ผลของอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเจริญเติบโตและสีเปลือกของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

Effect of *Ulva intestinalis* Linnaeus Supplemented Diet on Growth Performance and Shell Color of *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931

ภาวินีย์ กลีบทอง

Pawinee Kleebthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมง
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Fishery Science and Technology
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร

ผลของอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเจริญเติบโตและสีเปลือกของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

Effect of *Ulva intestinalis* Linnaeus Supplemented Diet on Growth Performance and Shell Color of *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931

ภาวินีย์ กลีบทอง

Pawinee Kleebthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมง
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Fishery Science and Technology
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเจริญเติบโตและสีเปลือกของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)
ชื่อผู้วิจัย นางสาวภาวินีย์ กลีบทอง
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย เหลืองธุวปราณีต)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพร เรืองช่วย)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ จีรภัทร์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย เหลืองธุวปราณีต)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพร เรืองช่วย)

.....กรรมการ
(ดร.นิรัติศัย เพชรสุภา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมง

.....

.

(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย เหลืองธุวปราณีต)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....
(นางสาวภาวินีย์ กลีบทอง)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวภาวินีย์ กลีบทอง)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเจริญเติบโตและสีเปลือกของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)
ชื่อผู้วิจัย นางสาวภาวินีย์ กลีบทอง
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมง
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

สาหร่ายทะเลได้รับความสนใจในการเสริมในอาหารเพื่อการเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการการเจริญเติบโตของกุ้งและช่วยเพิ่มสีของกุ้งที่ปรุงสุก จึงได้ทำการศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis)* ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งในอาหารเพื่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei)* โดยใช้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ40 และไขมันร้อยละ 10 เตรียมอาหารทดลองให้มีความแตกต่างกัน 6 ระดับ (ร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 และ 30) ของผงสาหร่ายไส้ไก่ โดยใช้กุ้งขาวในระยะโพสลาวา 30 (น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 0.12±0.01 กรัม) โดยให้อาหาร 6 มื้อต่อวัน เป็นการให้อาหารจนอิ่ม มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์และชั่งน้ำหนักทุก 2 สัปดาห์ หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นในสัปดาห์ที่ 12 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักสุดท้ายสูงที่สุด (12.27±0.84 กรัม) และความยาวสูงสุด (10.97±0.27 เซนติเมตร) และมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่กลุ่มอื่นในช่วงสัปดาห์ที่ 0-8 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าสูงในช่วงสัปดาห์ที่ 0-2 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 11.75±0.12 % day^{-1} และมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเลี้ยงกุ้งที่เพิ่มขึ้น อัตราการกินอาหารของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีค่ามากที่สุดตลอดการทดลอง เช่นเดียวกับค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งกลุ่มนี้มีค่าสูงที่สุดด้วย ในส่วนของประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีค่าสูงกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่กลุ่มอื่นในช่วงสัปดาห์ที่ 0-12 ในส่วนของอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2-4 และ 8-10 ของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีอัตราการรอดตายอยู่ที่ร้อยละ 80.79±10.33 และ 92.31±7.69 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในสัดส่วนอื่น การวิเคราะห์คุณภาพซากของกุ้งหลังเลี้ยงมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 65.68-69.70, ไขมันร้อยละ 2.81-3.20, เยื่อใยร้อยละ 6.53-6.80, ความชื้นร้อยละ 10.36-7.29 และเถ้าร้อยละ 12.87-10.89 แร่ธาตุบางชนิดในตัวกุ้งหลังเลี้ยงพบว่ามีธาตุแคลเซียมของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12-24 ซึ่งสูงกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่กลุ่มอื่น ขณะที่แร่ธาตุเหล็กลดลงเมื่อกุ้งได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่

มากกว่าร้อยละ 18 ในส่วนของความเข้มสีของกุ้งหลังจากเลี้ยงพบว่าค่าความแดง (a*) ($p<0.05$) ลดลงหลังต้ม ขณะที่ค่าความสว่าง (L*) และความเหลือง (b*) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติยกเว้นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 ค่าความเหลือง (b*) ของกุ้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าการเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis*) ในอาหารเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ในระยะโพสลาวา 30 ส่งผลให้กุ้งที่เลี้ยงมีการเจริญเติบโตที่ลดลงและค่าของสีในช่วงความแดงของกุ้งลดลงหลังจากปรุงสุก

Thesis Tittle Effect of *Ulva intestinalis* Linnaeus supplemented diet on Growth Performance and Shell Color of *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931

Author Miss Pawinee Kleebthong

Major Program Fishery Science and Technology

Academic Year 2021

ABSTRACT

Marine algae are interested in supplementation in diet for marine shrimp culture for the purpose that it may be benefit to the shrimp growth and may enhance the cooked shrimp color. The effects of gut weed, *Ulva intestinalis,* supplemented in the diet for rearing the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* was conducted to study in this research. The diets of 40% protein and 10% lipid were prepared with six different concentrations (0, 6, 12, 18, 24, and 30%) of gut weed, *Ulva intestinalis* powder. The experimental diets were given to post larvae-30 shrimp (mean initial body weight of 0.12±0.01 g). The experimental shrimp were fed six times a day to apparent satiation with water exchanging every week and weighting at every 2 weeks. After a 12-week cultivation period, the highest final body weight (12.27±0.84 g) and the highest final length (10.97±0.27 cm) was shown in the shrimp fed with 0% gut weed diet (control). During 0-8 weeks, the gained weight of the control group was higher than the shrimp fed with other diets supplemented with gut weed. During 0-2 weeks, the highest specific growth rate (11.75±0.12 % day^{-1}) was presented in the shrimp fed with 0% gut weed supplemented diet and decreased following shrimp culture increased period. Daily feed intake of the shrimp fed with 30% gut weed supplemented diet was the highest throughout the experiment, as well as the feed conversion rate was also the highest. The protein efficiency ratio of the shrimp fed with 0% gut weed supplemented diet was higher than those fed with other supplemented diets during 0-12 weeks. There was no statistical difference in the survival rate of all experimental groups, except at weeks 2-4 and 8-10. At week 2-4, the highest survival rate (80.79±10.33 %) was expressed in the shrimp fed with 6% gut weed supplemented diet, as well as it (92.31±7.69%) was presented in this group at week 8-10. This was higher than those shrimp fed with others.

After 12 weeks of shrimp rearing, the shrimp carcass quality was analyzed and the result was 65.68-69.70 % protein, 2.81-3.20 % fat, 6.53-6.80 % fiber, 10.36-7.29 % moisture, and 12.87-10.89 % ash. After rearing, some minerals such as calcium and iron were different in the experimental groups. The calcium content in the shrimp fed with 12-24% gut weed supplemented diet was higher than those fed with other gut weed supplemented diets, while the iron content was lower in the shrimp fed with over 18% gut weed supplemented diets. In the color intensity of cooked shrimp after rearing, the result was that the redness (a*) ($p<0.05$) in the shrimp fed with gut weed supplemented diets decreased after boiling, while there was no significantly differences in the brightness (L*) and the yellowness (b*), except the shrimp fed with 30% gut weed supplemented diet. However, there was significantly decreased in the yellowness (b*). This study concluded that the supplementation of gut weed, *Ulva intestinalis,* in the diet of post larva-30 Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) resulted in decreased growth and the redness of the cultured shrimp after cooked.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องผลของอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ต่อการเจริญเติบโตและสีเปลือกของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) จัดทำขึ้นจากความสนใจศึกษาอาหารกุ้งขาวที่มีการเสริมสาหร่ายไส้ไก่ ซึ่งเป็นสาหร่ายที่สามารถพบได้ในประเทศไทย เพื่อเผยแพร่ความรู้แก่ผู้สนใจ ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ที่คอยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ทั้งที่เอ่ยนามและไม่ได้เอ่ยนาม ล้วนมีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โชคชัย เหลืองธุวปราณีต และรองศาสตราจารย์ ดร. ระพีพร เรืองช่วย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำแนวทางในการดำเนินการในทุก ๆ เรื่อง ทั้งการปฏิบัติ ทดลอง และรูปแบบการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ จีรภัทร์ ประธานกรรมการสอบ และ ดร. นิรัติศัย เพชรสุภา กรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำชี้แนะนำทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของรูปแบบการเขียน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

1. ทุนสาขาความเป็นเลิศทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน (Discipline of Excellence (DoE)) in Sustainable Aquaculture มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัด สงขลา

2. ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอขอบคุณคณาจารย์ บุคลากร แผนกเทคโนโลยีการประมงทุกท่านที่ค่อยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว ที่เป็นแหล่งกำลังใจสำคัญให้มีความมุ่งมั่นตั้งใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จในที่สุด

ภาวินีย์ กลีบทอง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(13)
รายการประกอบภาพ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2. วัตถุประสงค์การวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1. กุ้งขาว	3
2.1.1 ชีววิทยาของกุ้งขาว	3
2.1.2 วงจรชีวิตและการสืบพันธุ์	4
2.1.3 การเพาะเลี้ยงกุ้งขาว	5
2.1.4 การกินอาหาร	5
2.1.5 ความต้องการสารอาหาร	5
2.1.6 สีของกุ้งต้ม	6
2.2. สาหร่ายไส้ไก่	7
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายไส้ไก่	7
2.2.2 วงจรชีวิต	8
2.2.3 การแพร่กระจาย	9
2.2.4. การเพาะสาหร่ายไส้ไก่	8
2.2.5 การเลี้ยงสาหร่ายไส้ไก่	10
2.2.6 คุณค่าทางโภชนาการ	11
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	14
3.1. วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ	14
3.1.1. สัตว์ทดลอง	14
3.1.2. อุปกรณ์และเครื่องมือ	14
3.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งขาว	14

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.1.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำอาหารทดลอง	14
3.1.2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและตัวกุ้ง	14
3.1.2.4 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของกุ้ง	15
3.1.2.5 อุปกรณ์สำหรับการวัดความเข้มสีของกุ้ง	16
3.2. การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง	16
3.3. การเตรียมสัตว์ทดลอง	16
3.4. การเตรียมสาหร่ายไส้ไก่	16
3.5. การเตรียมอาหารทดลอง	16
3.6. แผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล	19
3.7. การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	19
3.7.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะที่แสดงออกภายนอก	19
3.7.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	19
3.7.3 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของกุ้งขาว	20
3.7.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกุ้งขาว	21
3.7.5 การวัดความเข้มสี	21
3.7.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	21
บทที่ 4 ผลการศึกษา	22
4.1. แร่ธาตุบางชนิดและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายไส้ไก่	22
4.2. แร่ธาตุบางชนิดในอาหารทดลอง	23
4.3. การเจริญเติบโตของกุ้งขาว	25
4.3.1 น้ำหนักของกุ้งขาว	25
4.3.2 ความยาวของกุ้งขาว	26
4.4. อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาว	28
4.4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	28
4.4.2 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ	29
4.4.3 อัตราการกินอาหาร	30
4.4.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	33
4.4.5 อัตราการรอดตาย	34
4.4.6 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	37

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.5. แร่ธาตุบางชนิดในกุ้ง	37
4.6. การวิเคราะห์คุณซากของกุ้งขาว	39
4.7. ความเข้มสีของกุ้งต้ม	40
4.8. คุณภาพน้ำ	43
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการศึกษา	45
5.1. แร่ธาตุบางชนิดในอาหารทดลอง	45
5.2. การเจริญเติบโตและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*	46
5.3. แร่ธาตุบางชนิดในตัวของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*	48
5.4. คุณภาพซากของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*	48
5.5. ความเข้มสีของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*	49
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	50
6.1. สรุปผล	50
6.2. ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	61
ประวัติผู้เขียน	69

รายการตาราง

รายการตารางที่		หน้า
1	Ingredients and nutrient contents of the experimental diets	19
2	Composition of *Ulva intestinalis* using in the experimental diets	23
3	Mineral concentrations in experimental shrimp diets.	25
4	Weight (g) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis* within 12 weeks of the culture	28
5	Length (cm) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis* within 12 weeks of the culture	28
6	Weight gain (g) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*	30
7	Specific growth rate, SGR (%/day) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*	31
8	Daily feed intake, DFI (%) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*	34
9	Feed conversion ratio of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*	36
10	Survival rate (%) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*	38
11	Protein Efficiency Ratio of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*	39
12	The whole shrimp body and muscle composition of Pacific white shrimp with different percentages of *Ulva intestinalis*	42
13	Color measurements of cooked shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed with different percentages of *Ulva intestinalis*	44

รายการตาราง (ต่อ)

รายการตารางที่		หน้า
14	Water quality of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis* within 12 weeks of the culture	46

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของกุ้ง	4
2	Mineral content in whole shrimp *Litopenaeus vannamei* fed diets with different percentages of *Ulva intestinalis.* Different letters above bars indicate significant (P < 0.05) difference between treatments. Error bars represent SE.	41
3	Color of cooked shrimp *Litopenaeus vannamei* fed diets with different percentages of *Ulva intestinalis*: (a) 0%; (b) 6%; (c) 12%; (d) 18%; (e) 24%; (f) 30%	43

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งทะเลเขตร้อนที่มีถิ่นกำเนิดบริเวณชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกตั้งแต่ตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกไปจนถึงตอนเหนือของประเทศเปรู (Sookying, 2010) กุ้งชนิดนี้ลำตัวและขาสีขาว หางและหนวดสีแดง (ประจวบ, 2543) ด้วยแหล่งกำเนิดและลักษณะภายนอกดังกล่าวทำให้มีการตั้งชื่อสามัญของกุ้งชนิดนี้ว่า Pacific white shrimp หรืออาจเรียกว่า White leg shrimp ซึ่งเป็นชื่อที่ยอมรับโดย FAO (วิทยา, 2549) นอกจากนี้กุ้งขาวแวนนาไมมีข้อดีหลายประการ เช่น เจริญเติบโตเร็ว เลี้ยงได้หนาแน่น ต้องการโปรตีนจากอาหารต่ำ ทนต่อโรค ความเค็มและอุณหภูมิต่ำได้ดี รวมทั้งสามารถสมบูรณ์พันธุ์ได้ในบ่อดินและตอบสนองต่อการปรับปรุงพันธุ์ได้ดี (Funge-Smith *et al.,* 2003) แต่ในปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ได้รับผลกระทบอย่างหนักทั้งปัญหาที่เกี่ยวกับโรค ราคาที่ตกลง เนื่องจากมีการแข่งขันสูง ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นซึ่งมีปัจจัยมาจากต้นทุนอาหารเป็นหลัก ซึ่งในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม มีค่าอาหารในการเลี้ยงคิดเป็นร้อยละ 40-50 ของต้นทุนผลิตทั้งหมด (ชลอและคณะ, 2552) การควบคุมต้นทุนในการผลิตให้อยู่ในระดับที่ต่ำได้นั้นคือการควบคุมค่าอาหาร ซึ่งในการเลี้ยงที่ดี อัตราการแลกเนื้อหรือ feed conversion ratio (FCR) จะต้องมีค่าต่ำ ในขณะที่การให้อาหารที่มากเกินความพอดีนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าอาหารมากขึ้นแล้ว คุณสมบัติของน้ำจะเสื่อมลง จนถึงระดับที่กุ้งเจริญเติบโตช้า อ่อนแอและป่วยเป็นโรคได้ง่าย (Hajek and Boyd, 1994) นอกจากนี้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่นำมาใช้ทดแทนปลาป่นมีแนวโน้มปรับราคาสูงขึ้นเช่นกัน การวิจัยและพัฒนาเพื่อหาวัตถุดิบอาหารจากแหล่งใหม่สำหรับผลิตอาหารกุ้งจึงมีความสำคัญ ทั้งนี้แหล่งโปรตีนหลักในการผลิตอาหารกุ้งโดยมากนำมาจากสัตว์ทะเล เช่น ปลาป่น กุ้งป่น หมึกป่น (Tacon and Barg, 1998) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าโปรตีนที่มาจากสัตว์และพืชบก เนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็น กรดไขมันจำเป็น วิตามิน และแร่ธาตุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นความอยากกินอาหาร (Davis and Arnold, 2000) สาหร่ายไส้ไก่เป็นสาหร่ายสีเขียวอยู่ใน Family Ulvaceae มีการเจริญเติบโตในบริเวณแนวหิน หรือชายหาดในบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลง สามารถขึ้นได้บนแหล่งที่อยู่ลักษณะต่างๆ เช่น บนก้อนหิน แนวโขดหิน เปลือกหอย พื้นทราย พื้นโคลนหรือโคลนปนทราย ทั้งในน้ำกร่อย ในแอ่งน้ำบริเวณแนวดินโคลนปากแม่น้ำ สาหร่ายจะเริ่มเจริญเติบโตในช่วงปลายฤดูหนาวและเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนมักพบการแพร่กระจายจนเต็มพื้นที่ สามารถพบได้ทั้งในเขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาว ทนต่อความเค็มได้ในช่วงกว้างจึงพบการแพร่กระจายได้ในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทั่วโลก (ทิพวรรณ, 2552) ในสาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณของโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 9-14 ไขมันอยู่ที่ร้อยละ 2-3.6 และเถ้าร้อยละ 32-36 ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในรูปแบบที่ใช้ประโยชน์ได้ถึงร้อยละ 98 มีกรดไขมันที่

จำเป็น (EPA และ DHA) ในปริมาณสูง แต่มีสารต้านโภชนาการในปริมาณที่ต่ำ มีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำในปริมาณที่สูง (Aguilera-Morales *et al.,* 2005) และยังมีสาร Chlorophyll a ร้อยละ 15.60-30.90 Chlorophyll b ร้อยละ 12.20-14.89 และ β-carotene ร้อยละ 11.44-29.70 สารสกัดของสาหร่ายยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรีย (El-Baky *et al.,* 2008) ในผนังเซลล์ของสาหร่าย *Ulva* sp. มีซัลเฟตโพลีแซคคาไรด์ (sulfated polysaccharides) หรือเรียกอีกชื่อว่า Ulvan ซึ่งมีความสำคัญในด้านชีวเคมีและการแพทย์ (Zhang *et al.,* 2010; Souza *et al.,* 2012) เช่นการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน สารต้านการแข็งตัวของเลือด สารต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง แก้แพ้และป้องกันการอักเสบ (Liu *et al.,* 2012; Ngo and Kim 2013; Shao *et al.,* 2013) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายไส้ไก่ในการเสริมในอาหารเลี้ยงกุ้งขาวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ต่อการเจริญเติบโต คุณภาพซาก อัตราการรอด และสีเปลือกหลังต้มของกุ้งขาว

1.2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งขาวหลังได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับที่แตกต่างกัน

2) เพื่อศึกษาอัตราการรอดตายของกุ้งขาวหลังได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับที่แตกต่างกัน

3) เพื่อศึกษาคุณภาพซากของกุ้งขาวหลังได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับที่แตกต่างกัน

4) เพื่อศึกษาแร่ธาตุบางชนิดในอาหารทดลองและกุ้งหลังได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับที่แตกต่างกัน

5) เพื่อศึกษาสีเปลือกของกุ้งขาวหลังได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับที่แตกต่างกัน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. กุ้งขาว

