้งก้ามกรามยังคงต้องมีวิจัยและพัฒนาต่อไป ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการทดลองการเสริมสารต่างๆลงไปในอาหาร เช่น การเพิ่มศักยภาพการผลิตกุ้งก้ามกรามในเขตภาคเหนือโดยใช้โปรไบโอติก [1] การใช้ *Schizochytrium* เป็นวัตถุดิบอาหารเพื่อปรับปรุงสีและการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามเพศผู้ล้วน [2] การใช้สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและสารเหนียว [3] การเสริมแอสตาแซนทินจากสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* ในการปรับปรุงคุณภาพสี [4] การใช้สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) และสาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) เป็นวัตถุดิบเสริมในอาหาร [5] นอกจากนี้มีการนำสาหร่ายเกลียวทอง (*Arthrospira*) และ สาหร่ายไก (*Cladophora*) เพื่อส่งเสริมสุขภาพปลาทอง [6]

อาหารสัตว์หมัก (silage) ที่ได้จากการหมักพืชซึ่งพืชถูกย่อยเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรตให้มีโมเลกุลเล็กลงและโปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน การหมักช่วยลดสารไนเตรทในพืชและการหมักพืชนั้นมีผลให้ปริมาณเถ้า เยื่อใย และสารต้านโภชนะลดลง [7] รายงานศึกษาการใช้สาหร่ายหมักเพื่อนำมาเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นมีไม่มากนัก ดังเช่น การใช้สาหร่ายทะเล (*Eckolnia maxima*) หมักเพื่อเลี้ยงปลา Red sea bream ซึ่งสามารถลดการติดเชื้อไวรัสได้ [8] การใช้สาหร่ายวากาเมะ (*Undaria pinnatifida*) ที่ผ่านการหมักด้วยแบคทีเรียสกุล *Lactobacillus* เพื่อเลี้ยงหอยมุก (*Pintada martensii*) [9] การเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยสาหร่ายไก (*Microspora*) หมัก [10] และการใช้สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva lactuca*) หมักเพื่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม [11]

สำหรับสาหร่ายก้ามกุ้งเป็นสาหร่ายกินได้ (edible algae) มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี มีโปรตีนสูง มีสารสีกลุ่มคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ค่อนข้างสูง [12] อย่างไรก็ตามการบริโภคสาหร่ายก้ามกุ้งจะบริโภคเฉพาะส่วนยอดอ่อนเท่านั้น ดังนั้นส่วนที่เหลือจากการบริโภครวมถึงแทลลัสที่ไม่นิยมบริโภค และประกอบกับผนังเซลล์ของสาหร่ายก้ามกุ้งเป็นสารเซลลูโลส การนำมาผ่านกระบวนการหมักก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบอาหารให้สัตว์น้ำที่กินเนื้อ (carnivore) จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ รวมทั้งเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสาหร่ายด้วย ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในอาหารสำเร็จรูปที่ระดับแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ปริมาณเม็ดเลือดรวม และสีของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

การศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในอาหารที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต ปริมาณเม็ดเลือดรวมและสีของกุ้งก้ามกราม ที่ระดับต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 0 (สูตรควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) มี 5 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ

2. การเตรียมสาหร่ายก้ามกุ้งหมัก

เก็บรวบรวมสาหร่ายก้ามกุ้ง (*Chara corallina*) จากจังหวัดกระบี่นำมาทำความสะอาด ผึ่งลมให้สาหร่ายแห้ง แล้วบดจนละเอียดและนำสาหร่ายไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เยื่อใย ความชื้น และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990) [13] และได้ผลการวิเคราะห์ดังในตารางที่ 1หลังจากนั้นนำสาหร่ายบางส่วนมาหมักด้วยการใช้น้ำหมักยีสต์ (Baker's yeast) ที่ประกอบด้วยยีสต์ชนิด *Saccharomyces cerevisae* โดยน้ำหมักยีสต์ประกอบด้วยกากน้ำตาลและปุ๋ยยูเรียตามวิธีการ

ของมณีและคณะ [14] หมักในระบบไร้อากาศ เป็นระยะเวลา 10 คืน หลังจากนั้นนำตัวอย่างสาหร่ายที่ผ่านการหมักไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้งสนิท แล้วบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เยื่อใย ความชื้น และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990) [13] โดยสาหร่ายก้ามกุ้งหมักที่ผลิตได้มีองค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายก้ามกุ้งก่อนหมักและหลังหมักด้วยน้ำหมักยีสต์