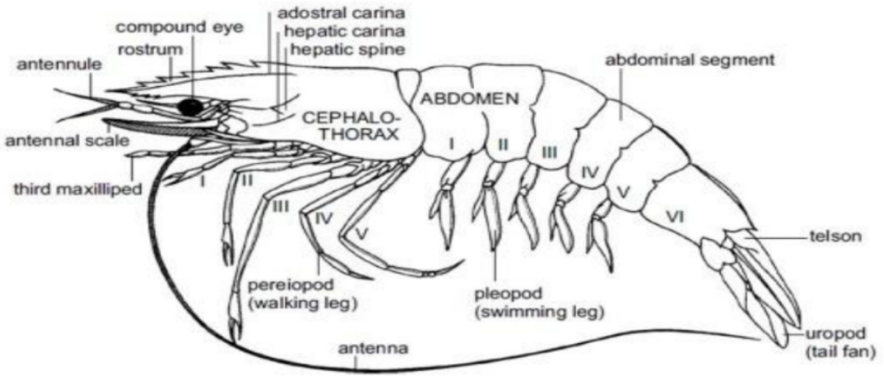
2.1.1 ชีววิทยาของกุ้งขาว

กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) เป็นสัตว์ที่ถูกจัดให้อยู่ในครอบครัวพีเนียไอดี (Penaeidae) เนื่องจากส่วนของกรี (rostrum) ด้านบนจะมีฟัน 8-9 ซี่ และด้านล่างมี 1-2 ซี่ และถูกจัดให้อยู่ในสกุลย่อยลิโทพีเนียส (subgenus *Litopenaeus*) เนื่องจากตัวเมียจะมีอวัยวะสืบพันธุ์ (thelycum) เป็นแบบเปิด ไม่มีแผ่นกั้นและถุงเก็บน้ำเชื้อ (seminal receptacle) มีการจัดลำดับทางอนุกรมวิธานของกุ้งขาว (Pere-Farfante and Kensley, 1997)

Phylum Arthropoda
Class Crustacea
Subclass Malacostraca
Suborder Natantia
Family Penaeidae
Genus *Litopenaeus*
Species *Litopenaeus vannamei*

ลักษณะทั่วไปของกุ้งขาว จะมีลำตัวสีขาว โปร่งแสง (translucent white) ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ หรืออาจจะมีสีฟ้าซึ่งเกิดจากเม็ดสีที่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นโดยเฉพาะบริเวณโคนหาง กุ้งชนิดนี้เป็นกุ้งที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับกุ้งทะเลชนิดอื่นๆ แต่ขนาดเล็กกว่ากุ้งกุลาดำ เมื่อโตเต็มวัยจะมีความยาวประมาณ 9 นิ้ว โดยลำตัวของกุ้งจะมีทั้งหมด 8 ปล้อง เปลือกบาง ส่วนของหัวและอก (cephalothorax) มีขนาดใหญ่ ส่วนปลายของหัวจะมีกรีสีน้ำตาลแดงยาวประมาณ 0.8 เท่าของความยาวของส่วนหัวและอก กรีจะมีส่วนปลายแคบ ด้านบนมีฟัน 8 ซี่ ด้านล่างมี 2 ซี่ มีหนวด 2 คู่ คู่สั้น (antennules) จะสั้นกว่าส่วนของ carapace มาก ส่วนหนวดคู่ยาว (antenna) มีสีแดง ปลายหางจะมีสีแดงเข้ม (Perez-Farfante and Kensley, 1997) กุ้งขาวจะชอบอาศัยอยู่บริเวณพื้นน้ำที่มีลักษณะเป็นโคลน (muddy bottom) ในเขตชายฝั่งไปจนถึงบริเวณที่มีความลึกประมาณ 72 เมตร ในธรรมชาติกุ้งขาวจะมีอายุขัยประมาณ 3 ปี (Dore and Frimodt, 1987)

กุ้งขาวเป็นสายพันธุ์กุ้งทะเลที่มีการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก กัวเตมาลา นิคารากัว คอสตาริกา ปานามา โคลัมเบีย เอกวาดอร์ และเปรู กุ้งสายพันธุ์นี้มีความแข็งแรงและทนทานจึงมีการขยายพันธุ์ตามธรรมชาติได้กว้างไกล ในแถบแนวชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ตั้งแต่เม็กซิโกถึงเปรู เนื่องจากภูมิภาคในแถบนี้ที่ระดับความลึกจากเส้นแนวชายฝั่งลงไปประมาณ 72 เมตรหรือ 235 ฟุต มีพื้นที่ท้องทะเลเป็นเหมือนโคลนที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต และเป็นแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ประเทศเอกวาดอร์เป็นประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ที่มีฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้ง ลูกกุ้ง และพ่อแม่พันธุ์ (ภิญโญ, 2545)



ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของกุ้ง
ที่มา: Jyothi (2013)

2.1.2 วงจรชีวิตและการสืบพันธุ์

กุ้งขาวเพศเมียที่พร้อมจะสืบพันธุ์จะมีการเจริญของรังไข่ สามารถเห็นได้ชัดเจนผ่านแผ่นปิดส่วนหัวและอก (carapace) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ช่วงแรกของการเจริญรังไข่จะมีสีขาว และค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ในแม่กุ้งที่มีรังไข่พร้อมจะวางไข่จะสังเกตเห็นรังไข่มีสีเขียวเกือบดำอยู่บริเวณหลังไปจรดหาง และบริเวณด้านข้างของลำตัวตรงปล้อง 1-2 ส่วนกุ้งขาวเพศผู้จะมีการสร้างสเปิร์มบรรจุอยู่ในถุงเก็บน้ำเชื้อ (spermatophore) กุ้งขาวมีพฤติกรรมการเกี้ยวพาราสีก่อนการผสมพันธุ์ และมักจะผสมพันธุ์กันในช่วงบ่ายหรือเวลากลางคืนขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง ในสภาพธรรมชาติกุ้งจะวางไข่ที่ระดับความลึกประมาณ 30-60 เมตร ปริมาณไข่จะขึ้นอยู่กับขนาดของแม่พันธุ์ แม่กุ้งขนาด 30-45 กรัม วางไข่ครั้งละประมาณ 100,000 ถึง 250,000 ฟอง ไข่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.22 มิลลิเมตร ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิแล้วมีการแบ่งเซลล์และพัฒนาไปเป็นตัว

อ่อนระยะนอเพลียส (nauplius) ภายในเวลา 14 ชั่วโมง ตัวอ่อนของกุ้งขาวจะแบ่งออกเป็นระยะต่างๆ คือ ระยะนอเพลียส 6 ระยะ ระยะซูเอีย (zoea) 3 ระยะ ระยะไมซีส (mysis) 3 ระยะ และระยะโพสต์ลาร์วา (post larvae) ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.88-3 มิลลิเมตร (Munoz *et al.,* 2003)

2.1.3 การเพาะเลี้ยงกุ้งขาว

เนื่องจากกุ้งขาวสามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ในช่วงกว้าง เช่น สามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งในน้ำที่มีระดับความเค็มที่ 5-35 ส่วนในพันส่วน และระดับความเค็มต่ำ 0-5 ส่วนในพันส่วน แต่ระดับความเค็มที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีคือ 10-22 ส่วนในพันส่วน และอุณหภูมิที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีอยู่ในช่วง 26-29 องศาเซลเซียส ระดับออกซิเจนที่ละลายน้ำควรมีค่า 4-9 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรดด่างควรอยู่ระหว่าง 7.2-8.6 กุ้งชนิดนี้ชอบน้ำค่อนข้างกระด้างเฉลี่ย 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำที่มีค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร จากข้อมูลดังกล่าวจึงพบว่าสามารถทำการเพาะเลี้ยงโดยใช้ระบบการเลี้ยงได้ทั้งในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งหรือบริเวณพื้นที่ที่มีความเค็มต่ำ โดยใช้ระบบการเลี้ยงแบบธรรมชาติ ระบบการเลี้ยงกึ่งหนาแน่น และการเลี้ยงแบบหนาแน่น การเลี้ยงในระบบธรรมชาติและระบบกึ่งหนาแน่น มีการเลี้ยงในบ่อดินขนาดใหญ่ 6-18 ไร่ อัตราการปล่อย 28,000-50,000 ตัวต่อไร่ ให้อาหารร้อยละ 25 ในระยะเริ่มปล่อย และลดปริมาณลงเหลือร้อยละ 2-4 ในระยะก่อนจับ

2.1.4 การกินอาหาร

กุ้งขาวชอบกินอาหารประเภทกึ่งจมกึ่งลอยทั้งพืชและสัตว์ แต่จะมีนิสัยการกินสัตว์เป็นอาหาร อาหารในช่วงแรกเป็นสัตว์ขนาดเล็กเช่น พวกหอย ครัสเตเซีย และเพรียง ที่อาศัยอยู่ในดินหรือบนพื้นผิวดินก้นบ่อ จะกินพืชและซากพืชบ้างในระยะวัยรุ่น (juvenile) โดยจะว่ายน้ำเข้ามาจับอาหารกลางน้ำเป็นส่วนใหญ่ กรณีน้ำตื้นสามารถมองเห็นกุ้งหากินกึ่งว่ายน้ำกึ่งคลานตามพื้นบ่อ การเคลื่อนไหวเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยสามารถย่อยอาหารได้เร็วและย่อยสมบูรณ์ในระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ภิญโญ, 2545)

2.1.5 ความต้องการสารอาหาร

ความต้องการสารอาหารในกุ้งขาวเหมือนกับกุ้งทะเลชนิดอื่น โดยมีความต้องการสารอาหารแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัยและขนาดของกุ้ง ในกุ้งขาวที่โตเต็มวัยมีความต้องการโปรตีนประมาณร้อยละ 32 ส่วนในกุ้งวัยอ่อนมีความต้องการโปรตีนประมาณร้อยละ 36 ความต้องการไขมันประมาณร้อยละ 5-8 โดยมีความต้องการกรดไขมันจำเป็นพวก ลิโนเลอิก (18:2n-6) ร้อยละ 0.4 ลิโนลินิก (18:3n-3) ร้อยละ 0.3 โดยเฉพาะ Eicosapentaenoic acids (20:5n-3, EPA) และ Decosahexaenoic

acids (22:6n-3, DHA) ร้อยละ 0.4 (Akiyama *et al.,*1991) และมีความต้องการกรดไขมันชนิด HUFA (Kanazawa *et al.,* 1985) ความต้องการคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 35 โดยทั้งไขมันและคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงาน นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุที่จำเป็นเช่นฟอสฟอรัสและแคลเซียม กุ้งขาวมีความต้องการฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 0.34-2 (Davis *et al.,* 1993; Pan *et al.,* 2005) และมีความต้องการแคลเซียมประมาณร้อยละ 0.5-2 โดยสัดส่วนของแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับกุ้งกุลาดำคือ 2:1 หรือ 1:1 (Penaflorida, 1999) และกุ้งขาวคือ 1:1 (Deshimaru and Yone, 1978; Davis and Gatlin, 1996; Cheng *et al.,* 2006) การได้รับแร่ธาตุพวกแคลเซียมและฟอสฟอรัสในระดับที่เหมาะสมจะช่วยบำรุงตับทำให้กุ้งแข็งแรง โตเร็ว มีระบบไหลเวียน ระบบประสาท และระบบภูมิคุ้มกันโรคดี

Lee and Lee (2018) ได้ศึกษาความต้องการโปรตีนของกุ้งขาวแวนนาไม ในวัยที่แตกต่างกันและระดับโปรตีนที่ร้อยละ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลองใช้กุ้งขนาดต่างกันคือ 0.65, 4.80 และ 10.5 กรัม พบว่า ในการทดลองที่ 1 การเจริญเติบโตของกุ้งในแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน แต่ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งที่ได้รับโปรตีนร้อยละ 30 มีค่าสูงกว่ากุ้งที่ได้รับโปรตีนร้อยละ 40, 45 และ 50 ($p<0.05$) ในการทดลองที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งที่ได้รับโปรตีนร้อยละ 35 สูงกว่า กุ้งที่ได้รับโปรตีนร้อยละ 25 ($p<0.05$) ในการทดลองที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งที่ได้รับโปรตีนร้อยละ 25 ต่ำที่สุด ($p<0.05$) ดังนั้น ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสม คือร้อยละ 34.5 ในกุ้งขนาดเล็กร้อยละ 35.6 ในกุ้งขนาดกลาง และร้อยละ 32.2 ในกุ้งขนาดใหญ่

2.1.6 สีของกุ้งต้ม

ปัจจุบันการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งที่เป็นสินค้าแปรรูป ให้ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภคต้องมีคุณภาพและลักษณะเป็นสิ่งสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อทางเลือกและความชอบของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์กุ้งจะต้องมีลักษณะตรงต่อความต้องการและลักษณะพิเศษที่ได้รับความนิยมมากคือมีสีแดง (Pathare *et al*., 2013; Sae-leaw *et al*., 2018) ดังนั้นการปรับปรุงสีของกุ้งต้มให้ตรงต่อความนิยมของผู้บริโภคคือการเสริมอาหารด้วย แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เช่น แอสตาแซนธิน และเบต้าแคโรทีน (นฤปนาถ, 2558; Nui *et al.,* 2012) เป็นต้น ซึ่งกุ้งขาวที่อยู่ในกลุ่มครัชเตอร์เซียนสามารถเปลี่ยนสารแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ เช่น เบต้า-แคโรทีน (Beta-carotene) ลูทีน (Lutein) ซีอาแซนทิน (Zeaxanthin) และ แคนซาแซนทิน (Canthaxanthin) รวมทั้งแคโรทีนอยด์ชนิด อื่น ๆ ให้เป็นแอสตาแซนธิน (Astaxanthin) และสะสมในร่างกายและเปลือกได้โดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในร่างกาย (Vernon-Carter *et al.,* 1996) และในการศึกษาของ Cruz-Suarez *et al*. (2009) ได้รายงานว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม

สาหร่าย *Ulva clathrata* ที่ร้อยละ 3.3 หลังจากนำไปปรุงสุกจะมีสีแดงมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่าย *Macrocystis pyrifera* และ *Ascophyllum nodosum*

2.2. สาหร่ายไส้ไก่

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายไส้ไก่

สาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis*) เป็นสาหร่ายสีเขียว (green algae) ชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในดิวิชันคลอโรไฟต้า (Division Chlorophyta) ภายในเซลล์ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) และแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ในสาหร่ายสกุลนี้มีลักษณะหลายรูปแบบ โดยสาหร่ายไส้ไก่มีลักษณะรูปร่างเป็นแบบท่อกลวงสามารถยืดหยุ่นได้ จึงทำให้เรียกสาหร่ายไส้ไก่ว่า สาหร่ายอุลวาสายเซลล์ (filamentous Ulva) แต่เดิมสาหร่ายสกุล *Enteromopha* และ สาหร่ายสกุล *Ulva* มีโครงสร้างของเซลล์ และข้อมูลทางพันธุกรรม ไม่มีความแตกต่างกันทำให้นำสาหร่ายสกุล *Enteromopha* มารวมเข้ากับ สาหร่ายสกุล *Ulva* โดยในระยะแรกสาหร่ายทั้งสองกลุ่มจะมีลักษณะเป็นท่อหรือหลอด หลังจากนั้นมีการพองตัวขยายออกจะมีลักษณะหงิกงอ จึงมีชื่อสามัญว่า Gut weed สาหร่ายในสกุล *Ulva* มีลำดับทางอนุกรมวิธาน (ระพีพร, 2560) ดังนี้

Division Chlorophyta
Subphylum Chorophytina
Class Ulvophyceae
Order Ulvales
Family Ulvaceae
Genus *Ulva*
Species *Ulva intestinalis*

แทลลัส (thallus) มีความยาว 6-20 เซนติเมตร มีโคนที่สั้นซึ่งมีส่วนยึดเกาะเป็นรูปทรงกลม ต้นแทลลัสตั้งเป็นพุ่มส่วนโคนจะแคบท่อเล็กเรียวลงและขยายพองออกในส่วนบนมีสีเขียวเหลืองถึงเขียวเข้ม สาหร่ายชนิดนี้ไม่แตกแขนง แต่เซลล์ในบริเวณโคนที่ยึดติดกับพื้นอาจพบการแตกแขนงได้ ขนาดของสาหร่ายสามารถยาวได้ถึง 50 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ที่สาหร่ายเจริญเติบโตอยู่ รูปร่างลักษณะของสาหร่ายเป็นแบบหลอดกลวงเป็นช่องโหว่ในแกนกลาง ขนาดของช่องประมาณ 1-2 เซนติเมตร และสาหร่ายมีความกว้างประมาณ 1-4 เซนติเมตร ช่องโหว่ในแกนกลางที่พองออกมา

สามารถพบในบางส่วนหรือพบได้ตลอดทั้งแทลลัสของสาหร่าย เส้นผ่านศูนย์กลางในบางช่วงจึงมีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ลักษณะของเซลล์โดยทั่วไป จัดเรียงไม่เป็นระเบียบตามแนวยาวของแทลลัสขนาดของเซลล์กว้างและยาวประมาณ 12-20 ไมโครเมตร แต่ละเซลล์จะมี 1 ไพรีนอยด์ (pyrenoid) เมื่อแทลลัสอายุมากขึ้น อาจเกิดการหลุดลอยขึ้นมาตามผิวน้ำ และเมื่อลอยเป็นอิสระจะงอกเป็นแทลลัสใหม่ขึ้นมา มีลักษณะเป็นเส้นสายที่เซลล์เรียงต่อกันเป็นแถวเดียว (uniseriate) เมื่อเกิดการแบ่งเซลล์จะได้เป็นเซลล์เส้นสายหลายแถว (pluriseriate) และมีความหนา 2 ชั้น ของเซลล์ซึ่งต่อมาเซลล์ทั้ง 2 ชั้นนี้จะแยกออกจากกัน จึงเกิดเป็นหลอดกลวงตรงกลาง (ทิพวรรณ, 2552)

2.2.2 วงจรชีวิต

สาหร่ายสกุล *Ulva* มีวงจรชีวิตแบบสลับ คือระยะแกมีโทไฟต์สลับกับระยะสปอโรไฟต์ โดยต้นที่แก่แล้วจะมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์แกมีตแบบมีเพศหรือซูโอสปอร์ (zoospore) เมื่อสปอร์ถูกปล่อยออกมาแล้วผนังเซลล์ของต้นยังคงอยู่ แต่สีของแทลลัสจะมีสีซีดจางลง และต้นสาหร่ายจะเสื่อมสภาพไป การปล่อยแกมีตของสาหร่ายจะเกิดขึ้นในช่วงที่น้ำเกิด รูปร่างแกมีตจะมีหนวดจำนวน 2 เส้น มีความยาวในช่วง 6-7 ไมโครเมตร ทั้งแกมีตเพศผู้และแกมีตเพศเมียจะมีรูปร่างที่เหมือนกัน คือรูปร่างเป็นรูปไข่ หรือรูปร่างยาว มีพฤติกรรมว่ายเข้าหาแสง จากนั้นจะจับคู่กัน (conjugate) โดยหันด้านที่มีหนวดเข้าหากัน และมีการรวมกันของโพรโทพลาสต์ได้เป็นไซโกตที่มีจำนวนหนวด 4 เส้น หลังจากที่มีการจับคู่รวมกันแล้ว ไซโกตจะมีพฤติกรรมแบบหนีแสง โดยมีการเคลื่อนไหวอยู่ในระยะเวลาสั้นๆ จึงจะจมตัวลงเพื่อเกาะกับวัสดุที่แข็งหรือเกาะบนสาหร่ายอื่น จากนั้นไซโกตจะเจริญเติบโตเป็นระยะสปอโรไฟต์ หรือต้นไม่มีเพศ มีรูปร่างเหมือนกันกับต้นแบบมีเพศ ซึ่งเมื่อถึงระยะสืบพันธุ์จะสร้างเป็นอับซูโอสปอร์ ที่มีซูโอสปอร์ (zoospore) รูปร่างมีความคล้ายแกมีตอยู่ภายใน แต่มีขนาด 9-10 ไมโครเมตร ซึ่งใหญ่กว่าแกมีต มีหนวดจำนวน 4 เส้น เมื่อมีการปล่อยซูโอสปอร์ จะเจริญเติบโตขึ้นเป็นระยะแกมีโทไฟต์ แต่ถ้าแกมีตเพศผู้และเพศเมียไม่เกิดการคอนจูเกตกันจะเข้าสู่ขบวนการที่มีการเกิดโดยไม่ผสมพันธุ์ หรือเรียกว่า พาทีโนเจนีซีส (parthenogenesis) ซึ่งเมื่อแก่เต็มที่จะปล่อยสปอร์ที่มีหนวด 4 เส้น เช่นกัน ซึ่งสปอร์เหล่านั้นจะเกาะกับที่ยึดเกาะต่างๆ และเจริญเติบโตต่อไป (ระพีพร, 2553)

2.2.3 การแพร่กระจาย

สาหร่ายสกุล *Ulva* สามารถเจริญเติบโตในบริเวณแนวหิน หรือชายหาดในบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลง สามารถขึ้นได้บนแหล่งที่อยู่ลักษณะต่างๆเช่น บนก้อนหิน แนวโขดหิน เปลือกหอย พื้นทราย พื้นโคลนหรือโคลนปนทราย ทั้งในน้ำกร่อย ในแอ่งน้ำบริเวณแนวดินโคลนปากแม่น้ำ สาหร่ายสกุลนี้จะเริ่มเจริญเติบโตในช่วงปลายฤดูหนาว และเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนมักพบการแพร่กระจายจนเต็มพื้นที่

สามารถพบได้ทั้งในเขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาว ทนต่อความเค็มได้ในช่วงกว้างจึงพบการแพร่กระจายได้ในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทั่วโลก (ทิพวรรณ, 2552) การเจริญเติบโตของสาหร่ายสกุลนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น เมื่อฝนตกน้ำจืดจะไหลลงสู่แหล่งน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำ ทำให้ระดับน้ำสูงขึ้น และระดับความเค็มของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งสีและลักษณะของสาหร่ายด้วย โดยปกติสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงฤดูร้อน (Ohno, 1993)

2.2.4 การเพาะสาหร่ายไส้ไก่

ในประเทศไทยได้มีการนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ในบริเวณตามพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามันตั้งแต่สมัยอดีต ในปัจจุบันมีการนำสาหร่ายมาผลิตเป็นทั้งอาหารของมนุษย์และอาหารสัตว์ อีกทั้งยังนำใช้ในการบำบัดน้ำ โดยธุรกิจสาหร่ายเติบโตขึ้นอย่างเป็นลำดับ มีการพัฒนาการเลี้ยงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 แต่ไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย (Chirapart, 2006)

2.2.4.1 การผึ่งแห้งต่อการปล่อยสปอร์ของสาหร่ายไส้ไก่

ในการเพาะต้นอ่อนของสาหร่ายไส้ไก่ ทิพวรรณ (2552) รายงานผลของการผึ่งแห้งต่อการปล่อยสปอร์ของสาหร่ายไส้ไก่ *U. intestinalis* พบว่า เมื่อครบ 24 ชั่วโมงสาหร่ายที่ผึ่งแห้งเป็นเวลา 30 นาที ให้จำนวนสปอร์รวมมากที่สุดคือ 4,879.78±138.62 เซลล์ต่อกรัม รองลงมา คือ 45, 15 และ 60 นาที ไม่ผ่านการผึ่งแห้งมีจำนวน 4,392.89±127.83, 4,075.00±173.44, 2,226.00±122.32 และ 322.00±73.34 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับอัตราการปล่อยสปอร์สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 9 โดยสาหร่ายที่ผ่านการผึ่งแห้งเป็นเวลา 30 นาที สามารถปล่อยสปอร์ได้ 1,006.44±7.13 เซลล์ต่อกรัม ใน 3 ชั่วโมง และการศึกษาการพัฒนาของสปอร์สาหร่าย พบว่าสาหร่ายที่มีอายุ 1 วัน ต้นอ่อนมีขนาดประมาณ 8-10 ไมโครเมตร เมื่อมีอายุ 3 วัน จะมีการแบ่งเซลล์และมีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ต้นอ่อนของสาหร่ายจะเริ่มยืดเซลล์ออกมาโดยเฉพาะบริเวณโคนของต้นอ่อน จนมีลักษณะเป็นแทลลัสขนาดเล็ก (young thallus) มีความยาวประมาณ 30-50 ไมโครเมตร

2.2.4.2 การทำกลุ่มก้อนต้นอ่อน (Germling cluster method)

การทำกลุ่มก้อนต้นอ่อน ซึ่งเป็นวิธีการเลี้ยงในเมือง Muroto เขต Kochi ในญี่ปุ่นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยมีขั้นตอนคือการตัดแทลลัสเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 1-2 มิลลิเมตร เพื่อกระตุ้นการสร้างและปล่อยสปอร์ เมื่อสาหร่ายมีการปล่อยสปอร์แล้วจะทำการรวบรวมสปอร์ไว้อีกที่หนึ่ง เมื่อสปอร์มีจำนวนที่หนาแน่นมากพอแล้วจึงนำมาขยายในอีกภาชนะหนึ่งที่มีขนาดใหญ่กว่า ปรับความหนาแน่นของสปอร์ 10,000 สปอร์ต่ออาหาร 1 มิลลิลิตร (Hiraoka and Oka, 2008) นำไปเลี้ยงภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 ppt ที่ความเข้มแสง 80 μmol

photon $m^{-2}s^{-1}$ อัตราการให้แสงมืดและสว่างของสาหร่ายเท่ากับ 12:12 ชั่วโมง ให้แสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยเลี้ยงที่ความหนาแน่น 10-100 กรัมต่อตารางเมตร (Ruangchuay *et al.,* 2012)

อาริณี (2558) ศึกษาการเหนี่ยวนำการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในสาหร่ายไส้ไก่ *Ulva intestinalis* ในห้องปฏิบัติการ ใช้ปัจจัยกระตุ้น 3 ปัจจัย ประกอบด้วย 1) ขนาดความยาวท่อนพันธุ์ 5 ระดับ คือ 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 3.0 เซนติเมตร 2) อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 25 30 และ 35ºC และ 3) การเติมสารแคลเซียม จากคลอไรด์ 4 ระดับ คือ 0 6 12 และ 18 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการตัดสาหร่ายเป็นชิ้นส่วนขนาด 0.5-3.0 เซนติเมตร การเลี้ยงชิ้นส่วนสาหร่ายที่ 25ºC และการเพิ่มสาร $CaCl_2$ 6-18 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในน้ำเลี้ยงจะช่วยเหนี่ยวนำให้สาหร่ายไส้ไก่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ภายใน 2 วัน

2.2.5 การเลี้ยงสาหร่ายไส้ไก่

ในประเทศญี่ปุ่น มีวิธีการรวบรวมเมล็ดพันธุ์หรือสปอร์ให้เกาะบนอวนและนำไปเลี้ยงในทะเลหรือนำเลี้ยงต่อในโรงเรือนจนสามารถเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งการเลี้ยงในทะเลสามารถรวบรวมสปอร์ของสาหร่ายจากธรรมชาติและการเพาะสปอร์ในโรงเรือน ในการเก็บสปอร์จากทะเลสามารถทำได้โดยการนำอวนไปขึงไว้ในบริเวณที่มีสาหร่ายไส้ไก่เจริญเติบโตอยู่ในธรรมชาติ พบในช่วงเวลาน้ำขึ้นช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม สปอร์ของสาหร่ายจะว่ายมาเกาะกับอวน ทำการแยกอวนที่มีสปอร์เกาะอยู่ย้ายมาอนุบาลบริเวณชายฝั่ง 2-3 สัปดาห์ เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน ทำการแยกอวนให้เหลือชั้นเดียว และนำไปเลี้ยงต่อเป็นระยะเวลา 1-2 เดือน โดยสามารถเลี้ยงแบบตรึงอยู่กับที่ ให้สาหร่ายได้ผึ่งแห้งและจม ในช่วงเวลาบริเวณน้ำขึ้นน้ำลง หรือเลี้ยงแบบจมโดยตรึงอยู่กับเสาไม้ตลอดเวลาในทะเลนอก อีกหนึ่งวิธีเลี้ยงในทะเลโดยการเก็บสปอร์จากโรงเรือน ด้วยวิธีการเก็บสปอร์แบบเทียม โดยการนำต้นพันธุ์สาหร่ายมากระตุ้นการปล่อยสปอร์ ด้วยวิธีการผึ่งแห้ง สาหร่ายจะปล่อยสปอร์ภายใน 6-12 ชั่วโมง เมื่อสาหร่ายปล่อยสปอร์แล้วทำการเก็บสปอร์ไปเลี้ยงในถังที่มีอวนขึงอยู่เพื่อให้สปอร์เกาะและงอกเป็นต้นอ่อน ทำการอนุบาล 2-3 เดือนก่อนนำไปเลี้ยงในทะเลต่อไป ส่วนการเลี้ยงในฟาร์มบนฝั่ง หรือบนพื้นดิน เป็นวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบใหม่ เพื่อให้ได้สาหร่ายที่มีคุณภาพที่ดี โดยเลี้ยงภายใต้สภาพแวดล้อมคงที่ และสามารถควบคุมได้ โดยให้สปอร์ของสาหร่ายเกาะกันเองได้เป็นกลุ่มก้อนของต้นอ่อน (germling cluster) ภายในห้องปฏิบัติการ ทำการเลี้ยงจนได้ขนาดที่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงต่อในบ่อซีเมนต์ การเลี้ยงในฟาร์มบนฝั่ง ต้องมีการจัดการให้มีประสิทธิภาพ โดยถังที่ใช้จะต้องออกแบบระบบให้มีการให้อากาศ การควบคุณอุณหภูมิ และความเค็มของน้ำ รวมทั้งการให้อาหารสาหร่ายอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การเพาะเลี้ยงได้ผลผลิตสูงสุด ฟาร์มในประเทศญี่ปุ่นสามารถผลิตสาหร่ายไส้ไก่ ในรอบหนึ่งปีได้มากที่สุดในช่วงฤดูหนาวถึงฤดูใบไม้ผลิ ผลผลิตและสปอร์ของสาหร่ายลดลงในช่วงฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง แม้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ

เลี้ยงปล่อยสปอร์จะมากกว่า 20 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ในการเลี้ยงต้นอ่อนของสาหร่ายไส้ไก่ จะใช้ท่ออัดอากาศที่อยู่ในบริเวณก้นถังซึ่งเป็นรูปกรวย เพื่อทำให้ต้นอ่อนลอยหมุนวนอย่างอิสระภายในถังจนกระทั่งต้นอ่อนมีความยาว 10 มิลลิเมตร จึงย้ายไปเลี้ยงในถังข้างนอกขนาด 7 ตัน (1.5x5.5x0.9 เมตร) ที่มีระบบให้อากาศแบบกระจายบริเวณพื้นบ่อ หลังจากนั้นจึงนำมาเลี้ยงต่อประมาณ 1–2 สัปดาห์ จากต้นอ่อนสาหร่ายน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัมต่อตัน หลังจากเลี้ยงครั้งแรกได้ผลผลิต 1 กิโลกรัมต่อตัน (ระพีพร, 2560)

แวมารือนี และคณะ (2560) ได้ทำการเลี้ยงสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis*) แบบระบบปิดกลางแจ้งโดยเปรียบเทียบการเลี้ยงในถังพลาสติก ขนาด 200 ลิตร และบ่อซีเมนต์ ขนาด 1,000 ลิตร ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.02 กรัมต่อลิตร ให้อากาศเพื่อให้สาหร่ายหมุนเวียน และให้ปุ๋ยเคมี 16-16-16 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมทุกๆ สัปดาห์ตลอดการทดลอง พบว่าการเลี้ยงสาหร่ายในบ่อซีเมนต์ มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น 2074.05 กรัมต่อลิตร และการเลี้ยงสาหร่ายไส้ไก่ในถังพลาสติก มีการเจริญเติบโต 2002.53 กรัมต่อลิตร

เอนก และคณะ (2558) ได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ซึ่งดัดแปลงระบบการเลี้ยงด้วยระบบ Nutrient Film Technique (NFT) มาใช้ในการเลี้ยงเปรียบเทียบกับการเลี้ยงแบบระบบน้ำไหลผ่านตลอด เริ่มจากการนำรางไฟเบอร์ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 50x200x50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เท่ากับ 570 ลิตรต่อราง สำหรับหมุนเวียนน้ำในระบบจะใช้ปั๊มสูบน้ำขนาดกำลัง 60 วัตต์ และรองรับน้ำที่ไหลผ่านระบบด้วยถังพลาสติก ก่อนที่จะสูบน้ำหมุนเวียนกลับขึ้นไปใช้ใหม่ มีการเติมปุ๋ยยูเรีย (15-15-15) ในอัตรา 0.2 กรัมต่อราง ใส่ปุ๋ยทุกๆ 3 วัน ตลอดการทดลองและให้อากาศตลอดเวลา พบว่าการเลี้ยงด้วยระบบ NFT สามารถมีผลผลิตใกล้เคียงกับการเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลของสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดตราด

2.2.6 คุณค่าทางโภชนาการ

สาหร่ายสกุล *Ulva* เป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และโดยเฉพาะแร่ธาตุต่าง ๆ Benjama and Masniyom (2011) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายไส้ไก่ที่เก็บรวมรวมจากพื้นที่ชายฝั่งปัตตานีทางภาคใต้ของไทย พบว่ามีโปรตีนร้อยละ 16.4-19.5 ไขมันร้อยละ 7.3-8. เถ้าร้อยละ 26.9-28.4 ความชื้นร้อยละ 5.4-7.2 และเยื่อใยร้อยละ 51.3-62.2 จากการศึกษาของ Aguilera-Morales *et al*. (2005) ได้รายงานว่าสาหร่ายสกุล *Ulva sp*. มีคุณค่าทางอาหารที่ โปรตีนร้อยละ 9-14 ไขมันร้อยละ 2.0-3.6 เถ้าร้อยละ 32-36 และกรดไขมัน n-3 และ n-6 10.4 และ 10.9 กรัมต่อ100กรัม ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ โดยโปรตีนของสาหร่ายชนิดนี้มีอัตราการย่อยได้สูงร้อยละ 98 และไม่พบการ

ปนเปื้อนของแบคทีเรียเกินมาตรฐาน ทำให้มีความเหมาะสมต่อการบริโภคสำหรับมนุษย์ มนทกานติ และคณะ (2559) ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลอายุ 1-4 สัปดาห์มีโปรตีนร้อยละ 10.37-11.60 และไขมันร้อยละ 2.36-2.78 มีกรดอะมิโนรวมต่อโปรตีนร้อยละ 78.07-85.26 กรดอะมิโนจำเป็นร้อยละ 28.88-34.04 มี Leucine สูงที่สุด รองลงมาเป็น Arginine Threonine Valine และ Phenylalanine และมี Methionine และ Histidine น้อย ชนิดกรดไขมันหลัก ได้แก่ C16:0 C18:0 C18:1n-9 C18:2n-6 และ C18:3n-3 มี C20:5n-3 (EPA) น้อยและอยู่ในช่วงร้อยละ 0.57-0.76 พบกรดไขมัน C22:6n-3 (DHA) เฉพาะในสาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บเกี่ยวในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.61 และ 1.21 ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายผักกาดทะเลอายุ 8 สัปดาห์มีน้ำหนักแห้งร้อยละ 11.35-13.59 โปรตีนร้อยละ 19.83-22. ไขมันร้อยละ 0.25-0.30 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 42.16-47.28 เถ้าร้อยละ 26.34-34.96 เยื่อใยร้อยละ 2.75-3.72 ซึ่งในการศึกษาของ Serrano and Tumbokon (2015) ได้ศึกษาการนำสาหร่ายไส้ไก่มาทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับต่าง ๆ มาเลี้ยงกุ้งกุลาดำระยะโพสลาวา 20 (0.01 กรัม) พบว่า อัตราการรอดตายและการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในขณะที่กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 15.75 มีการเจริญเติบโตดีที่สุด และค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ การกินอาหาร และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 13.9, 14.1 และ 14.7 ตามลำดับ ดังนั้นการเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่เหมาะสมในอาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือร้อยละ 13.9-14.7 และการนำสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) มาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารเสริมด้วยสาหร่ายผักกาดทะเลสัดส่วนร้อยละ 0, 6, 9 และ 12 (กากถั่วเหลืองร้อยละ 15) มีการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่แตกต่างจากกุ้งขาวที่ได้รับอาหารมีสัดส่วนของกากถั่วเหลืองร้อยละ 17 และ 20 (ไม่เสริมสาหร่าย) ($p>0.05$) และกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตรมีประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนอาหารไม่แตกต่างกันและมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.01-84.3 (มนทกานติ และคณะ, 2559) อีกทั้งในสาหร่ายสกุล *Ulva* มีปริมาณของ Chl a ร้อยละ 15.60-30.90, Chl b ร้อยละ 12.20-14.89 ,9-cis β-caroteneร้อยละ 13.12-14.47, β-carotene ร้อยละ 11.44-11.47 และ all-trans β-carotene ร้อยละ 6.16-29.70 สารสกัดของสาหร่ายยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่โดดเด่นเมื่อเทียบกับสารสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระและยังมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นสาหร่ายสกุลนี้อาจถือได้ว่าเป็นแหล่งสีธรรมชาติที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและสามารถใช้เป็นสารกันบูดธรรมชาติในอาหารและในอุตสาหกรรมยาได้ (El-Baky *et al*., 2008)

ในผนังเซลล์ของสาหร่าย *Ulva* sp. มีซัลเฟตโพลีแซคคาไรด์ sulfated polysaccharides หรือเรียกอีกชื่อว่า Ulvan ซึ่งมีความสำคัญในด้านชีวเคมีและการแพทย์ (Zhang *et al.,* 2010; Souza *et al.,* 2012) เช่นการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน สารต้านการแข็งตัวของเลือด สารต้านอนุมูลอิสระ

ต้านมะเร็ง, ยาแก้แพ้และป้องกันการอักเสบ (Liu *et al.,* 2012; Ngo and Kim, 2013; Shao *et al.,* 2013) ดวงใจและธนากร (2560) ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลในอาหารต่อปริมาณเม็ดเลือดรวมทั้งหมดและกิจกรรมของเม็ดเลือดในการกลืนกินสิ่งแปลกปลอมของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) โดยการนำสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) มาผสมในอาหารเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมขนาด 25 กรัม จากนั้นทำการฉีดเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio harveyi* ที่มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 5.26x103 เซลล์ต่อมิลลิลิตร พบว่าการเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระดับความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวต่อวัน ในการเลี้ยงกุ้งนาน 7 วัน มีปริมาณเพียงพอต่อการกระตุ้นให้เกิดการทำงานเพิ่มขึ้นของเซลล์เม็ดเลือดในการกลืนกินสิ่งแปลกปลอม โดยการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของค่ากิจกรรมของเม็ดเลือดในการกลืนกินสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ phagocytic activity phagocytic index และ average number of the bead ingested per cell มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ($P<0.05$) สำหรับผลการศึกษาปริมาณเม็ดเลือดรวมทั้งหมด พบว่า กุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายผักกาดทะเลที่ทุกระดับความเข้มข้นมีค่าปริมาณเม็ดเลือดรวมทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ($P>0.05$)

นอกจากนี้การเสริม Ulvan ในอาหารเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมขาว (*Litopenaeus vannamei*) และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ในปริมาณร้อยละ 0.10 และ 0.15 ส่งผลให้ปริมาณเม็ดเลือดทั้งหมด respiratory burst activity และ phenoloxidase activity มีการตอบสนองที่ดีกว่า กุ้งที่เลี้ยงด้วยสูตรควบคุม (Lauzon and Serrano, 2015) และเมื่อทำการฉีดเชื้อ white spot syndrome virus (WSSV) ในกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม Ulvan ในระดับต่างกันพบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริม Ulvan ที่ 1000 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีการรอดนานที่สุดคือ 5 วัน อีกทั้งปริมาณเม็ดเลือดรวม และค่า respiratory burst activity และ phenoloxidase activity ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม Ulvan ที่ 1000–1500 กรัมต่ออาหารกุ้ง 1 กิโลกรัมดีกว่าสูตรควบคุม (Declarador *et al.,* 2014)