องค์ประกอบทางเคมี (g/100 gdw)	ก่อนหมัก	หลังหมัก
โปรตีน	19.4±0.02	55.92±0.05
ไขมัน	1.22±0.04	0.19±0.15
เยื่อใย	14.74±0.01	8.34±0.01
ความชื้น	13.1±0.04	14.1±0.02
เถ้า	24.69±0.80	12.62±0.05
คาร์โบไฮเดรต (NFE)	26.85±0.07	8.83±0.01

3. การเตรียมอาหารทดลอง

การเตรียมอาหารทดลองโดยนำสาหร่ายหมักที่บดละเอียดแล้วมาชั่ง แล้วผสมลงไปคลุกเคล้ากับอาหารลูกกุ้งสำเสร็จรูป จากนั้นเติมน้ำสะอาดประมาณร้อยละ 40-45 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำอาหารที่ผสมกันดีแล้วมาเข้าเครื่องอัดเม็ด (Hobart) ผ่านหน้าแว่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร แล้วนำอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จนแห้งสนิท นำอาหารที่ได้บรรจุในถุงโพลีเอทธีลีนและใส่ไว้ในถุงสีดำเพื่อป้องกันแสง เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างอาหารกุ้งไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เยื่อใย ความชื้น และเถ้า ตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (1990) [13] ได้ผลองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (กรัม ต่อ 100 กรัมอาหาร)

องค์ประกอบทางเคมี	ชุดการทดลอง				
	อาหารผสมสาหร่ายหมัก 0%	อาหารผสมสาหร่ายหมัก 5%	อาหารผสมสาหร่ายหมัก 10%	อาหารผสมสาหร่ายหมัก 15%	อาหารผสมสาหร่ายหมัก 20%
โปรตีน	44.18	45.24	45.95	47.30	52.64
ไขมัน	3.39	2.88	2.94	3.04	3.25
ความชื้น	9.15	8.84	8.53	8.15	8.16
เถ้า	12.19	12.34	12.88	12.71	12.21
เยื่อใย	1.26	1.63	1.71	2.01	2.14
คาร์โบไฮเดรต (NFE)	29.83	29.07	27.99	26.79	21.60

4. การเตรียมสัตว์ทดลองและหน่วยทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลอง นำลูกกุ้งก้ามกรามระยะวัยรุ่นอายุ 40-45 วัน จากฟาร์มเอกชนมาเลี้ยงในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ให้อากาศตลอดเวลาเพื่อปรับสภาพกุ้งทดลองให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมใหม่ โดยให้อาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเบอร์ 2 วันละ 3 ครั้ง เวลาประมาณ 07.00, 12.00 และ 18.00 น. ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เปลี่ยนถ่ายน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์และดูดตะกอนสัปดาห์ละครั้ง หลังจากกุ้งได้ปรับสภาพกับสภาพแวดล้อมใหม่แล้ว ทำการสุ่มลูกกุ้งและชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและคัดเลือกกุ้งก้ามกรามที่แข็งแรงและมีขนาดใกล้เคียงกัน ปล่อยลงบ่อทดลองในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร เติมน้ำปริมาตร 100 ลิตร จำนวน 15 ตัวต่อซ้ำ ให้อาหารวันละ 3 มื้อ ตลอดการทดลอง โดยให้กุ้งกินจนอิ่ม ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ บันทึกข้อมูลน้ำหนักอาหารเพื่อใช้ในการคำนวณข้อมูลต่อไป

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ตรวจวัดการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามโดยการสุ่มกุ้งก้ามกรามอย่างน้อย 40 เปอร์เซ็นต์ของกุ้งทั้งหมดในแต่ละซ้ำเพื่อชั่งน้ำหนักทุก 2 สัปดาห์ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งแล้วนำไปคำนวณโดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

(1) น้ำหนักเฉลี่ย (average weight; กรัมต่อตัว)

$$= \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนกุ้งทั้งหมด}}$$

(2) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain; กรัมต่อตัว)

= น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย – น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น