บทที่ 3
วิธีการศึกษา

3.1. วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 สัตว์ทดลอง

กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ขนาด post laevae-15 จำนวน 10,000 ตัว

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งขาว

1) ถังพลาสติกลม ขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 3 ถัง

2) ตู้กระจกขนาด 30x60x30 เซนติเมตร^3 จำนวน 18 ถัง

3) อุปกรณ์ระบบให้อากาศ ได้แก่เครื่องให้อากาศ สายยาง หัวทราย

4) อุปกรณ์ขนย้ายปลาได้แก่ สวิงช้อนปลา กะละมัง

3.1.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำอาหารทดลอง

1) อุปกรณ์ตวงวัสดุอาหารได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2) เครื่องอัดเม็ดอาหาร

3) ตู้แช่แข็ง ใช้เพื่อเก็บอาหารทดลองระหว่างรอนำมาใช้

4) ถาดอะลูมิเนียม

5) เครื่องบดสมุนไพร

6) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.1.2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและตัวกุ้ง

1) อุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้น

1.1) ตู้อบความร้อน (Hot air oven)

1.2) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)

1.3) โถดูดความชื้น (Desiccator)

1.4) เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

1.5) คีมคีบ (tong)

2) อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์เถ้า

2.1) เตาเผา (Muffle furanace)

2.2) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)

2.3) คีมคีบ (tong)

2.4) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3) อุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน

1) หลอดย่อยโปรตีน (Kjeldahl digestion tube)

2) ชุดสำหรับย่อย (Digestor และ Scrubber)

3) เครื่องสำหรับกลั่นอัตโนมัติ

4) Pipette

5) Cylinder ขนาด 25 ml

6) Buret

7) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

8) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml

9) Volumetric flask ขนาด 1000 ml

10) แท่งแก้วคนสาร

4) อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ไขมัน

4.1) เครื่องสกัดหาไขมันแบบอัตโนมัติ

4.2) บีกเกอร์

4.4) ไส้กรองสาร (Extraction Thimble)

4.5) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.6) โถดูดความชื้น (Desiccator)

4.7) สำลี

4.8) กระดาษกรอง เบอร์ 1

5) อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์เยื่อใย

5.1) เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย

5.2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

5.3) เตาเผา (Muffle furanace)

5.4) ถ้วยกระเบื้องเคลือบชนิดมีรู (Gooch crucible)

5.5) โถดูดความชื้น (Desiccator)

5.6) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.2.4 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของกุ้ง

1) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2) ไม้บรรทัด

3) ถังพลาสติก

4) สวิงช้อนปลา

3.1.2.5 อุปกรณ์สำหรับการวัดความเข้มสีของกุ้ง

1) เครื่องวัดสี ของ Hunter lab รุ่น MiniScan EZ

3.2. การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

นำถังพลาสติก ขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 3 ถังใส่น้ำที่ฆ่าเชื้อเพื่อทำการเลี้ยงกุ้งขาวก่อนเริ่มทำการศึกษา และเตรียมตู้กระจกขนาด 30x60x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 18 ตู้ ใส่น้ำที่ฆ่าเชื้อแล้วเพื่อใช้ในการศึกษา

3.3. การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้วมาใส่ในถังขนาด 1,000 ลิตรจำนวน 3 ถัง จากนั้นให้อากาศและนำกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ขนาด post laevae-15 จำนวน 10,000 ตัวจากเจริญโภคภัณฑ์อาหาร (โรงเพาะฟักลูกกุ้งท่าบอน) ตำบลท่าบอน อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา มาเลี้ยงเพื่อฝึกให้กุ้งคุ้นเคยกับอาหารและสภาพแวดล้อมเป็นเวลา 2 สัปดาห์โดยให้อาหารกุ้งสูตรควบคุม ให้จนอิ่มวันละ 6 ครั้ง คือ เวลา 6.00 10.00 14.00 18.00 22.00 และ 2.00 น.

3.4. การเตรียมสาหร่ายไส้ไก่

นำสาหร่ายไส้ไก่ที่ได้จากอ่าวปัตตานีมาล้างให้สะอาดด้วยเครื่องซักผ้า (Panasonic-NA-W17XG1BRC) ด้วยอัตราส่วนน้ำหนักสาหร่ายต่อน้ำที่ 1:10 เป็นเวลา 15 นาทีและนำมาผึ่งแดดจนแห้ง โดยที่มีความชื้นร้อยละ 3.54 น้ำหนักแห้ง จากนั้นนำสาหร่ายไส้ไก่มาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Grinder 1000-1200G WF-10 model) หลังจากนั้นเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในภาชนะสูญญากาศ ก่อนนำมาผสมในสูตรอาหารเลี้ยงกุ้งขาว

3.5. การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองทั้งหมดมี 6 ชุดการทดลอง อาหารสูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุมไม่มีการเสริมด้วยสาหร่ายไส้ไก่ อาหารทดลองสูตรที่ 2-6 มีการเสริมสาหร่ายไส้ไก่ระดับที่ต่างกันไป คือร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 คำนวณสูตรอาหารให้มีระดับอาหารให้มีระดับโปรตีน ไขมันและระดับพลังงานเท่ากันทุกชุดการทดลองคือ มีโปรตีนร้อยละ 40 ไขมันร้อยละ 10

วิธีการเตรียมอาหารทดลองโดยชั่งวัสดุอาหารแต่ละอย่าง ตามสูตรที่คำนวณไว้ที่แสดงในตารางที่ 1 ปรับปรุงสูตรอาหารตาม มนทกานติ และคณะ (2559) สำหรับน้ำมันปลาใส่ลงไปในระหว่างการผสมอาหาร เมื่อผสมส่วนประกอบวัสดุอาหารเข้ากันดีแล้ว นำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร

ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร นำอาหารที่เตรียมเสร็จแล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เก็บอาหารรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (วุฒิพร และคณะ, 2540) และตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการและแร่ธาตุของอาหารที่เตรียมเสร็จแล้ว (ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรทหาได้จากการคำนวณตามสูตร 100–(ความชื้น+โปรตีน+ไขมัน+เยื่อใย+เถ้า) ก่อนนำไปใช้การทดลองเลี้ยง

ตารางที่ 1 Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

Ingredients (g/100 g)	*U. intestinalis*					
	0%	6%	12%	18%	24%	30%
Fish meal	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
U. intestinalis	0.00	6.00	12.00	18.00	24.00	30.00
Squid meal	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Soybean meal	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Shrimp head	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00
Wheat flour	29.00	23.00	17.00	11.00	7.00	1.00
Rice bran	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fish oil	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Vitamin mix[1]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Mineral mix[2]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	Proximate analysis (%, dry weight)					
Crude protein	40.94±0.35^{a}	41.05±0.32^{a}	41.15±0.26^{a}	41.18±0.47^{a}	40.97±0.11^{a}	41.55±0.34^{a}
Crude fat	10.38±0.13^{a}	9.71±0.30^{a}	9.83±0.31^{a}	10.17±0.09^{a}	10.25±0.15^{a}	9.78±0.07^{a}
Crude fiber	2.63±0.17^{a}	2.94±0.09^{a}	2.14±1.07^{a}	2.30±1.15^{a}	2.35±1.18^{a}	3.71±0.07^{a}
Moisture	1.76±0.03^{a}	1.65±0.01^{a}	2.09±0.08^{b}	1.93±0.06^{b}	1.95±0.05^{b}	1.75±0.06^{a}
Ash	12.68±0.02^{a}	14.00±0.01^{b}	15.36±0.09^{c}	17.12±0.06^{d}	18.16±0.03^{f}	19.42±0.04^{e}

Note: Values are the mean±SD of three replications; Means within each row superscripted with different letters are significantly (P <0.05) different; [1]Vitamin mix (Immu Vite) (mg·kg^{-1} premix): 500,000 mg·kg^{-1} Vitamin A, 100,000 mg·kg^{-1} Vitamin D3, 1,000 mg·kg^{-1} Vitamin E, 3,000 mg·kg^{-1} Vitamin C, 1,000 mg·kg^{-1} Vitamin B1, 200 mg·kg^{-1} Vitamin B2, 600 mg·kg^{-1} Vitamin B6, 800 mg·kg^{-1} Pantothenic acid, 0.06 mg·kg^{-1} Vitamin B12, 200 mg·kg^{-1} Nicotinic acid, 50 mg·kg^{-1} Folic acid, 500 mg·kg^{-1} Inositol, 10,000 mg·kg^{-1} Methionine, 18,000 mg·kg^{-1} Glycine, 3,000 mg·kg^{-1} Lysine, 5,000 mg·kg^{-1} Glutamic acid, 50 mg·kg^{-1} Astaxanthin. [1]Mineral mix (ORC-Cal) (mg·kg^{-1} premix): 20,000 mg·kg^{-1} Ca, 10,625 mg·kg^{-1} P, 500 mg·kg^{-1} Cu, 1,700 mg·kg^{-1} F, 200 mg·kg^{-1} Mn, 900 mg·kg^{-1} Zn, 250 mg·kg^{-1} K, 100 mg·kg^{-1} Mg, 10 mg·kg^{-1} Co, 20 mg·kg^{-1} Se, 19,980 mg·kg^{-1} Na, 400 mg·kg^{-1} I, 32,000 mg·kg^{-1} Vitamin C

3.6. แผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD-Complete randomizes design) โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง (Treatments) ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ (Replication) รวมเป็น 18 หน่วยการทดลอง (Experimental unit) กำหนดให้

ชุดการทดลองที่ 1 สูตรอาหารที่ไม่เสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 สูตรอาหารที่เสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6

ชุดการทดลองที่ 3 สูตรอาหารที่เสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 12

ชุดการทดลองที่ 4 สูตรอาหารที่เสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 18

ชุดการทดลองที่ 5 สูตรอาหารที่เสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 24

ชุดการทดลองที่ 6 สูตรอาหารที่เสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 30

โดยนำกุ้งขาวมาใส่ในตู้กระจกขนาด 30x60x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตู้ละ 50 ตัว มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 0.12±0.01 กรัม ให้อาหารที่ต่างระดับกันไป ให้อาหารจนอิ่ม วันละ 6 ครั้ง คือ เวลา 6.00 10.00 14.00 18.00 22.00 และ 2.00 น.

บันทึกผลการทดลองพร้อมปรับการให้อาหาร และตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก 2 สัปดาห์ ตลอดการทดลองจนครบ 12 สัปดาห์ ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองได้แก่ น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน องค์ประกอบทางเคมี และสีของกุ้งพร้อมเปลือกหลังต้ม

3.7. การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะที่แสดงออกภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตลักษณะภายนอกทั่วไปของกุ้งทุกชุดการทดลอง ได้แก่ บาดแผลตามลำตัวและลักษณะการว่ายน้ำ

3.7.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ทุกสัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง เพื่อตรวจสอบ อุณหภูมิ ความเค็ม ออกซิเจนละลายน้ำ พีเอช ความเป็นด่าง และทุก 2 สัปดาห์ เพื่อตรวจสอบ แอมโมเนียรวม ปรับปรุงตามวิธีการของ Strickland and Parsons (1972)

3.7.3 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของกุ้งขาว

ดำเนินการชั่งน้ำหนักกุ้งทุก ๆ 2 สัปดาห์ ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง โดยชั่งน้ำหนักรวมของแต่ละตู้และนับจำนวนกุ้งที่เหลืออยู่ สังเกตลักษณะอาการกุ้งตลอดการทดลอง พร้อมทั้งจดบันทึก จนสิ้นสุดการทดลอง 12 สัปดาห์ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต โดยพิจารณาจาก

3.7.3.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain, WG g) (Brett, 1979)

$$\text{WG (g)} = \text{น้ำหนักกุ้งสุดท้าย} - \text{น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น} \quad (1)$$

3.7.3.2 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate, SGR %/day)

$$\text{SGR (\%/day)} = \frac{In\ (\text{น้ำหนักกุ้งสุดท้าย}) - In\ (\text{น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น})}{\text{เวลา}} \times 100 \quad (2)$$

3.7.3.3 อัตราการกินอาหาร (Daily feed intake, DFI %)

$$\text{DFI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กุ้งกินเฉลี่ยต่อวัน}}{(\text{น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น} + \text{น้ำหนักกุ้งสิ้นสุด}) \,/\, 2} \times 100 \quad (3)$$

3.7.3.4 อัตราการรอดตาย (Survival rate) โดยสมการ

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนกุ้งเมื่อเริ่มต้น}} \times 100 \quad (4)$$

3.7.3.5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion rate, FCR) ตามวิธีการของ Dupree and Sneed (1966) โดยสมการ

$$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กุ้งกินทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}} \quad (5)$$

3.7.3.6 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein efficiency ratio, PER) ตามวิธีการของ Zeitoun *et al.* (1973)

$$\text{PER} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่กินได้}} \quad (6)$$

3.7.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกุ้งขาว

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มตัวอย่างกุ้งจากแต่ละตู้ทดลองนำไปผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวกุ้งได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ความชื้น เถ้า ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) แล้วบันทึกเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.7.5 การวัดความเข้มสี

นำตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาร่ายไส้ไก่ที่ระดับต่างๆ ครบ 12 สัปดาห์ ตู้ละ 5 ตัว มาถ่ายรูปก่อนและหลังต้ม แล้วเปรียบเทียบสีด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter lab รุ่น MiniScan EZ โดยรายงานค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ตามวิธีการของ Choubert and Heirich (1993)

3.7.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาและเปรียบเทียบการเจริญเติบโต คุณภาพซากและประสิทธิภาพการใช้โปรตีน อัตราการรอดตาย และสีเปลือกหลังต้มของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับที่แตกต่างกันใช้วิธีการวิเคราะห์วาเรียนซ์แบบแจงทางเดียว (Analysis of Variance with one way layout) สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ F (F-test) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลดังกล่าวด้วยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณของดันคัน (Duncan’s new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1. แร่ธาตุบางชนิดและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายไส้ไก่

ในตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบของแร่ธาตุบางชนิดของสาหร่ายไส้ไก่ที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้สาหร่ายในระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ส่วนใหญ่มีความยาว 12-37 เซนติเมตร กว้าง 2.0-4.5 มิลลิเมตรและมีสีเขียวอ่อน

ตารางที่ 2 Composition of *Ulva intestinalis* using in the experimental diets

Item	Nutrition	Concentration
Proximate analysis	Protein	19.13±0.18
(% dry weight)	Lipid	0.57±0.02
	Fiber	3.76±0.01
	Moisture	9.72±0.03
	Ash	23.58±0.03
Minerals	P	2,736.67±1,041.08
(mg/kg, dry weight)	Zn	15.60±1.85
	Fe	2,006.67±169.74
	Cr	8.03±0.35
	Mg	12,615.33±750.46
	Ca	22,955.67±835.08
	Cu	7.73±2.13
	Na	2,739.33±120.13
	K	9,303.33±84.37
	Pb	3.00±0.00
	Cd	0.43±0.07

Note: values are mean±SE of three replications.

4.2. แร่ธาตุบางชนิดในอาหารทดลอง

อาหารทดลองในแต่ละชุดการทดลองได้มีการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในตารางที่ 3 พบว่าธาตุอาหารบางชนิดในอาหารทดลองในแต่ละชุดมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มส่วนผสมสาหร่ายไส้ไก่ในอาหารคือ ฟอสฟอรัส สังกะสี เหล็ก โครเมียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม แต่ในส่วนของฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับธาตุอาหารทองแดงและแคดเมียม ในขณะที่ไม่พบตะกั่วในอาหารทดลอง

ตารางที่ 3 Mineral concentrations in experimental shrimp diets.

Minerals (mg/kg dry weight)	*U. intestinalis* (%)					
	0%	6%	12%	18%	24%	30%
P	7,311±3,655^{a}	7,351±3,676^{a}	11,428±1,056^{a}	13,615±806^{a}	14,087±479^{a}	14,520±425^{a}
Zn	41.57±1.70^{a}	43.47±0.99^{a}	51.37±3.35^{b}	56.00±1.00^{bc}	56.67±0.88^{bc}	59.00±2.31^{c}
Fe	241±30^{a}	413±26^{b}	687±21^{c}	994±40^{d}	1,482±96^{e}	1,490±40^{e}
Cr	2.77±0.20^{a}	3.37±0.35^{a}	4.47±0.32^{b}	5.70±0.30^{c}	5.70±0.06^{c}	6.70±0.12^{d}
Mg	1,405±107^{a}	1,821±90^{a}	2,627±169^{b}	3,853±309^{c}	4,604±255^{d}	6,615±366^{e}
Ca	22,374±798^{ab}	19,924±661^{a}	23,634±1643^{bc}	27,202±1920^{bc}	29,283±2734^{cd}	33,973±2401^{d}
Cu	12.27±1.05^{a}	13.53±1.21^{a}	16.70±2.11^{a}	16.43±0.50^{a}	13.43±0.41^{a}	22.90±8.02^{a}
Na	5,429±342^{b}	4,427±70^{a}	5,517±258^{b}	6,561±281^{c}	6,460±504^{c}	7,676±145^{d}
K	3,054±252^{a}	2,578±475^{a}	4,149±231^{b}	4,437±70^{b}	5,848±169^{c}	7,716±125^{d}
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cd	0.53±0.07^{a}	0.67±0.12^{a}	0.60±0.32^{a}	0.60±0.32^{a}	0.67±0.33^{a}	0.67±0.33^{a}

Note: ND = not detected; LOD = 0.5 mg·kg^{-1} dry weight; values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly ($P<0.05$) different.