(3) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average dialy growth rate,ADG;กรัมต่อวัน)

$$= \frac{\text{(น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย – น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันทดลอง}}$$

(4) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate, SGR;เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$$= \frac{\text{(ln น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย – ln น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นx 100)}}{\text{จำนวนวันทดลอง}}$$

(5) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR)

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กุ้งกินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

(6) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein Efficency Ratio, PER)

$$= \frac{\text{น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่กุ้งกินเฉลี่ยต่อตัว(กรัม)}}$$

(7)อัตราการรอดตาย (survival rate;เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง(ตัว) x 100}}{\text{จำนวนกุ้งเมื่อเริ่มต้นการทดลอง(ตัว)}}$$

6. การวิเคราะห์ปริมาณเม็ดเลือดรวม

สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดจากกุ้งทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองชุดการทดลองละ 9 ตัว โดยใช้เข็มขนาด 20-25 G ยาว 1 นิ้ว ที่มีกระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 1 มิลลิลิตร เจาะเลือดจากบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 3 ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลายทริปแพนบลู (trypan blue) 0.15 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำเกลือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้เข้ากันในหลอดพลาสติก หลังจากนั้นนำไปนับเซลล์เม็ดเลือดทั้งหมดโดยใช้

haemacytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แล้วคำนวณปริมาณเม็ดเลือดทั้งหมด (total hemocytes count) เป็นเซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามวิธีการของกิจการและสิทธิ [15]

7. การวิเคราะห์สี

วิเคราะห์สีของกุ้งทดลองโดยสุ่มตัวอย่างกุ้งหลังการทดลอง จากทุกชุดการทดลอง ซ้ำละ 5 ตัว จำนวน 3 ซ้ำ นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที เพื่อวัดสีกุ้งทั้งเปลือกในระบบ CIE (L*a*b*) ด้วยเครื่องวัดสี Chromameter CR 400 วัดค่าสีเฉลี่ย 2 จุดในการวัด 1 ครั้ง โดยที่ L* เป็นผลการวัดค่าความสว่าง ค่า a* เป็นค่าของสีแดงและสีเขียว และ b* เป็นค่าของสีเหลืองและสีน้ำเงิน

8. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้านการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ปริมาณเม็ดเลือดและสีของกุ้งก้ามกรามที่คำนวณได้มาวิเคราะห์ทางสถิติใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองตามวิธีการของ Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

1.การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตรารอด

จากการทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกรามด้วยด้วยอาหารสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักที่ระดับ 0, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาทดลอง 12 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยของกุ้งทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งชุดควบคุม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งชุดควบคุม และกุ้งได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักทุกระดับ โดยกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 4.52±0.91 กรัมต่อตัว แต่น้ำหนักของกุ้งที่เพิ่มขึ้นทุกระดับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งชุดควบคุมสำหรับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักทุกระดับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งชุดควบคุมและกุ้งทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 0.061±0.02 กรัมต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 1.91±0.00เปอร์เซ็นต์ต่อวันแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆและกุ้งทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักทุกระดับมีค่าอัตราเจริญเติบโตจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของกุ้งก้ามกรามจากการเลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 90 วัน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย(g)	น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย(g)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (g)	อัตราเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (g/day)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/day)
1 (0 %)	0.73±0.02[a]	4.30±0.42[a]	3.58±0.40[a]	0.055±0.00[a]	1.81±0.08[a]
2 (5%)	0.69±0.03[a]	4.50±0.31[a]	3.81±0.26[a]	0.060±0.00[a]	1.91±0.00[a]
3 (10%)	0.70±0.05[a]	4.43±0.66[a]	3.70±0.68[a]	0.056±0.01[a]	1.84±0.18[a]
4 (15%)	0.71±0.06[a]	3.44±0.48[a]	2.68±0.50[a]	0.039±0.01[a]	1.54±0.17[a]
5 (20%)	0.72±0.13[a]	4.52±0.91[a]	3.80±0.99[a]	0.061±0.02[a]	1.87±0.35[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) โดยตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

อัตราการรอดของกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า กุ้งที่ได้รับอาหารทุกสูตรอาหารมีอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ประสิทธิภาพการใช้อาหารของกุ้งทดลอง พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักทุกระดับมีค่าอยู่ในช่วง 1.79-2.26 ซึ่งสูตรอาหารที่เสริมสาหร่ายหมักระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 1.79±0.35 แต่ทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักทุกระดับและชุดควบคุม ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งชุดการทดลองระดับที่ผสมสาหร่ายหมัก 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆมีค่าเท่ากับ 1.56±0.07 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 อัตรารอด อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งก้ามกรามจากการเลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 90 วัน

ชุดการทดลอง	อัตรารอด(%)	อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน
1 (0 %)	82.22±3.85[a]	1.89±0.05[a]	1.37±0.27[a]
2 (5%)	76.67±14.14[a]	1.88±0.55[a]	1.16±0.03[a]
3 (10%)	73.33±0.00[a]	2.16±0.32[a]	1.34±0.51[a]
4 (15%)	90.00±4.71[a]	2.26±0.59[a]	1.08±0.16[a]
5 (20%)	84.44±13.88[a]	1.79±0.35[a]	1.56±0.07[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) โดยตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ปริมาณเม็ดเลือดรวม และสีของกุ้งก้ามกราม

ปริมาณเม็ดเลือดรวม (total haemocytes) ของกุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักทุกระดับเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์มีค่าระหว่าง 0.97±0.15x10^7-1.19±0.20x10^7เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งกุ้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณเม็ดเลือดรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 5)

ค่าสีของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุกพบว่าสีของกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักทุกระดับมีค่าความสว่าง (L*) ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายหมักที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์มีค่าแตกต่างกับชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณเม็ดเลือดรวมและสีของกุ้งก้ามกรามจากการเลี้ยงด้วยอาหารทดลอง ผสมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักที่ระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 90 วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณเม็ดเลือดรวม (x10^7cell/ml)	สี		
		ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1 (0)	1.02±0.48^a	61.14±8.67^a	2.43±2.33^b	10.82±2.91^c
2(5%)	1.15±0.13^a	62.96±7.86^a	3.33±3.02^b	14.10±4.91^b
3(10%)	0.97±0.15^a	65.39±6.09^a	2.72±2.21^b	14.99±3.13^b
4(15%)	1.14±0.15^a	63.53±10.82^a	3.83±1.99^b	14.10±4.58^b
5(20%)	1.19±0.20^a	66.93±4.31^a	5.64±3.42^a	18.63±3.27^a

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ย ± SD (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) โดยตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของกุ้งก้ามกราม

ผลการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม ได้แก่ น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการเสริมสาหร่ายหมักที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์มีแนวโน้มที่ดีเมื่อพิจารณาจากค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อย่างไรก็ตามยังพบว่าระดับโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้นในอาหารทดลองสูตรที่ 2-5 ที่ได้ผสมสาหร่ายหมักลงไปนั้นไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง อาจเป็นเพราะว่าระดับโปรตีนในอาหารสำเร็จรูปที่เหมาะสมต่อความต้องการโปรตีนของกุ้งก้ามกรามมีค่าอยู่ในช่วง 40-43 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน (ADG) มีค่าปกติ ใกล้เคียงกับการทดลองเลี้ยงกุ้งก้ามกรามด้วยอาหารทดลองที่เสริมน้ำนึ่งปลาทดแทนโปรตีนที่ระดับต่างกัน โดยทำการเลี้ยงในกุ้งก้ามกรามในเวลาที่เท่ากัน และขนาดของกุ้งที่เลี้ยงใกล้เคียงกันของการทดลอง Wattanakul, et al. [16]

การเสริมสาหร่ายหมักที่ระดับสูงมีแนวโน้มว่าไม่มีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของกุ้งเนื่องจากมีปริมาณของเยื่อใยในอาหารทดลองที่ไม่ต่างกัน เพราะสาหร่ายได้ผ่านกระบวนการหมักมีผลให้สาหร่ายมีปริมาณเยื่อใยลดลงจาก 14.74 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เหลือ 8.34 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 1) ซึ่งตรงข้ามกับการใช้สาหร่ายผงที่ไม่ผ่านการหมัก มีผลทำให้สัตว์น้ำมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อใช้