4.3. การเจริญเติบโตของกุ้งขาว

4.3.1 น้ำหนักของกุ้งขาว

จากการศึกษาการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ากุ้งที่เลี้ยงในแต่ละชุดการทดลองมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4 ในสัปดาห์ที่ 2 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.59±0.01 กรัม รองลงมาคือกุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายที่ร้อยละ 6 มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 0.46±0.02 กรัม ส่วนกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ 0.40±0.02, 0.40±0.02, 0.38±0.01 และ 0.38±0.02 กรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 4 กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายใส่ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุดคือ 1.76±0.02 กรัม ถัดมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 เ มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 1.16±0.03, 1.02±0.15, 1.11±0.02, 1.16±0.08 และ 1.02±0.07 กรัม ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุดที่ 4.28±0.24 กรัม ถัดมาเป็นกุ้งที่รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 2.56±0.13, 2.48±0.17, 2.31±0.14, 2.42±0.10 และ 2.16±0.28 กรัม ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8 กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 7.25±0.43 กรัม รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 5.04±0.35 กรัม สุดท้ายเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักสุดท้ายอยู่ที่ 3.57±0.29, 3.70±0.03, 3.59±0.28 และ 3.66±0.68 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 10 กุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักมากที่สุดคือ 9.44±0.72 กรัม รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 6.73±.0.00 กรัม และ กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 5.52±0.19 กรัม สุดท้ายเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 18, 24, 30 มีน้ำหนักเฉลี่ยคือ 4.89±0.64, 4.87±0.17 และ 4.52±0.00 กรัม ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 12 กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 12.27±0.84 กรัม รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 8.46±0.32, 7.38±0.77, 6.23±0.48 และ 6.29±0.48 กรัม ตามลำดับ ส่วนกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12 มีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 6.11±0.50 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.05$)

4.3.2 ความยาวของกุ้งขาว

ความยาวของกุ้งขาวในแต่ละชุดการทดลอง ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับที่ต่างกัน พบว่าตลอดการทดลอง กุ้งมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในแต่ละสัปดาห์ ดังตารางที่ 5 ช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง กุ้งขาวที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 มีความยาวเฉลี่ยมากสุดที่ 4.41±0.15 เซนติเมตร รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 มีความยาวเฉลี่ยที่ 3.99±0.12, 3.99±0.05, 3.85±0.09, 4.04±0.13 และ 3.95±0.12 เซนติเมตร ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 4 กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด ที่ 5.91±0.07 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 ที่มีความยาวเฉลี่ยที่ 5.28±0.07, 5.23±0.16, 5.24±0.08, 5.33±0.18 และ 5.12±0.13 เซนติเมตร ตามลำดับ ในช่วงสัปดาห์ที่ 6 ความยาวเฉลี่ยของกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 และ 30 มีความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 6.67±0.44, 6.10±0.15, 6.93±0.54, 6.33±0.33, 6.30±0.15 และ 5.12±0.13 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 8 กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด ที่ 9.46±0.27 เซนติเมตร รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีความยาวเฉลี่ยที่ 8.56±0.06 เซนติเมตร และกุ้งกลุ่มสุดท้ายที่มีความยาวเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 18, 24 และ 30 มีความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 6.93±0.54, 7.93±0.18, 7.60±0.08 และ 7.52±0.10 เซนติเมตร ตามลำดับ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 10 กุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ ที่ร้อยละ 0 มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด ที่ 10.11±0.28 เซนติเมตร รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ ที่ร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 มีความยาวเฉลี่ยที่ 8.60±0.00, 8.29±0.20, 8.45±0.18, 8.54±0.00 และ 8.65±0.39 เซนติเมตร ($P<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 12 ความยาวเฉลี่ยของกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 มีค่ามากที่สุด ที่ 12.27±0.84 เซนติเมตร รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12, 18 และ 30 มีความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 9.79±0.09, 9.11±0.25, 9.13±0.19 และ 9.13±0.19 เซนติเมตร ตามลำดับ สุดท้ายเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 24 มีความยาวเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 8.89±0.11 เซนติเมตร

ตารางที่ 4 Weight (g) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis* within 12 weeks of the culture

Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0	0.11±0.00^{a}	0.12±0.00^{a}	0.12±0.00^{a}	0.12±0.01^{a}	0.12±0.00^{a}	0.12±0.01^{a}
2	0.59±0.01^{c}	0.46±0.02^{b}	0.40±0.02^{a}	0.40±0.02^{a}	0.38±0.01^{a}	0.38±0.02^{a}
4	1.76±0.02^{b}	1.16±0.03^{a}	1.02±0.15^{a}	1.11±0.02^{a}	1.16±0.08^{a}	1.02±0.07^{a}
6	4.28±0.24^{b}	2.56±0.13^{a}	2.48±0.17^{a}	2.31±0.14^{a}	2.42±0.10^{a}	2.16±0.28^{a}
8	7.25±0.43^{c}	5.04±0.35^{b}	3.57±0.29^{a}	3.70±0.03^{a}	3.59±0.28^{a}	3.66±0.68^{a}
10	9.44±0.72^{c}	6.73±.0.00^{b}	4.89±0.64^{a}	4.87±0.17^{a}	4.52±0.00^{a}	5.52±0.19^{ab}
12	12.27±0.84^{c}	8.46±0.32^{b}	6.11±0.50^{a}	7.38±0.77^{ab}	6.23±0.48^{ab}	6.29±0.48^{ab}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly (P <0.05) different.

ตารางที่ 5 Length (cm) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis* within 12 weeks of the culture

Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0	2.53±0.09^{a}	2.49±0.04^{a}	2.54±0.05^{ab}	2.73±0.06^{b}	2.65±0.03^{ab}	2.65±0.04^{ab}
2	4.41±0.15^{b}	3.99±0.12^{a}	3.99±0.05^{a}	3.85±0.09^{a}	4.04±0.13^{a}	3.95±0.12^{a}
4	5.91±0.07^{b}	5.28±0.07^{a}	5.23±0.16^{a}	5.24±0.08^{a}	5.33±0.18^{a}	5.12±0.13^{a}
6	6.67±0.44^{a}	6.10±0.15^{a}	6.93±0.54^{a}	6.33±0.33^{a}	6.30±0.15^{a}	6.53±0.52^{a}
8	9.46±0.27^{c}	8.56±0.06^{b}	7.41±0.31^{a}	7.93±0.18^{ab}	7.60±0.08^{a}	7.52±0.10^{a}
10	10.11±0.28^{b}	8.60±0.00^{a}	8.29±0.20^{a}	8.45±0.18^{a}	8.54±0.00^{a}	8.65±0.39^{a}
12	10.97±0.27^{c}	9.79±0.09^{b}	9.11±0.25^{ab}	9.13±0.19^{ab}	8.89±0.11^{a}	9.13±0.19^{ab}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly (P <0.05) different.

4.4. อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาว

4.4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

ตลอดการทดลองเลี้ยงกุ้งด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับต่างเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าในแต่ละชุดการทดลอง กุ้งมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงสัปดาห์ที่แตกต่างกัน ในช่วงสัปดาห์ที่ 0-8 พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยในแต่ละช่วงการทดลองมากที่สุด ดังตารางที่ 6 โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 0-2 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.47±0.01 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคับยิ่ง ($P<0.05$) กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยรองลงมา และกลุ่มสุดท้ายเป็นกุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 12, 18, 24 และ 30 โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 0.28±0.02, 0.28±0.01, 0.26±0.01 และ 0.26±0.01 กรัม ตามลำดับ ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-6 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยมากที่สุด ($P<0.05$) โดยที่สัปดาห์ที่ 2-4 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 1.17±0.02 กรัม ส่วนกุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 12, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 0.70±0.04, 0.76±0.05, 0.72±0.04, 0.79±0.08 และ 0.64±0.06 กรัม ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 2.52±0.23 กรัม รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 1.40±0.15, 1.46±0.08, 1.20±0.12, 1.25±0.04 และ 1.14±0.21 กรัม ตามลำดับ ในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 กุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยมากที่สุดที่ 2.97±0.51 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันกับกุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 2.15±0.28 กรัม แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 18, 24 และ 30 โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 1.09±0.45, 1.39±0.15, 1.31±0.13 และ 1.37±0.29 กรัม ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 8-12 พบว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยที่สัปดาห์ที่ 8-10 กุ้งที่มีน้ำหนักมากที่สุดคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 2.19±0.32 กรัม รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.76±0.28, 1.31±0.35, 1.16±0.16, 1.12±0.09 และ 1.85±0.49 กรัม ตามลำดับ ส่วนสัปดาห์ที่ 10-12 กุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 3.07±1.02 กรัม รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้อาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0, 12, 18, 24 และ 30 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 2.83±0.13, 1.81±0.33, 2.51±0.91, 1.97±0.73 และ 2.24±0.69 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 6 Weight gain (g) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*

Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0-2	0.47±0.01^{c}	0.34±0.02^{b}	0.28±0.02^{a}	0.28±0.01^{a}	0.26±0.01^{a}	0.26±0.01^{a}
2-4	1.17±0.02^{b}	0.70±0.04^{a}	0.76±0.05^{a}	0.72±0.04^{a}	0.79±0.08^{a}	0.64±0.06^{a}
4-6	2.52±0.23^{b}	1.40±0.15^{a}	1.46±0.08^{a}	1.20±0.12^{a}	1.25±0.04^{a}	1.14±0.21^{a}
6-8	2.97±0.51^{b}	2.15±0.28^{ab}	1.09±0.45^{a}	1.39±0.15^{a}	1.31±0.13^{a}	1.37±0.29^{a}
8-10	2.19±0.32^{a}	1.76±0.28^{a}	1.31±0.35^{a}	1.16±0.16^{a}	1.12±0.09^{a}	1.85±0.49^{a}
10-12	2.83±0.13^{a}	3.07±1.02^{a}	1.81±0.33^{a}	2.51±0.91^{a}	1.97±0.73^{a}	2.24±0.69^{a}
0-12	2.03±0.41^{a}	1.57±0.40^{a}	1.12±0.22^{a}	1.21±0.31^{a}	1.12±0.23^{a}	1.25±0.30^{a}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly ($P < 0.05$) different.

4.4.2 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

จากการทดลองเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า แต่ละชุดการทดลองในแต่ละช่วง (ทุก 2 สัปดาห์) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของกุ้งลดลงดังตารางที่ 7 โดยช่วง 0-2 สัปดาห์ กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยสูงที่สุดคือร้อยละ 11.75±0.12 ต่อวัน รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 และ 18 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 9.78±0.31 และ 8.85±0.46 ต่อวัน สุดท้ายเป็นกลุ่มกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 24 และ 30 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยที่ร้อยละ 8.58±0.40, 8.39±0.20 และ 8.12±0.20 ต่อวัน ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 24 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยสูงที่สุดที่ร้อยละ 8.00±0.60 ต่อวัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายร้อยละ 0, 12, 18 และ 30 ที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.84±0.07, 7.57±0.03, 7.41±0.42 และ7.07±0.37 ต่อวัน ตามลำดับ สุดท้ายเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยน้อยที่สุด ($P<0.05$) และในช่วงสัปดาห์ที่ 4-12 ในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยที่สัปดาห์ที่ 4-6 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุดคือร้อยละ 6.47±0.70 ต่อวัน รองลงมาเป็นกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 30, 24 และ 18 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยที่ร้อยละ 6.32±0.36, 5.62±0.50, 5.26±0.44, 5.25±0.23 และ 5.19±0.27 ต่อวัน ตามลำดับ ช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหาร

เสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุดที่ร้อยละ 4.32±0.34 ต่อวัน รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 30, 18, 24 และ 12 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.76±0.60, 3.54±0.74, 3.39±0.43, 3.08±0.18 และ 2.60±1.06 ต่อวันตามลำดับ ช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยสูงที่สุดที่ร้อยละ 3.04±1.10 ต่อวัน รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12, 24, 18 และ 0 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 2.16±0.42, 2.16±0.36, 1.96±0.26, 1.94±0.23 และ 1.87±0.18 ต่อวัน ตามลำดับ ในช่วง 2 สัปดาห์สุดท้ายเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 ที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 3.44±1.55 ต่อวัน รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30, 18, 24, 12 และ 0 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.31±1.59, 2.90±0.93, 2.70±0.98, 2.48±0.13 และ 1.88±0.06 ต่อวัน ตามลำดับ

ตารางที่ 7 Specific growth rate, SGR (%/day) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*

Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0-2	11.75±0.12^{c}	9.78±0.31^{b}	8.58±0.40^{a}	8.85±0.46^{b}	8.39±0.20^{a}	8.12±0.20^{a}
2-4	7.84±0.07^{ab}	6.59±0.32^{a}	7.57±0.03^{ab}	7.41±0.42^{ab}	8.00±0.60^{b}	7.07±0.37^{ab}
4-6	6.32±0.36^{a}	5.62±0.50^{a}	6.47±0.70^{a}	5.19±0.27^{a}	5.25±0.23^{a}	5.26±0.44^{a}
6-8	3.76±0.60^{a}	4.32±0.34^{a}	2.60±1.06^{a}	3.39±0.43^{a}	3.08±0.18^{a}	3.54±0.74^{a}
8-10	1.87±0.18^{a}	2.16±0.42^{a}	2.16±0.36^{a}	1.94±0.23^{a}	1.96±0.26^{a}	3.04±1.10^{a}
10-12	1.88±0.06^{a}	3.44±1.55^{a}	2.48±0.13^{a}	2.90±0.93^{a}	2.70±0.98^{a}	3.31±1.59^{a}
0-12	5.57±1.58^{a}	5.32±1.10^{a}	4.98±1.18^{a}	4.95±1.11^{a}	4.90±1.14^{a}	5.06±0.87^{a}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly (P <0.05) different.

4.4.3 อัตราการกินอาหาร

อัตราการกินอาหารของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 0-2 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 18, 24 และ 30 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยมากที่สุดที่ร้อยละ 16.96±0.39, 16.98±0.95 และ 17.19±0.86 ตามลำดับ รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 และ 12 มีอัตราการกิน

อาหารเฉลี่ยที่ร้อยละ 14.80±0.54 และ 16.02±0.28 สุดท้ายเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่าย ไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ร้อยละ 13.34±0.43 ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 24 และ 30 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยมากที่สุดคือร้อยละ 39.53±6.9 และ 49.41±4.02 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 และ 12 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยร้อยละ 19.96±1.79 และ 25.23±1.25 รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 18 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยที่ร้อยละ 26.57±2.04 สุดท้ายเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยที่ร้อยละ 13.70±0.27 ($P<0.05$) ช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 กุ้งแต่ละชุดการทดลองมีอัตราการกินอาหารที่ลดลงกว่าช่วง 2 สัปดาห์แรก โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยมากที่สุดร้อยละ 6.55±0.56 แต่ไม่มีความแตกต่างกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12 และ 18 ที่มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 5.74±0.58 และ 5.36±0.12 กลุ่มสุดท้ายเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6 และ 24 ซึ่งมีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4.26±0.39, 4.43±0.50 และ 3.84±0.93 ตามลำดับ ($P<0.05$) ช่วงสัปดาห์ 6-8 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 30 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยมากที่สุดคือร้อยละ 16.72±0.79 รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12, 18 และ 24 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.40±0.64, 9.45±0.53, 8.44±0.70, 10.66±0.25 และ 11.76±3.25 ตามลำดับ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 ยังคงมีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยมากที่สุดที่ร้อยละ 18.65±3.22 รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12, 18 และ 24 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4.49±0.29, 5.93±0.25, 6.41±1.11, 6.77±0.36 และ 6.33±0.22 ตามลำดับ ในช่วง 2 สัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยมากที่สุดที่ร้อยละ 13.73±0.72 รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 18 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 6.51±0.47 ถัดมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12 และ 24 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยที่ร้อยละ 5.05±0.77, 6.40±0.55 และ 6.44±1.35 ตามลำดับ และสุดท้ายเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.16±0.12

ตารางที่ 8 Daily feed intake, DFI (%) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*

Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0-2	13.34±0.43^{a}	14.80±0.54^{bc}	16.02±0.28^{ab}	16.96±0.39^{c}	16.98±0.95^{c}	17.19±0.86^{c}
2-4	13.70±0.27^{a}	19.96±1.79^{bc}	25.23±1.25^{bc}	26.57±2.04^{b}	39.53±6.99^{c}	49.41±4.02^{c}
4-6	4.26±0.39^{a}	4.43±0.50^{a}	5.74±0.58^{ab}	5.36±0.12^{ab}	3.84±0.93^{a}	6.55±0.56^{b}
6-8	7.40±0.64^{a}	9.45±0.53^{a}	8.44±0.70^{a}	10.66±0.25^{a}	11.76±3.25^{a}	16.72±0.79^{b}
8-10	4.49±0.29^{a}	5.93±0.25^{a}	6.41±1.11^{a}	6.77±0.36^{a}	6.33±0.22^{a}	18.65±3.22^{b}
10-12	4.16±0.12^{a}	5.05±0.77^{ab}	6.40±0.55^{ab}	6.51±0.47^{b}	6.44±1.35^{ab}	13.73±0.72^{c}
0-12	7.89±1.85^{a}	9.94±2.55^{a}	11.38±3.18^{a}	12.14±3.37^{a}	14.14±5.43^{a}	20.37±6.07^{a}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly (P <0.05) different.

4.4.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของกุ้งขาวแต่ละชุดการทดลองในช่วงการเลี้ยงทั้ง 12 สัปดาห์ พบว่าในช่วง 0-2 สัปดาห์แรกกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 18, 24 และ 30 มีค่า FCR เฉลี่ยสูงที่สุดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ที่ 2.10±0.09, 2.16±0.09, 2.25±0.09 และ 2.34±0.14 รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีค่า FCR เฉลี่ยที่ 1.74±0.03 และกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีค่า FCR ต่ำสุดเฉลี่ยที่ 1.38±0.04 ($P<0.05$) ช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 กุ้งที่มีค่า FCR เฉลี่ยสูงที่สุดคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีค่าอยู่ที่ 7.58±0.63 รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 18 และ 24 มีค่า FCR เฉลี่ยอยู่ที่ 3.90±0.13 และ 5.53±1.11 ถัดมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 และ 12 มีค่า FCR เฉลี่ยอยู่ที่ 3.23±0.18 และ 3.64±0.17 และ FCR มีค่าต่ำสุดเฉลี่ย 1.92±0.04 ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 และ FCR มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 กุ้งที่เลี้ยงอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 30 ซึ่งมีค่า FCR สูงที่สุดที่ 1.33±0.22 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่เลี้ยงกุ้งด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12 และ 18 ซึ่งมีค่า FCR เฉลี่ยอยู่ที่ 0.99±0.20 และ 1.08±0.06 ตามลำดับ สำหรับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6 และ 24 มีค่า FCR อยู่ที่ 1.08±0.06, 0.82±0.04 และ 0.76±0.17 ตามลำดับ ในช่วงสัปดาห์ที่ 6-10 ในแต่ละชุดการทดลอง FCR มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30, 12, 24, 18, 6 และ 0 มีค่า FCR เฉลี่ยอยู่ที่ 5.33±1.21, 4.93±2.08, 3.79±0.82, 3.30±0.37, 2.28±0.19 และ 2.07±0.17 ตามลำดับ แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 30, 12 และ 24 FCR ลดลงโดยมีค่าอยู่ที่ 3.83±0.00, 3.18±0.73 และ 3.32±0.55 ตามลำดับ ขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 18, 6 และ 0 มีค่า FCR เพิ่มขึ้นเป็น 3.60±0.43, 2.90±0.68 และ 2.45±0.26 ตามลำดับ และในช่วง 2 สัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีค่า FCR เฉลี่ยสูงที่สุดที่ 5.59±2.84 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 12, 18 และ 24 มีค่า FCR เฉลี่ยอยู่ที่ 2.23±0.11, 2.60±0.09, 2.64±0.60 และ 2.56±0.40 ตามลำดับ กุ้งที่มีค่า FCR เฉลี่ยน้อยที่สุดคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีค่า FCR เฉลี่ยอยู่ที่ 1.75±0.53

ตารางที่ 9 Feed conversion ratio of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*

Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0-2	1.38±0.04^{a}	1.74±0.03^{b}	2.10±0.09^{c}	2.16±0.09^{c}	2.25±0.09^{c}	2.34±0.14^{c}
2-4	1.92±0.04^{a}	3.23±0.18^{ab}	3.64±0.17^{ab}	3.90±0.13^{bc}	5.53±1.11^{c}	7.58±0.63^{d}
4-6	0.72±0.03^{a}	0.82±0.04^{a}	0.99±0.20^{ab}	1.08±0.06^{ab}	0.76±0.17^{a}	1.33±0.22^{b}
6-8	2.07±0.17^{a}	2.28±0.19^{a}	4.93±2.08^{a}	3.30±0.37^{a}	3.79±0.82^{a}	5.33±1.21^{a}
8-10	2.45±0.26^{a}	2.90±0.68^{a}	3.18±0.73^{a}	3.60±0.43^{a}	3.32±0.55^{a}	3.83±0.00^{a}
10-12	2.23±0.11^{ab}	1.75±0.53^{a}	2.60±0.09^{ab}	2.64±0.60^{ab}	2.56±0.40^{ab}	5.59±2.84^{b}
0-12	1.80±0.26^{a}	2.12±0.36^{a}	2.91±0.55^{ab}	2.78±0.43^{ab}	3.04±0.66^{ab}	4.33±0.94^{b}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly (P <0.05) different.