สาหร่ายมากขึ้น เช่น การใช้สาหร่ายสไปรูลิน่าในการเลี้ยงปลาหมอครอสบรีด พบว่าการใช้สาหร่ายที่ระดับ 30, 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราแลกเนื้อเท่ากับ 2.55, 2.45 และ 1.67 ตามลำดับ [17] และการใช้สาหร่ายไฟ (*Chara zeylanica*) ในการเลี้ยงปลาซิวข้างขวานเล็ก (*Trigonostigma espei*) ซึ่งพบว่าเมื่อผสมสาหร่ายที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงกว่าการผสมสาหร่ายที่ระดับต่ำกว่า [18] นอกจากนี้การใช้สาหร่ายที่ไม่ผ่านการหมักอาจมีผลทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตลดลง เช่น การใช้สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva instestinalis*) ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระยะโพสลาวาในระดับ 12-24 เปอร์เซ็นต์ [19]

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งก้ามกรามในการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่เสริมน้ำนึ่งปลาในอาหารกุ้งก้ามกรามในระดับ 50-300 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม โดยเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 90 วัน [20] แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งก้ามกรามสูงกว่าการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในบ่อดินซึ่งเลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายไกสดที่ระดับ 10-30 เปอร์เซ็นต์ [21]

การเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในอาหารกุ้งก้ามกรามในการศึกษานี้พบว่าไม่มีผลกระทบต่อการรอดตายของกุ้ง และไม่แตกต่างกับชุดควบคุมซึ่งได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับการใช้สาหร่ายไก (*Microspora* sp.)หมักในอาหารปลากะพงขาว [10] และการใช้สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva lectuca*) หมักในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม [11]

อย่างไรก็ตามในการศึกษาต่อไปควรทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายก้ามกุ้งหมัก เช่น วิตามินบีหรือกรดโฟลิคเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลด้านความอยากกินอาหารของกุ้ง เนื่องจากมีแบคทีเรียบางชนิดในการหมักช่วยสร้างวิตามิน นอกจากนี้การหมักสาหร่ายด้วยน้ำหมักยีสต์ของการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ยูเรียซึ่งควรตรวจสอบปริมาณยูเรียที่อาจเหลืออยู่ในสาหร่ายหมัก (ในการทดลองนี้ได้ผ่านการอบแห้งแล้ว) ซึ่งยูเรียก็จะไปมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในสาหร่ายหมัก ทำให้เมื่อวิเคราะห์โปรตีนซึ่งเป็นการวัดค่าไนโตรเจนทั้งหมดอาจมีผลต่อค่าปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้

2. ปริมาณเม็ดเลือดรวมและสีของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุก

ปริมาณเม็ดเลือดรวมในกุ้งทดลองทุกระดับไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายก้ามกุ้งหมักนั้นไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณเม็ดเลือดรวมของกุ้งก้ามกราม ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเม็ดเลือดในระบบเลือดของกุ้งนั้นส่วนใหญ่มาจากการได้รับเชื้อโรคต่างๆ เช่น แบคทีเรียสกุล *Vibrio* ซึ่งพบในกุ้งขาวแวนนาไม [21] จึงชี้ได้ว่าสาหร่ายก้ามกุ้งหมักมีความปลอดภัยและไม่มีผลต่อจำนวนเม็ดเลือดของกุ้งก้ามกราม

ค่าสีของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุกพบว่า ค่าความสว่าง (L*) มีค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในกุ้งที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในระดับที่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ในกุ้งที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์นั้น มีค่าแตกต่างกับชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) มีแนวโน้มว่ากุ้งที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณสาหร่ายหมักเพิ่มขึ้นมีผลต่อสีของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุกมีค่าสีแดงและสีเหลืองมากกว่าชุดการทดลองที่มีสาหร่ายหมักในระดับที่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายก้ามกุ้งที่ยังไม่ผ่านการหมักมีค่าเท่ากับ 0.048±0.002 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง [12] เนื่องจากอาหารทดลองที่ผสมสาหร่ายหมักเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมในอาหารเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงมีผลให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองในตัวกุ้งก้ามกรามเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งความเข้มของสีที่ปรากฏของกุ้งนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้รับจากอาหาร และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปจะได้ผลิตภัณฑ์กุ้งต้มที่มีสีเหลืองส้ม การเสริมสารประกอบแคโรทีนอย์ลงในอาหารกุ้งจึงทำให้กุ้งมีสีส้มแดงมากขึ้น [23, 24] ซึ่งมีแนวโน้มว่าสาหร่ายก้ามกุ้งซึ่งมีรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่สำคัญ

ต่อความเข้มของสีกุ้ง ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน ลูทีน และแอสตาแซนทิน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่มีใช้สารแคโรทีนอยด์ลูทีนมีผลทำให้ความเข้มสีของกุ้งกุลาดำเพิ่มมากขึ้นตามระดับการเสริมในอาหาร [25] และการเสริมแอสตาแซนทินในกุ้งครุมะ (*Marsupenaeus japonicus*) มีผลให้กุ้งที่ได้รับการเสริมสารสีมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม [26] รวมทั้งยังสอดคล้องกับการเสริมแอสตาแซนทินจากสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* ที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กรัมส่งผลให้ระดับความเข้มสีแดงและสีเหลืองของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุกเพิ่มขึ้นสูงที่สุด และมีรายงานว่ากุ้งก้ามกรามสามารถนำแอสตาแซนทินไปใช้ประโยชน์ในการสะสมให้เกิดสีแดงส้มได้ [4] อย่างไรก็ตามในอาหารทางการค้าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีวัตถุดิบที่มีแคโรทีนอยด์ จึงมีผลให้กุ้งก้ามกรามในการทดลองมีสีที่ไม่แตกต่างกับการเสริมสาหร่ายหมัก ซึ่งผลของการศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวโน้มว่าการเพิ่มระดับสาหร่ายหมักที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้กุ้งก้ามกรามมีสีส้มเข้มที่สุด

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในอาหารกุ้งก้ามกรามไม่มีผลกระทบต่อการรอดตาย การเจริญเติบโต และปริมาณเม็ดเลือดรวม แต่การเสริมสาหร่ายก้ามกุ้งหมักในอาหารมีส่วนช่วยเพิ่มความเข้มสีของกุ้งก้ามกรามหลังต้มสุก กุ้งที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมสาหร่ายหมักที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ช่วยเพิ่มสีของกุ้งก้ามกรามได้ดีที่สุด

References

[1] Pisanu, W., et al. (2005). *Improverment of Giant Freshwater Prawn (Macrobrachium rosenbergii) Productivity in Northern Thailand Using Probiotic* (Research report). ChiangMai: Maejo University. (in Thai)

[2] Anousone, S., et al. (2015). Effects of *Schizochytrium* sp. on Growth Performance and Feed Conversion Ratio of Male Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43(1), 53-60. (in Thai)

[3] Habsoh, M., et al. (2010). Use of *Gracilaria fisheri* as Carbohydrate Source and Binder in the Diet for Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Thaksin University Journal*, 3(1), 31-39. (in Thai)

[4] Khakhanang, R., et al. (2019). Effect of *Haematococcus pluvialis* Supplement on Coloration of *Macrobrachium rosenbergii* After Cooking. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(SUPPL.1), 1299-1304. (in Thai)

[5] Kornrawee, A., et al. (2020). Utilizing seaweed as feed ingredient in Giant River Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) diet. In *The 58th Kasetsart University Annual Conference* (p. 424-431). 5-7 February, 2020, Bangkok, Thailand. (in Thai)

[6] Tutsuk, K., et al. (2011). Effects of *Spirulina platensis* and *Cladophora* sp. on Immunity Stimulating Capacity and Color Improvement of Goldfish (*Carassius auratus*). *KKU Research Journal*, 16(6), 612-62. (in Thai)

[7] Cruz, Y., et al. (2011). Fermentation Properties and Nutritional Quality of Selected Aquatic Macrophytes as Alternatiove Fish Feed in Rural Areas of the Neotropics. *Livestock Research for Rural Development*, 23(11), 239-246.

[8] Uchida, M. (2007). Preparation of Marine Silage and Its Potential for Industrial Use. In *The 34th U.S.-Japan Aquaculture Panel Symposium* (p. 51-56). 7-9 November, 2005,

California, U.S.A.

[9] Uchida, M. & Miyuoshi, T. (2010). Development of New Dietary Material from Unutilized Algal Resources Using Fermentation Skills. *Bulletin of Fisheries Research Agency*, 31, 25-29.