4.4.5 อัตราการรอดตาย

จากการทดลองเลี้ยงกุ้งขาวด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลองอัตราการรอดตายของกุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 และ 30 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 87.33±2.40, 89.33±4.06, 93.33±3.53, 90.00±3.06, 94.67±1.76 และ 94.00±2.00 ตามลำดับ ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0, 6 และ 12 มีอัตราการรอดตายมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 78.65±1.23, 80.79±10.33 และ 79.69±13.78 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 18 มีอัตรารอดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 64.87±6.64 ถัดมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 24 มีอัตรารอดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 42.88±6.61 ส่วนกุ้งที่มีอัตราการรอดตายต่ำที่สุดคือกลุ่มกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 อยู่ที่ร้อยละ 34.86±3.14 อัตรารอดตายในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 24 แตกต่างจากกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12 มีอัตรารอดลดลงจากช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเลี้ยง ในขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 18, 24 และ 30 มีอัตรารอดตายเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตรารอดในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 และ 30 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 62.38±10.42, 70.89±9.38, 64.96±4.87, 81.53±0.97, 76.42±3.01 และ 70.40±7.98 ในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 บาง

ชุดการทดลองมีการตายลดลงจากช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเลี้ยง แต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกุ้งที่มีอัตราการรอดตายสูงที่สุดคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 และ 30 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 71.05±14.96, 62.85±3.99, 86.51±7.05, 69.79±5.12, 80.94±5.75 และ 81.67±6.31 ในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 กุ้งที่มีอัตราการรอดตายสูงที่สุดคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 92.31±7.69 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 24 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 85.29±14.71 รองลงมาเป็นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 12 และ 18 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยร้อยละ 64.82±3.78, 64.03±4.24 และ 69.49±2.99 สุดท้ายคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 ที่มีอัตราการรอดตายต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 56.82±6.82 ในช่วงสัปดาห์ที่ 10-12 ซึ่งเป็นช่วง 2 สัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง กุ้งแต่ละชุดการทดลองมีอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 และ 30 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 93.64±3.19, 95.00±5.00, 88.24±11.76, 80.05±12.06, 95.83±4.17 และ 85.71±14.29 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 Survival rate (%) of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*

Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0-2	87.33±2.40^{a}	89.33±4.06^{a}	93.33±3.53^{a}	90.00±3.06^{a}	94.67±1.76^{a}	94.00±2.00^{a}
2-4	78.65±1.23^{c}	80.79±10.33^{c}	79.69±13.78^{c}	64.87±6.64^{bc}	42.88±6.61^{ab}	34.86±3.14^{a}
4-6	62.38±10.42^{a}	70.89±9.38^{a}	64.96±4.87^{a}	81.53±0.97^{a}	76.42±3.01^{a}	70.40±7.98^{a}
6-8	71.05±14.96^{a}	62.85±3.99^{a}	86.51±7.05^{a}	69.79±5.12^{a}	80.94±5.75^{a}	81.67±6.31^{a}
8-10	64.82±3.78^{ab}	92.31±7.69^{c}	64.03±4.24^{ab}	69.49±2.99^{ab}	85.29±14.71^{bc}	56.82±6.82^{a}
10-12	93.64±3.19^{a}	95.00±5.00^{a}	88.24±11.76^{a}	80.05±12.06^{a}	95.83±4.17^{a}	85.71±14.29^{a}
0-12	76.31±5.10^{a}	81.86±5.23^{a}	79.46±5.06^{a}	75.95±3.86^{a}	79.34±7.92^{a}	70.58±8.88^{a}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly ($P < 0.05$) different.

4.4.6 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

จากการทดลองการเลี้ยงกุ้งด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ระดับต่างๆ พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุดในช่วงสัปดาห์ที่ 0-4 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ระดับอื่น โดยมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 1.77±0.05 ในสัปดาห์ที่ 0-2 และ 1.27±0.03 ในสัปดาห์ที่ 2-4 ($P<0.05$) แม้ว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 4-8 กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 จะมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุดเช่นกัน แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12 และ 18 และกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 12, 18 และ 24 ในสัปดาห์ที่ 6-8 ส่วนในช่วงสัปดาห์ที่ 8-10 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของกุ้งในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน และในช่วงสัปดาห์ที่ 10-12 ของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุด

ตารางที่ 11 Protein Efficiency Ratio of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis*

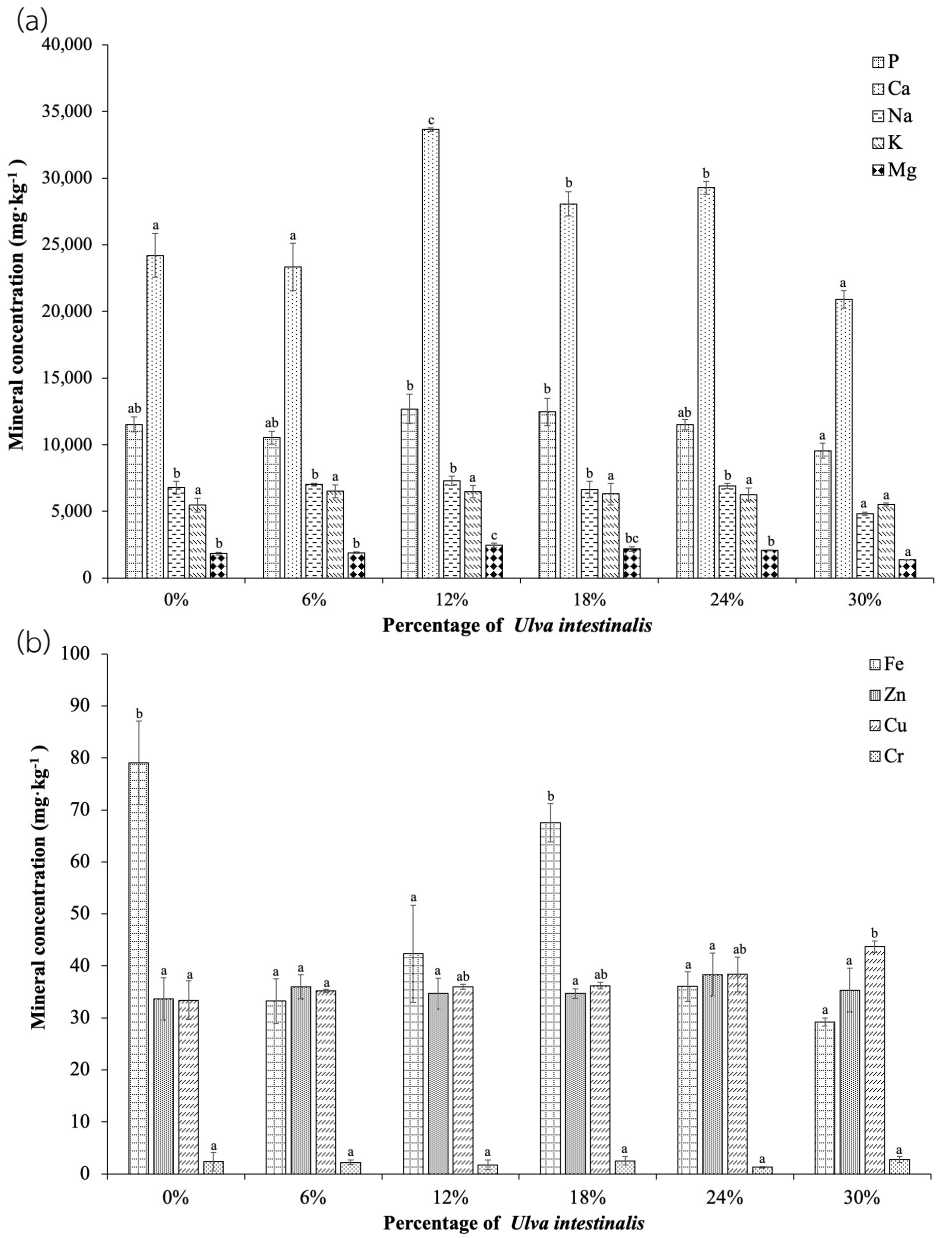
Weeks	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
0-2	1.77 ± 0.05^{c}	1.40 ± 0.02^{b}	1.16 ± 0.05^{a}	1.13 ± 0.05^{a}	1.09 ± 0.04^{a}	1.04 ± 0.06^{a}
2-4	1.27 ± 0.03^{d}	0.76 ± 0.04^{c}	0.67 ± 0.03^{c}	0.62 ± 0.02^{c}	0.48 ± 0.09^{b}	0.32 ± 0.03^{a}
4-6	3.43 ± 0.16^{bc}	2.97 ± 0.14^{abc}	2.65 ± 0.50^{abc}	2.26 ± 0.13^{ab}	3.50 ± 0.64^{c}	1.89 ± 0.28^{a}
6-8	1.19 ± 0.10^{b}	1.08 ± 0.10^{b}	0.73 ± 0.31^{ab}	0.75 ± 0.08^{ab}	0.70 ± 0.13^{ab}	0.50 ± 0.12^{a}
8-10	1.02 ± 0.11^{a}	0.89 ± 0.21^{a}	0.88 ± 0.25^{a}	0.69 ± 0.08^{a}	0.76 ± 0.13^{a}	0.42 ± 0.21^{a}
10-12	2.44 ± 0.00^{c}	2.44 ± 0.00^{bc}	2.43 ± 0.00^{b}	2.43 ± 0.00^{b}	2.44 ± 0.00^{c}	2.41 ± 0.00^{a}
0-12	1.85 ± 0.38^{a}	1.59 ± 0.37^{a}	1.42 ± 0.36^{a}	1.31 ± 0.33^{a}	1.49 ± 0.49^{a}	1.10 ± 0.35^{a}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly ($P<0.05$) different.

4.5. แร่ธาตุบางชนิดในกุ้ง

ผลการตรวจวัดปริมาณแร่ธาตุในตัวกุ้งที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายไส้ไก่ที่ระดับต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นของแร่ธาตุทั้ง 8 ชนิดได้แก่ สังกะสี โครเมียม โซเดียม และ โพแทสเซียม ในตัวกุ้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และในบรรดาแร่ธาตุที่เหลือพบว่าธาตุเหล็กมีความเข้มข้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด การให้อาหารที่มีสาหร่ายดูเหมือนจะลดธาตุเหล็กในตัวกุ้งทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงในชุดควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกุ้งในกลุ่ม

ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุมและกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายร้อยละ 18 และผลการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในกุ้งพบว่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อให้อาหารเสริมสาหร่ายร้อยละ 6 แต่ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกุ้งกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายร้อยละ 12-24 จากนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึงระดับเดียวกับกลุ่มควบคุมเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายร้อยละ 30 ในส่วนของปริมาณแร่ธาตุ ฟอสฟอรัส และ ทองแดง มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละชุดการทดลอง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0



ภาพที่ 2 Mineral content in whole shrimp *Litopenaeus vannamei* fed diets with different percentages of *Ulva intestinalis.* Different letters above bars indicate significant ($P < 0.05$) difference between treatments. Error bars represent SE.

4.6. การวิเคราะห์คุณภาพซากของกุ้งขาว

จากการวิเคราะห์คุณภาพซากของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์พบว่าปริมาณโปรตีน ความชื้น และเถ้า ในกุ้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.05$) ปริมาณโปรตีน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 65.68-69.70 ปริมาณความชื้นร้อยละ 10.36-7.29

และปริมาณเถ้าร้อยละ 12.87-10.89 อย่างไรก็ตาม คุณภาพซากยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าแปรเปลี่ยนตามปริมาณที่เพิ่มของของสาหร่ายไส้ไก่ในแต่ละสูตรอาหารหรือไม่ ตัวอย่างเช่น ปริมาณโปรตีนดูเหมือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละส่วนผสมของสาหร่ายไส้ไก่ในอาหารเพิ่มขึ้น แต่อาหารกุ้งที่มีร้อยละสาหร่ายไส้ไก่สูงสุดแสดงปริมาณ โปรตีนในกุ้งที่ไม่แตกต่างกับปริมาณโปรตีนที่พบในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุม (สาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0)

ตารางที่ 12 The whole shrimp body and muscle composition of Pacific white shrimp with different percentages of *Ulva intestinalis*

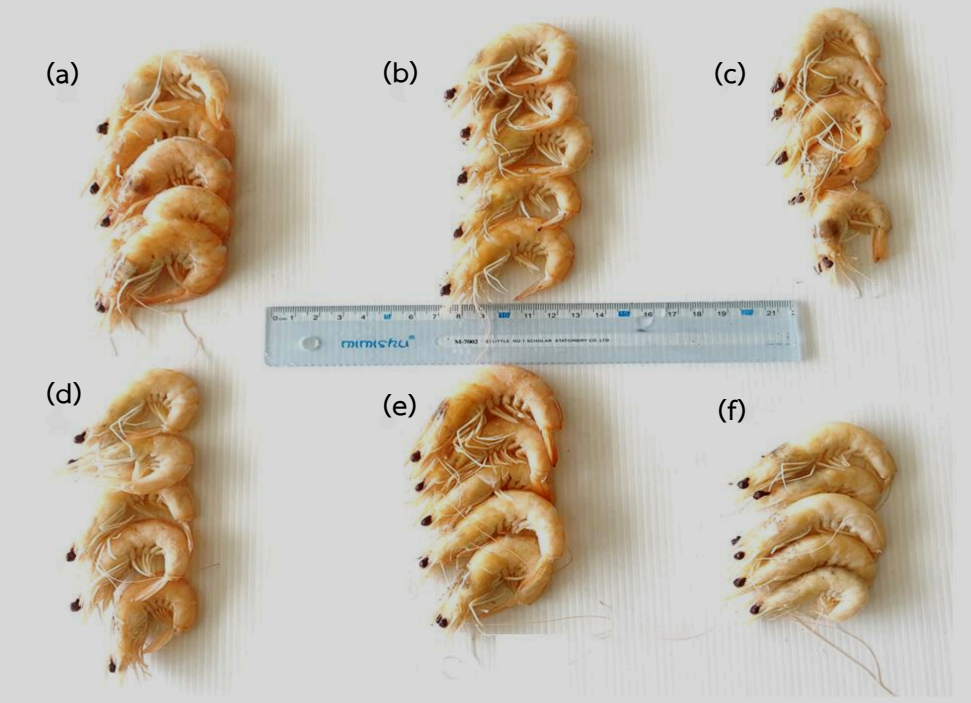
Proximate analysis (%, dry weight)	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
Protein	69.01±0.65^{bc}	65.68±1.60^{a}	66.57±2.65^{ab}	69.70±0.85^{c}	68.84±1.16^{bc}	69.12±1.17^{bc}
Lipid	3.20±0.29^{a}	2.81±0.09^{a}	3.06±0.75^{a}	2.83±0.10^{a}	3.09±0.43^{a}	3.15±0.22^{a}
Fiber	6.80±0.31^{a}	6.53±0.22^{a}	6.62±0.19^{a}	6.76±0.11^{a}	6.80±0.07^{a}	6.71±0.10^{a}
Moisture	9.72±0.32^{d}	10.36±0.36^{e}	7.77±0.07^{ab}	8.86±0.29^{c}	8.17±0.11^{b}	7.29±0.39^{a}
Ash	11.47±0.04^{b}	12.03±0.03^{c}	12.87±0.09^{f}	12.25±0.19^{d}	12.58±0.03^{e}	10.89±0.12^{a}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly (P<0.05) different.

4.7. ความเข้มสีของกุ้งต้ม

หลังสิ้นสุดการทดลอง กุ้งแต่ละชุดการทดลองถูกนำมาตรวจวัดสีด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter lab รุ่น MiniScan EZ พบว่าค่า L* (ความสว่าง) ของกุ้งแต่ละการชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24, 30 มีค่า L* ที่ 70.80±0.58, 70.60±1.40, 69.80±0.37, 69.40±0.68, 67.40±1.81 และ 70.60±1.17 ตามลำดับ ในส่วนของค่า a* (สีแดง) ของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 มีค่า a* เฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 16.00±1.58 แต่ค่า a* ลดลงมาอยู่ที่ 11.00±1.05, 9.60±1.40, 7.80±1.07, 7.80±0.37 และ 4.80±0.49 เมื่อเลี้ยงกุ้งด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 24, 12, 18 และ 30 ตามลำดับ ค่า a* ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ยกเว้นกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ระหว่างร้อยละ 12 และ 18 และระหว่างร้อยละ 6 และ 24 (P<0.05) ในส่วนของค่า b* (สีเหลือง) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 6, 24, 0, 12, 18 และ 30 มีค่า b* เฉลี่ยอยู่ที่ 19.40±1.08, 17.60±0.25, 17.00±2.35, 16.80±1.07,

16.40±0.40 และ 15.20±0.74 ตามลำดับ ค่า b* เฉลี่ยสูงสุดในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 และเฉลี่ยต่ำสุดในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 30 ค่า b* ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0, 12, 18 และ 24 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่แตกต่างกับในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 และ 30 อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)



ภาพที่ 3 Color of cooked shrimp *Litopenaeus vannamei* fed diets with different percentages of *Ulva intestinalis*: (a) 0%; (b) 6%; (c) 12%; (d) 18%; (e) 24%; (f) 30%

ตารางที่ 13 Color measurements of cooked shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed with different percentages of *Ulva intestinalis*

Colorimeter	*U. intestinalis* (%)					
	0	6	12	18	24	30
L*	70.80±0.58^{a}	70.60±1.40^{a}	69.80±0.37^{a}	69.40±0.68^{a}	67.40±1.81^{a}	70.60±1.17^{a}
a*	16.00±1.58^{c}	11.00±1.05^{b}	7.80±1.07^{ab}	7.80±0.37^{ab}	9.60±1.40^{b}	4.80±0.49^{a}
b*	17.00±2.35^{ab}	19.40±1.08^{b}	16.80±1.07^{ab}	16.40±0.40^{ab}	17.60±0.25^{ab}	15.20±0.74^{a}

Note: values are mean±SE of three replications; means within each row superscripted with different lowercase letters are significantly (P<0.05) different.

4.8. คุณภาพน้ำ

จากตารางที่ 14 คุณภาพน้ำเฉลี่ยใน 1 อาทิตย์ตลอดการเลี้ยงกุ้ง 12 สัปดาห์ โดยตลอดการเลี้ยงมีการดูดตะกอนทุกวันก่อนให้อาหาร พบว่าค่า อุณหภูมิ (Temperature) ความเค็ม(Salinity) ออกซิเจนละลาย (DO) พีเอช (pH) และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Total NH_3-N) พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการเลี้ยง ยกเว้นค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ในช่วงกลางสัปดาห์ จะมีค่ามากกว่าในช่วงสุดท้ายสัปดาห์ก่อนวันเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ตารางที่ 14 Water quality of Pacific white shrimp fed with different percentages of *Ulva intestinalis* within 12 weeks of the culture.

Water Quality											
U. intestinalis (%)	Temperature (°C)		Salinity (psu)		DO (mg/L)		pH		Alkalinity (mg/L)		Total NH_3 (mg-N/L)
	Mid	Late	Mid	Late	Mid	Late	Mid	Late	Mid	Late	
0	28.0±0.7	28.0±0.4	15.1±0.3	15.6±0.6	6.5±0.3	6.7±0.7	7.6±0.2	7.8±0.1	74.2±3.5	54.7±3.7	0.30±0.05
6	28.1±0.6	27.9±0.5	15.1±0.3	15.6±0.8	6.5±0.3	6.5±0.3	7.6±0.2	7.9±0.1	75.3±4.2	54.8±4.1	0.29±0.04
12	28.0±0.7	28.0±0.5	15.2±0.3	15.4±0.6	6.5±0.3	6.6±0.5	7.6±0.2	7.9±0.1	74.5±4.9	54.3±3.6	0.30±0.03
18	28.2±0.6	27.9±0.4	15.3±0.3	15.5±0.6	6.5±0.3	6.5±0.3	7.5±0.2	7.9±0.1	75.4±4.7	54.9±3.8	0.29±0.06
24	28.0±0.6	27.9±0.5	15.4±0.3	15.4±0.5	6.5±0.2	6.6±0.3	7.6±0.2	7.9±0.1	75.1±4.6	54.5±3.2	0.31±0.05
30	28.0±0.6	27.9±0.4	15.4±0.3	15.4±0.6	6.5±0.3	6.4±0.3	7.6±0.2	7.9±0.1	75.2±4.3	54.4±3.7	0.29±0.04

Note: Mid = Middle of the week before the water exchange; Late = Late of the week before the water exchange.