[10] Worawut, K. & Preeda, P. (2015). *Efficiency of Fermented Marine Silage from Green Algae (Microspora* sp*., Thuret) in Artificial Diet on Growth and Carcass Quality of Seabass (Lates calcarifer Bloch, 1970)* (Research report). Trang: Rajamangala University of Technology. (in Thai)

[11] Felix, N. & Brindo, R. A. (2014). Evaluation of Raw and Fermented Seaweed, *Ulva lactuca* as Feed Ingredient in Giant Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 1(3), 199-204.

[12] Wanninee, C., et al. (2020). *Organic Chara coralline Production and Improvement of Flesh Quality and Growth of African Sharp Tooth Catfish Fed on Food Containing Dried Chara corallina C.L. Willdenow* (Research report). Nakhon Si Thammarat: Rajamangala University of Technology. (in Thai)

[13] AOAC. (1990). *Official Method of Analysis.* 15th ed. Virginia: The Association of official Analysis Chemists.

[14] Manee, S., Patchanida, H. & Sofia, B. (2024). Effects of Replacing Fishmeal Protein with Fermented Copra Meal on Growth Performance, Feed Utilization, and Carcass Quality of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Khon Kaen Agriculture Journal*, 52(Suppl 1), 305-315. (in Thai)

[15] Supamataya, S. & Boonyaratpalin, S. (1995). A Study on Immunity and Guidelines for the Use of Vaccines to Prevent Bacterial and Viral Infections in Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) (Research report). Bangkok: National Research Council of Thailand. (in Thai)

[16] Wattana, W., et al. (2015). Optimal Protein Replacement of Fish Meal by Mackerel Condensate in Diet for Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture Research*, 48(2), 697-710.

[17] Arunee, R., et al. (2018). *The Effect of Spirulina platensis and Astaxanthin on Color and Growth of Crossbreed Cichlid (Cichlasoma sp.)* (Research report). Bangkok: Department of Fisheries. (in Thai)

[18] Jiraporn, W., et al. (2023). Effects of Stonewort, *Chara zeylanica* on Growth, Skin Pigmentation and Total Carotenoids of Lambchop Rasbora, *Trigonostigma espei* (Meinken, 1967). *Journal of Vocational Education in Agriculture*, 7(2), 25-38. (in Thai)

[19] Kleebthong, P., et al. (2022). Supplementing Green Alga, *Ulva intestinalis* Linnaeus in Food of *Litopenaeus vannami* Boone, 1931, Reduced Growth Performance and Red Color of Cooked Shrimp. *Journal of Fisheries and Environment*, 46(1), 95-105. (in Thai)

[20] Wattana, W., et al. (2013). Effects of Diet Supplemental Fish Steamed Water on Growth and Survival Rate of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). In *The 10th*

Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference (p. 3239-3246). 6-7 June, 2013, Nakhon Pathom, Thailand. (in Thai)

[21] Chatree, W., et al. (2016). Growth Rate, Survival Rate, Food Conversion Rate, Biomass and Edible Qualities of Giant Freshwater Prawn Fed Feed Mixed with Raw *Cladophora* (Research report). Phra Nakhon Si Ayutthaya: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)

[22] Bachere, E. Y., et al. (2004). Insights into the Anti-Microbial Defense of Marine Invertebrates: the Penaeid Shrimps and the Oyster *Crassostrea gigas*. *Immunological Reviews,* 198, 149-168.

[23] Supamattaya, K., et al. (2005). Effects of Carotenoid Sources on Growth Performance, Blood Parameters, Disease Resistance and Stress Tolerance in Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius). *Songklanakarin Journal of Science and Technol*ogy, 27(Suppl.1), 71-82. (in Thai)

[24] Latscha, T. (1989). The Role of astaxanthin in Shrimp Pigmentation. *Advances in Tropical Aquaculture*, 9, 319-325.

[25] Chalee, P., et al. (2016). Effect of Marigold Petal Supplementation in Commercial Diet on Pigmentation in Black Tiger Shrimp *Penaeus monodon*. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44(3), 461-468. (in Thai)

[26] Chien, Y. W. & Shiau, W. C. (2005). The Effects of Dietary Supplementation of Algae and Synthetic Astaxanthin on Body Astaxanthin, Survival, Growth and Low Dissolved Oxygen Stress Resistance of Kuruma prawn (*Marsupenaeus japonicus*) Bate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 318, 201-211.