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการศึกษา

5.1. แร่ธาตุบางชนิดในอาหารทดลอง

ปริมาณแร่ธาตุบางชนิดที่ตรวจพบในสาหร่ายไส้ไก่ในการศึกษาครั้งนี้ ชี้ให้เห็นคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไส้ไก่ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมจากธรรมชาติ แร่ธาตุฟอสฟอรัส สังกะสี เหล็ก โครเมียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และ โพแทสเซียม มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายในอาหารทดลอง โดยมีปริมาณแร่ธาตุ แคลเซียม>ฟอสฟอรัส>โซเดียม>โพแทสเซียม>แมกนีเซียม>เหล็ก>สังกะสี>ทองแดง>โครเมียม>แคดเมียม และแคดเมียมที่ตรวจพบในอาหารทดลองมีปริมาณเล็กน้อย (0.53±0.07-0.67±0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สำหรับแร่ธาตุตะกั่วที่พบในสาหร่าย แต่ไม่พบในอาหารทดลอง อาจอธิบายได้จากสัดส่วนสาหร่ายที่ผสมในอาหารทดลองมีปริมาณน้อย ตัวอย่างสาหร่ายไส้ไก่ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้รวบรวมมาจากอ่าวปัตตานีซึ่งเป็นลักษณะอ่าวแบบกึ่งปิดและตรวจไม่พบการปนเปื้อนตะกั่ว และจากมาตรฐานยุโรป การปนเปื้อนระดับสูงสุดของแคดเมียมและตะกั่วในอาหารสัตว์กำหนดไว้ที่ 1 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (European Commission, 2015) อย่างไรก็ตามการสะสมของปริมาณโลหะหนักอาจส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระดับที่สูงขึ้นได้ในอนาคต (Rai *et al*., 2019)

จากรายงานเกี่ยวกับแหล่งโปรตีนจากพืชที่นำมาใช้ในอาหารสัตว์ พบว่ามีสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำจำพวกไฟเทต (Phytate) ที่ส่งผลให้การดูดซึมสังกะสีลดลง (Gatlin and Phillips, 1989; Ma *et al*., 2014; Chen *et al*., 2014) อีกทั้งยังมีกรดอินทรีย์ที่สามารถช่วยเสริมการดูดซึมฟอสฟอรัส โดยที่แคลเซียมเป็นตัวลดปฏิสัมพันธ์ที่ไม่เข้ากันของธาตุทั้ง 2 ชนิด (Sugiura *et al*., 1998) ซึ่ง Bautista and Baticados (1989) แนะนำว่าความต้องการแร่ธาตุของกุ้งควรมีอัตราส่วน Ca:P ในอาหารที่ 1:1 อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ ในอาหารทดลองพบว่ามีสัดส่วน Ca:P ที่ 2:1 เนื่องจากแร่ธาตุทั้งสองมีอยู่ในสาหร่ายและเป็นไปตามคุณภาพของสาหร่าย และสำหรับแร่ธาตุหลักแนะนำให้ใช้แมกนีเซียมที่สมดุลในอาหารกุ้ง ในอัตราส่วน Mg:Ca ที่ 3:1 (NRC, 2011) ในขณะที่การศึกษานี้ อัตราส่วน Mg:Ca มีค่าสูงสุดในอาหารที่เสริมสาหร่ายที่ร้อยละ 0 เท่ากับ 16:1 Kanazawa *et al*. (1984) รายงานว่าน้ำหนักของกุ้งวัยอ่อน (*Penaeus japonicus*) ลดลงเมื่อเพิ่มแร่ธาตุเหล็กในอาหาร ซึ่งการเจริญเติบโตของกุ้งถูกยับยั้ง เมื่อในอาหารมีเหล็กมากกว่าร้อยละ 0.007 สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ การเพิ่มปริมาณ *Ulva* ในอาหารทดลองสามารถเพิ่มแร่ธาตุบางอย่างได้ แต่ทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตลดลง อย่างไรก็ตาม Hua *et al*. (2019) กล่าวว่าสาหร่ายขนาดใหญ่ยังคงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ในสัดส่วนต่ำ และสาร ulvan ที่มีอยู่ในสาหร่ายสามารถเพิ่มการบริโภคโปรตีนทางอ้อมได้

5.2. การเจริญเติบโตและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*

การใช้สาหร่ายไส้ไก่ผสมในอาหารกุ้งขาว PL30 พบว่ามีประสิทธิภาพส่งเสริมการเจริญเติบโตและการใช้อาหารได้น้อยกว่าอาหารสูตรควบคุมที่ไม่มีส่วนผสมสาหร่ายไส้ไก่ ผลการศึกษานี้ตรงข้ามกับรายงานก่อนหน้านี้ในกุ้งสายพันธุ์เดียวกัน (มนทกานติและคณะ, 2559; Qiu *et al*., 2018; Rodriguez-Gonzalez *et al*., 2014) และในกุ้ง Penaeus อื่นๆ (Serrano and Tumbokon, 2015) ตัวอย่างเช่น Qiu *et al*. (2018) รายงานการประเมินการใช้ *Ulva* sp. ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารเชิงพาณิชย์สำหรับเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) พบว่าอาหารกุ้งที่มีส่วนผสมสาหร่ายป่น สามารถแทนที่ปลาป่นได้ถึงร้อยละ 8 โดยที่อัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Weight gain) ร้อยละ 1830.9 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ที่ 1.83 และอัตราการรอดตายอยู่ที่ร้อยละ 88.6 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (ไม่มีสาหร่าย) ในขณะที่ปริมาณส่วนผสมสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งที่เลี้ยงมีค่าลดลงตามไปด้วย ($P<0.05$) Rodriguez-Gonzalez *et al*. (2014) รายงานว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีส่วนผสมสาหร่าย *Ulva lactuca* ในปริมาณร้อยละ 5-15 พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสาหร่ายร้อยละ 5 มีน้ำหนักสุดท้าย 12.49±1.22 กรัม โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 11.39±1.22 กรัม และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะร้อยละ 3.23±0.12 ต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายที่ร้อยละ 10 และ 15 ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีสาหร่าย ($P>0.05$) Cardenas *et al*. (2015) แนะนำว่าในอาหารสำหรับกุ้งขาว ที่ผสมสาหร่ายป่น *Ulva* ร้อยละ 4 ทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ดีที่สุดร้อยละ 3.23±0.02 ต่อวัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายที่ร้อยละ 0 และ 8 (3.03±0.17และ 3.30±0.41) ขณะที่การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อน้อยที่สุดอยู่ที่ 1.77±0.02 ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายร้อยละ 4 ซึ่งไม่แตกต่างกันกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายที่ร้อยละ 0 (1.91±0.05) และ 8 (1.92±0.30) โดยมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุด 1.86±0.02 ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายร้อยละ 4 และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่แตกต่างกันกับกุ้งกลุ่มที่เหลือ โดยอัตรารอดของกุ้งอยู่ในช่วงร้อยละ 55.56-84.4 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม Cruz-Suarez *et al*. (2009) กล่าวว่าอาหารเลี้ยงกุ้งขาวที่ผสมสาหร่ายสีเขียวป่น *Ulva clathrata* ที่ร้อยละ 3.3 ให้ประสิทธิภาพที่ดี (FE ที่ 5.50 FCR ที่ 1.73 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ที่ 203 PER ที่ 1.99) เมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสาหร่ายสีน้ำตาล (*Macrocystis pyrifera* และ *Ascophyllum nudosum*) และมีอัตรารอดที่ร้อยละ 95

ผลการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Felix and Brindo (2014) ซึ่งรายงานว่าการใช้สาหร่าย *Ulva lactuca* ในปริมาณที่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 20 และ 30 มีผลทำให้ลดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในกุ้งกล้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii* โดยมีน้ำหนักที่

เพิ่มขึ้น 1.86±0.33, 1.35±0.21, 1.13±0.12 และ 0.95±0.07 กรัม ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 1.47±0.01, 1.11±0.05, 0.98±0.04 และ 0.84±0.00 ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน 0.78±0.01, 0.53±0.04, 0.45±0.01 และ 0.38±0.00 ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.74±0.03, 2.17±0.03, 2.33±0.07 และ 2.38±0.00 ค่าอัตราการกินอาหาร 3.25±0.00, 2.9±0.05, 2.48±0.01 และ 2.15±0.02 กรัม ตามลำดับ และอัตรารอดอยู่ที่ร้อยละ 95 ถึง 100 ในการศึกษาครั้งนี้ การลดลงของการเจริญเติบโตของกุ้งขาว อธิบายได้จากวัตถุดิบที่ใช้จากพืชเป็นส่วนผสมในอาหาร สัตว์จะถูกจำกัดโดยการมีอยู่ของสารต้านโภชนาการที่หลากหลาย เช่น ซาโปนิน (saponins) แทนนิน (tannins) กรดไฟติก (phytic acid) (Guillaume and Choubert, 2001) แม้ว่าจะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับสารเหล่านี้ในสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis*) อย่างไรก็ตาม Azaza *et al*. (2008) รายงานว่าใน *Ulva rigida* มีสารต่อต้านสารอาหารเช่นซาโปนินร้อยละ 1.13 แทนนินร้อยละ 0.61 และกรดไฟติกร้อยละ 0.47 นอกจากนี้ Oliveira *et al.* (2009) ยังตั้งข้อกังวลว่าสารต้านสารอาหารและ/หรือสารประกอบที่เป็นพิษ เช่น ทริปซิน (trypsin) และสารยับยั้งแอลฟา-อะไมเลส (**α**-amylase inhibitors) สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol compounds) แทนนิน (tannins) เลกติน (lectins) กรดไฟติก (phytic acid) และสารปนเปื้อนที่เป็นพิษ (toxic contaminants) จำพวกโลหะหนักในสาหร่ายอาจส่งผลให้ความพร้อมของสารอาหารลดลงในอาหารที่ผสมกับสาหร่ายทะเล

หลักฐานเพิ่มเติมสำหรับผลเสียของการเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในอาหารเลี้ยงกุ้งพบได้ในอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) โดยที่ FCR ของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายมีค่าสูงกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม สิ่งนี้อธิบายได้จากการมีอยู่ของสารต่อต้านโภชนาการในสาหร่าย และที่น่าสังเกตในการศึกษานี้อัตราการเติบโตของกุ้งสูงกว่าที่เคยมีรายงานดังกล่าว (เช่น Rodriguez-Gonzalez *et al*. (2014) และ Qiu *et al*. (2018)) และอาจเนื่องมาจากระยะต่างๆ ของกุ้งที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกัน ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ใช้กุ้งระยะ post larva-30 ในขณะที่รายงานเหล่านี้ใช้กุ้งขนาดวัยรุ่น juveniles นอกจากนี้ ในทางตรงข้ามกับกุ้ง *Penaeus* ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ (*U. intestinalis*) ร้อยละ 13.9-14.7 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่จะเพิ่มในอาหารของ *Penaeus monodon* ในระยะ Post-larva โดยให้การเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น (Serrano and Tumbokon, 2015) ในการศึกษานี้ แม้ว่าการเจริญเติบโตจะลดลงในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ แต่ไม่มีผลต่ออัตราการรอดตายของกุ้งขาวและกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายในระดับต่างๆ ซึ่งแนวโน้มมีอัตรารอดตายมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่เสริมสาหร่าย ในการศึกษาครั้งนี้กุ้งมีสุขภาพที่ดีเมื่อมองจากภายนอกโดยปราศจากเชื้อก่อโรคและมีพฤติกรรมที่กระฉับกระเฉง ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่าการเลี้ยงกุ้งขาวชนิดนี้ด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไม่มีผลทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลง เห็นได้จากปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าน้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งดีทำให้กุ้งมีสุขภาพดี ดังเช่น Appelbaum *et al*. (2002) กล่าวไว้ว่าน้ำที่ปราศจากมลพิษและ

เชื้อโรคในทะเลมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้โดย Yang *et al*. (2018) ที่เลี้ยงกุ้งขาววัยรุ่นด้วยอาหารที่เสริมด้วยสาหร่ายขนาดใหญ่ (*Saccharina japonica*, *Porphyra dioica*, *Gracilariopsis lemaneiformis*, *Ulva lactuca*, and *Undaria pinnatifida*) ในทำนองเดียวกัน อัตราการรอดชีวิตไม่ได้รับผลกระทบเมื่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ด้วยอาหารผสมสาหร่าย *U. intestinalis* (Serrano and Tumbokon, 2015)

5.3. แร่ธาตุบางชนิดในตัวของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*

ผลของแร่ธาตุที่สะสมในตัวกุ้งขาว ได้ถูกตรวจสอบเพื่อหาเหตุผลและความสามารถในการคาดการณ์ แต่รูปแบบของการสะสมแร่ธาตุมีข้อมูลเพียงเล็กน้อย ในการศึกษาครั้งนี้ รูปแบบของแร่ธาตุที่พบคือ แคลเซียม>ฟอสฟอรัส>โซเดียม>โพแทสเซียม>แมกนีเซียม>เหล็ก>สังกะสี>ทองแดง>โครเมียม มีรูปแบบคล้ายกันในอาหารทดลอง อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Ambasankar *et al*. (2006) ซึ่งรายงานว่าแคลเซียมและฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุหลักในกุ้ง แคลเซียมพบมากในกุ้งเนื่องจากมีการสะสมในเปลือก ในขณะที่ฟอสฟอรัสและทองแดงเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตองค์ประกอบของร่างกายและค่าภูมิคุ้มกัน แร่ธาตุโพแทสเซียมในส่วน carapace ของกุ้งขาวระยะวัยรุ่นสามารถระบุถึงความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ในการศึกษานี้แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สะสมอยู่ในกุ้งมีแนวโน้มที่เกี่ยวข้องในระบบการเลี้ยง อย่างไรก็ตาม Davis *et al*. (1992) รายงานว่าการขาดแมกนีเซียมแสดงให้เห็นถึงการลดของโพแทสเซียมใน carapace ของกุ้งขาว ซึ่งตรงกันข้ามกับการศึกษานี้ที่พบว่าโพแทสเซียมมากกว่าแมกนีเซียม นอกจากนี้ทองแดงที่พบในตัวกุ้งขาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทีละน้อยตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสาหร่าย

5.4. คุณภาพซากของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าคุณภาพซากของกุ้งขาวใกล้เคียงกันกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Yang *et al*. (2018) ซึ่งรายงานว่าคุณภาพซากของ *Litopenaeus vannamei* มีโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 74.26 หลังจากเลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีสาหร่าย ในขณะที่กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่าย *Ulva lactuca* ที่ร้อยละ 30 มีคุณภาพซากอยู่ที่ร้อยละ 72.02 และยังพบว่าคุณภาพซากของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีสาหร่ายผสม มีไขมัน (ร้อยละ 4.32) สูงกว่าในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายที่ร้อยละ 30 (ร้อยละ 2.19) และในการศึกษาของ Qiu *et al*. (2018) ที่เลี้ยงกุ้ง *Litopenaeus vannamei* ด้วยอาหารเสริมสาหร่ายป่น พบว่าคุณภาพซากของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายที่ร้อยละ 0, 6.35, 12.70, 19.05 และ 25.40 มีค่าโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 72.77, 73.63, 74.27, 72.83 และ 73.11 ตามลำดับ และมีค่าไขมันอยู่ที่ร้อยละ 8.04, 6.12, 5.99 และ 5.09 ในงานวิจัยทั้ง 2 นี้พบว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มี

สาหร่ายเป็นส่วนผสม มีค่าไขมันในตัวกุ้งน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารไม่มีสาหร่าย อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้แม้ว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่มีค่าไขมันน้อยกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม (สาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0) แต่ปริมาณไขมันในซากกุ้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญ ($P>0.05$)

5.5. ความเข้มสีของกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*

สีของกุ้งปรุงสุกเป็นส่วนที่แสดงถึงคุณภาพและลักษณะที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและกระบวนการผลิต เนื่องจากเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อทางเลือกและความชอบของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์กุ้งจะต้องมีลักษณะตรงต่อความต้องการ และลักษณะพิเศษที่ได้รับความนิยมมากคือมีสีแดง (Pathare *et al*., 2013; Sae-leaw *et al*., 2018) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ มีค่าความเข้มสีแดงลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากขนาดของกุ้งในแต่ละชุดการทดลองไม่เท่ากัน ผลการศึกษานี้ตรงกันข้ามการศึกษาของ Cruz-Suarez *et al*. (2009) ซึ่งรายงานว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่าย *Ulva clathrata* ที่ร้อยละ 3.3 หลังจากนำไปปรุงสุกจะมีสีแดงมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่าย *Macrocystis pyrifera* และ *Ascophyllum nodosum* ร้อยละ 3.3

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษา

6.1. สรุปผล

จากการทดลองเลี้ยงกุ้งขาว ด้วยอาหารที่มีสาหร่ายไส้ไก่เป็นวัตถุดิบในระดับที่แตกต่างกัน 6 สูตรคือร้อยละ 0, 6, 12, 18, 24 และ 30 พบว่าสาหร่ายไส้ไก่สามารถเพิ่มปริมาณแร่ธาตุบางชนิดในอาหารกุ้งได้ ในอาหารทดลองที่มีระดับของสาหร่ายไส้ไก่ที่แตกต่างกันมีปริมาณของแร่ธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส สังกะสี เหล็ก โครเมียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และ โพแทสเซียม ที่ปริมาณเพิ่มขึ้นมาจากสาหร่ายไส้ไก่ที่ผสมลงในอาหารเลี้ยงกุ้งขาว เมื่อนำอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ มาเลี้ยงกุ้งขาวในระยะโพสลาวา 30 เป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 สัปดาห์ พบว่าการเจริญเติบโตของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตรควบคุม (ไม่เสริมสาหร่ายไส้ไก่) มีน้ำหนักสุดท้ายและความยาวดีที่สุดอยู่ที่ 12.27±0.84 กรัม และ 10.97±0.27 เซนติเมตร ในส่วนของอัตราการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงของการทดลองพบว่า ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะสูงที่สุดในช่วง 0-10 สัปดาห์ ของกุ้งที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 เพิ่มขึ้นสูงสูดอยู่ที่ 2.97±0.51 ในช่วงสัปดาห์ที่ 6-8 ค่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะในสัปดาห์ที่ 0-2 มีค่าสูงที่สุดที่ 11.75±0.12 ของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 จากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาในการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นในทุกช่วงสัปดาห์ ในส่วนของค่าอัตราการกินอาหารของกุ้งขาว กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่มีค่าอัตราการกินอาหารสูงที่สุด และสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 อยู่ที่ 49.41±4.02 แต่ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 30 มีค่าสูงที่สุด แต่มีการกินอาหารที่มากที่สุด และมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) ในส่วนของอัตรารอดตายแต่ละช่วงสัปดาห์และในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันแต่ในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 6 มีแนวโน้มรอดมากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 0 ในส่วนของคุณภาพซากยังไม่สามารถบอกอย่างชัดเจนได้ว่าสาหร่ายไส่ไก่มีผลต่อคุณภาพซากของกุ้งขาวหรือไม่ แต่ความเข้มข้นของแร่ธาตุบางชนิดในกุ้งขาวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามปริมาณของสาหร่ายไส้ไก่ที่ผสม ในแร่ธาตุแคลเซียมของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 12, 18 และ 24 ที่สูงกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่กลุ่มอื่น และแร่ธาตุเหล็กจะมีค่าสูงที่สุดในกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ร้อยละ 18 ในส่วนของสีกุ้งขาวหลังต้มมีความแตกต่างกันคือมีสีที่แดงที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ที่ร้อยละ 0 กับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ในระดับต่าง ๆ แต่ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากกุ้งมีขนาดที่แตกต่างกันทำให้ความเข้มสีมีความแตกต่างกันไปด้วย คุณภาพน้ำตลอดการทดลองในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันมากเนื่องจากมีการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่เป็นประจำ

6.2. ข้อเสนอแนะ

1) การใช้สาหร่ายไส้ไก่เป็นส่วนผสมในอาหารกุ้งขาวเพื่อการเลี้ยงกุ้ง ควรมีการวิจัยต่อถึงผลของสาหร่ายหร่ายไส้ไก่ต่อสุขภาพของลูกกุ้ง โดยนำกุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายไส้ไก่ไปทดสอบภูมิต้านทานต่อเชื้อก่อโรคในกุ้งขาว เช่น *Vibrio parahaemolyticus* เทียบกับกุ้งที่ไม่ได้รับอาหารผสมสาหร่ายไส้ไก่

2) การใช้สารสกัดจากสาหร่ายไส้ไก่ (Ulvan) เป็นส่วนผสมในอาหารกุ้งขาว เพื่อหลีกเลี่ยงสารบางชนิดที่มีผลทางด้านลบต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาว

3) การวิจัยการสะสมไขมันและปริมาณคอเลสเตอรอลในตัวกุ้งขาว เมื่อกุ้งถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่มีสาหร่ายไส้ไก่เป็นส่วนผสมในอาหาร

บรรณานุกรม

ชลอ ลิ้มสุวรรณ นิติ ชูเชิด สุธี วงศ์มณีประทีป สาธิต ประเสริฐศรี เกศินี หลายสุทธิสาร ปัทมา วิริยพัฒนทรัพย์ จริยาวดี สุริยพันธ์ และ แก้วตา ลิ้มเฮง. 2552. ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*). การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47, กรุงเทพฯ, 17-20 มีนาคม 2552, 337-345.

ดวงใจ พิสุทธิ์ธาราชัย และ ธนากร เหมะสถล. 2560. ผลของการเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลในอาหารต่อปริมาณเม็ดเลือดรวมทั้งหมดและกิจกรรมของเม็ดเลือดในการกลืนกินสิ่งแปลกปลอมของกุ้งขาวแวนนาไม. แก่นเกษตร. 45(4), 645-652.

ทิพวรรณ ไกรวิลาศ. 2552. การปล่อยสปอร์และการเจริญของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤปนาถ โยวะผุย. 2558. ผลของกรดอินทรีย์ เบต้าแคโรทีน และวิตามินอี ต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและการป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus* ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประจวบ หลำอุบล. 2543. อดีต-อนาคตกุ้งไทย. ใน เสวนาวิชาการเรื่องกุ้ง อนันต์ ตันสุตะพานิช ธิดา เพชรมณี ชลอ ลิ้มสุวรรณ สุวิทย์ วุฒิสุทธิเมธาวี บรรจง นิสภวาณิชย์ สถาพร ดิเรกบุษราคม กังวาลย์ จันทรโชติ แขวลี วิบูลย์กิจ และ สิทธิโชค จันทร์ย่อง, บรรณาธิการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 1-66.

ภิญโญ เกียรติภิญโญ. 2545. วิธีปฏิบัติสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว แอล. แวนนาไม. สำนักพิมพ์เมืองเกษตรแม็กกาซีน, สมุทรปราการ

มนทกานติ ท้ามติ้น ชัชวาลี ชัยศรี ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์ จีรรัตน์ เกื้อแก้ว และ นฎา ไล้ทองคำ. 2559. คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) และการประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931). เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2559. กองวิจัยและพัฒนาชายฝั่ง, ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี, หน้า 2.

ระพีพร เรืองช่วย. 2553. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไส้ไก่ *Ulva* (*Enteromorapha*) *intestinalis*. รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

ระพีพร เรืองช่วย. 2560. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลและการใช้ประโยชน์. แผนกวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. หน้า 64-77.

วิทยา รัตนะ. 2549. ผลของความเค็มต่ำและองค์ประกอบของธาตุในน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิพร พรหมขุนทอง วิมล จันทรโรทัย นรินทร์ สงสีจันทร์ และ นพพร มานะจิตต์. 2540. ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. วารสารสงขลานรินทร์. 19(3), 327-335.

แวมารือนี มะดีเยาะ ระพีพร เรืองช่วย และ โชคชัย เหลืองธุวปราณีต. 2560. การเลี้ยงสาหร่ายไส้ไก่, *Ulva intestinalis* แบบสเกลใหญ่ในถังที่แตกต่างกัน. แก่นเกษตร. 45(1), 140-144.

อาริณี มูน๊ะ. 2558. ผลของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่อพฤติกรรมการสืบพันธุ์ของสาหร่ายไส้ไก่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอนก โสภณ สมภพ รุ่งสุภา และ คมกริช เอี่ยมลออ. 2558. การเพิ่มผลผลิตสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ในระบบการเลี้ยงด้วยระบบ Nutrient Film Technique (NFT). วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 9(2), 54-62.

Aguilera-Morales, M., Casas- Valdez, M., Carrillo- Domínguez, S., González-Acosta, B. and Pérez-Gil, F. 2005. Chemical composition and microbiological assays of marine algae Enteromorpha spp. as a potential food source. Journal of Food Composition and Analysis. 18, 79-88.

Akiyama, D.M., Dominy, W.G. and Lawrence, A.L. 1991. Penaeid shrimp nutrition for commercial feed industry. In Proceedings of the Aquaculture and Feed Processing and Nutrition Workshop, Akiyama, D.M. and Tan, R.H., editors. Singapore, pp. 80-98

Ambasankar, K., Ali, S.A. and Dayal, J.S. 2006. Effect of dietary phosphorus on growth and its excretion in Tiger shrimp, *Penaeus monodon*. Asian Fisheries Science. 19, 21-26.

Appelbaum, S., Garada, J. and Mishra, J.K. 2002. Growth and survival of the white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared intensively in the brackish water of the Israeli Negev desert. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh. 54(1), 41-48.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis. Washington DC. 1263 p.

Azaza, M.S., Mensi, F., Ksouri, J., Dhraief, M.N., Brini, B. and Abdelmouleh, M.M. 2008. Growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed with diets containing graded levels of green algae *Ulva* meal (*Ulva rigida*) reared in geothermal waters of southern Tunisia. Journal of Applied Ichthyology. 24, 202-207.

Bautista, M.N. and Baticados, M.C.L. 1989. Dietary manipulation to control the chronic soft-shell syndrome in tiger prawn, *Penaeus monodon* Fabricius. Proceedings of the Second Asian Fisheries Forum. 1989, 341-344.

Benjama, O. and Masniyom, P. 2011. Nutritional composition and physicochemical properties of two green seaweeds (*Ulva pertusa* and *U. intestinalis*) from the Pattani Bay in Southern Thailand. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 33(5), 575-583.

Brett, J.R. 1979. Environmental factors and growth. In Fish Physiology Vol. 8, Hoar, W.S., Randall, D.J. and Brett, J.R., editors. Academic Press, New York, pp. 599-667.

Cardenas, J.V., Galvez, A.O., Brito, L.O., Galarza, E.V., Pitta, D.C. and Rubin, V.V. 2015. Assessment of different levels of green and brown seaweed meal in experimental diets for white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone) in recirculating aquaculture system. Aquaculture International. 23, 1491-1504.

Chen, H.Y., Cheng, Y.C., Hu, L.C. and Chen, M.H. 2014. Dietary zinc requirements of juvenile grouper, *Epinephelus Malabaricus*. Aquaculture. 432, 360-364.

Cheng, K., Hu, C., Liu, Y., Zheng, S. and Qi, X. 2006. Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reaed in low-salinity water. Aquaculture. 251, 472-483.

Chirapart, A. 2006. Seaweed Industry in Thailand. In Advances in Seaweed Cultivation and Utilization in Asia, Siew-Moi, P., Critchley, A.T. and Ang, P.O., editors. University of Malaya Maritime Research Centre, Kuala Lumpur, pp. 29-33.

Chobert, G. and Heinrich, O. 1993. Carotenoid pigments of the green algae *Haematococcus pluvialis*: assay on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanthin. Aquaculture. 122, 217-226.

Cruz-Suarez, L.E., Tapia-Salazar, M., Nieto-Lopez, M.G., Guajardo-Barbosa, C. and Ricque-Marie, D. 2009. Comparison of *Ulva clathrata* and the kelps *Macrocystis pyrifera* and *Ascophyllum nodosum* as ingredients in shrimp feeds. Aquaculture Nutrition. 15, 421-430.

Davis, D.A. and Arnold, C.R. 2000. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture. 185, 291-298.

Davis, D.A. and Gatlin, D.M. 1996. Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. Reviews in Fisheries Science and Aquaculture. 4, 75-99.

Davis, D.A., Lawrence, A.L. and Gatlin, D.M. 1992. Mineral Requirements of *Penaeus vannamei* A Preliminary Examination of the Dietary Essentiality for Thirteen Minerals. The Journal of the World Aquaculture Society. 23, 8-14.

Davis, D.A., Lawrence, A.L., and Gatlin, D.M. 1993. Response of *Penaeus vannamei* to dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio. Journal of the World Aquaculture Society. 204, 504-515

Declarador, R.S., Serrano, A.E. and Corre, V.L. 2014. Ulvan extract acts as immunostimulant against white spot syndrome virus (WSSV) in juvenile black tiger shrimp *Penaeus monodon*. Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation-International Journal of the Bioflux Society. 7(3),153-161.

Deshimaru, O. and Yone, Y. 1978. Requirement of prawn for dietary minerals. Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish. 44, 907-910.

Dore, I. and Frimodt, C. 1987. An Illustrated guide to shrimp of the world. Osprey Books, New York.

Dupree, H.K. and Sneed, K.P. 1966. Response of channel catfish fingerlings to different levels of major nutrients in purified diets. U.S. Bureau of sports Fish and Wildlife Tech. No.9.

El-Baky, H.H. A., Baz, F.K.E. and Baroty, G.S.E. 2008. Evaluation of marine alga *Ulva lactuca*. as a source of natural preservative ingredient. Journal of Agriculture and Environmental Sciences. 3(3), 434-444.

European Commission. 2015. Commission regulation (EU) 2015/186. Official Journal of the European Union 11-17. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0186&from=EN. Cited 10 Aug 2021.

Felix, N. and 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, 199-204.

Funge-Smith, S., Briggs, M.R.P. and Subasinghe, R. 2003. Is white shrimp (*Penaeus vannamei*) a threat to Asian shrimp culture. FAO Aquaculture Newsletter. 30, 19-23.

Gatlin, D.M. and Phillips, H.F. 1989. Dietary calcium, phytate and zinc interactions in channel catfish. Aquaculture. 79, 259-266.

Guillaume, J. and Choubert, G. 2001. Digestive physiology and nutrient digestibility in fishes. In: Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans (eds J. Guillaume, S. Kaushik, P. Bergot and R. Me' tailler), pp. 27-56. Springer, London, UK.

Hajek, B.B. and Boyd, C.E. 1994. Rating soil and water information for aquaculture. Aquacultural Engineering. 13, 115-128.

Hiraoka, M. and Oka, N. 2008. Tank cultivation of *Ulva prolifera* in deep seawater using a new “germling cluster” method. Journal of Applied Phycology. 20, 97-102

Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K. and Strugnell, J.M. 2019. The future of aquatic protein: Implications for protein sources in aquaculture diets. One Earth. 1(3), 316-329.

Jyothi, S. 2013. An Identification of penaeid prawn species based on histogram values. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. 3(7), 807-811

Kanazawa, A., Teshima, S. and Sasaki, M. 1984. Requirements of the Juvenile Prawn for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Potassium, Copper, Manganese, and Iron. Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University. 33(1), 63-71.

Kanazawa, A., Tesshima, S. and Sakamoto, M. 1985. Effects of dietary lipid, fatty acids, and phospholipids on growth and survival of prawn (*Penaes japonicus*) larvae. Aquaculture. 50, 39-49.

Lauzon, Q.D. and Serrano, A.E. 2015. Ulvan extract from *Enteromorpha intestinalis* enhances immune responses in *Litopenaeus vannamei* and *Penaeus monodon* juveniles. Animal Biology & Animal Hasbandry–Bioflux. 7(1), 1-10.

Lee, C. and Lee, K. 2018. Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages. Fisheries and Aquatic Sciences. 1-6. doi: 10.1186/s41240-018-0105-0

Liu, C., Chang, J., Zhang, L., Zhang, J. and Li, S. 2012. Purification and antioxidant activity of a polysaccharide from bulbs of *Fritillaria ussuriensis* Maxim. International Journal of Biological Macromolecules. 50, 1075-1080.

Ma, R., Hou, H.P., Mai, K.S., Bharadwaj, A.S., Ji, F.J. and Zhang, W.B. 2014. Comparative study on the bioavailability of chelated or inorganic zinc in diets containing tricalcium phosphate and phytate to turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture. 420-421, 187-192.

Muñoz, M., Vandenduluke, F., Gueguen, Y. and Bachere, E. 2003. Expression of penaeidin antimicrobial peptides in early larval stages of the shrimp *Penaeus vannamei*. Developmental & Comparative Immunology. 27, 283-289.

National Research Council (NRC). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press, Washington, D.C., USA. 392 pp.

Ngo, D.H. and Kim, S.K. 2013. Sulfated polysaccharides as bioactive agents from marine algae. International Journal of Biological Macromolecules. 62, 70-75.

Niu, J., Li, C., Liu, Y., Tain, L., Chen, X., Huang, Z. and Lin, H. 2012. Dietary values of astaxanthin and canthaxanthin in Penaeus monodon in the presence and absence of cholesterol supplementation: effect on growth, nutrient digestibility and tissue carotenoid composition. British Journal of Nutrition. 108, 80-91.

Ohno, M. 1993. Cultivation of the green alga, *Monostroma* and *Enteromorpha* "Aonori". In Seaweed cultivation and marine Ranching Kanagawa International Fisheries Training Centre, Japan International Cooperation Agency (JICA), Ohno, M. and Critchley, A. editors. Yokosuka, pp. 7-16.

Oliveira, M.N., Freitas, A.L.P., Carvalho, A.F.U., Sampaio, T.M.T., Farias, D.F., Teixeira, D.I.A., Gouveia, S.T., Pereira, J.G. and Sena, M.M.C.C. 2009. Nutritive and non-nutritive attributes of washed-up seaweeds from the coast of Ceará, Brazil. Food Chemistry. 115, 254-259.

Pan, Q., Chen, X.Y., Li, F., Bi, Y.Z. and Zheng, S.X. 2005. Response of juvenile *Litopenaeus vannamei* to varying levels of calcium phosphate monobasic supplemented to a practical diet. Aquaculture. 248, 97-102.

Pathare, P.B., Opara, U.L. and Al-Said, F.A. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review. Food and Bioprocess Technology. 6, 36-60.

Penaflorida, V.D. 1999. Interaction between dietary levels of calcium and phosphorus on growth of juveniles shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture. 172, 281-289.

Perez-Farfante, I. and Kensley, B. 1997. Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world. keys and diagnoses for the families and genera. Memories du Museum National D'Historie Natiurelle, Paris, pp. 1-233

Qiu, X., Neori, A., Kim, J.K., Yarish, C., Shpigel, M., Guttman, L., Ezra, D.B., Odintsov, V. and Davis, D.A. 2018. Evaluation of green seaweed *Ulva sp.* as a replacement of fish meal in plant-based practical diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei.* Journal of Applied Phycology. 30, 1305-1316.

Rai, P.K., Lee, S.S., Zhang, M., Tsang, Y.F. and Kim, K. 2019. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. Environment International. 125, 365-385.

Rodríguez-González, H., Orduña-Rojas, J., Villalobos-Medina, J.P., García- Ulloa, M., Polanco-Torres, A., López-Álvarez, E.S., Montoya-Mejía, M. and Hernández-Llamas, A. 2014. Partial inclusion of *Ulva lactuca* and *Gracilaria parvispora* meal in balanced diets for white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Journal of Applied Phycology. 26, 2453-2459.

Ruangchuay, R., Dahamat, S., Chirapat, A. and Notoya, M. 2012. Effects of culture conditions on the growth and reproduction of Gut Weed, *Ulva intestinalis* Linnaeus (Ulvales, Chlorophyta). Songklanakarin Journal of Science and Technology. 34 (5), 501-507.

Sae-leaw, T., Benjakul, S. and Vongkamjan, K. 2018. Retardation of melanosis and quality loss of pre-cooked Pacific white shrimp using epigallocatechin gallate with the aid of ultrasound. Food Control. 84, 75-82.

Serrano, A.E. and Tumbokon, B.L.M. 2015. Optimum dietary inclusion of *Ulva intestinalis* to the diet of the black tiger shrimp *Penaeus monodon* postlarvae. Animal Biology and Animal Hasbandry–Bioflux. 12(1), 169-176.

Shao, P., Chen, X. and Sun, P. 2013. In vitro antioxidant and antitumor activities of different sulfated polysaccharides isolated from three algae. International Journal of Biological Macromolecules. 62, 155-161.

Sookying, D. 2010. Development and application of soybean based diets for pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Dissertation, Fisheries and Allied Aquacultures Auburn University.

Souza, B.W.S., Cerqueira, M.A., Bourbon, A.I., Pinheiro, A.C., Martins, J.T., Teixeira, J.A., Coimbra, M.A and Vicente, A.A. 2012. Chemical characterization and antioxidant activity of sulfated polysaccharide from the red seaweed *Gracilaria birdiae.* Food Hydrocolloids. 27, 287-292.

Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed., International Student Edition, McGraw-Hill, New York.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd Edition, Fisheries Research Board of Canada Bulletin, No., Fisheries Research Board of Canada. 167, 87-192.

Sugiura, S.H., Dong, F.M. and Hardy, R.W. 1998. Effects of dietary supplements on the availability of minerals in fish meal; preliminary observations. Aquaculture. 160, 283-303.

Tacon, A.G.J. and Barg, U.C. 1998. Major challenges to feed development for marine and diadromous finfish and crustacean species. In Tropical Mariculture, Silva, S.S. editor. Academic Press, San Diego, pp. 171-208

Vernon-Carter, E. J., Ponce-Palafox J. T., Pedroza-Islas R. 1996. Pigmentation of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) using Aztec marigold (*Tagetes erecta*) extracts as the carotenoid source. Archivos Latinoamericanos de Nutricion. 46, 243-246.

Yang, F., Xie, S., Niu, J., Liu, Y. and Tian, L. 2018. Effect of dietary macro-algae in diet of juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Journal of Applied Phycology. 30, 1335-1344.

Zeitoun, I.H., Tack, P.I., Halver, I.E. and Ullrey, D.E. 1973. Influence of salinity on protein requirements of rainbow trout, *Salmo gairdneri* fingerling. Journal of the Fisheries Research of Canada. 30, 1867-1873.

Zhang, Z., Wang, F., Wang, X., Liu, X.L., Hou, Y. and Zhang, Q.B. 2010. Extraction of the polysaccharides from five algae and their potential antioxidant activity in vitro. Carbohydrate Polymers. 82, 118-121.

ภาคผนวก

ภาคผนวก
วิธีการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร (ดัดแปลงจาก AOAC (1990))

1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

หลักการ

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณความชื้นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณน้ำ ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียและส่งผลต่อระยะเวลา ในการเก็บรักษาของอาหาร โดยมักใช้ปริมาณความชื้นในการกำหนดราคาซื้อขาย ที่ยุติธรรมต่อทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย เช่น การวัดความชื้นของข้าวเปลือก เพื่อกำหนดราคารับซื้อ หรือควบคุมความชื้อของอาหารผง เช่น นมผง ที่หากมีความชื้นมากไป จะทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนและเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ในฐานะผู้ซื้อย่อมไม่ต้องการวัตถุดิบหรือสินค้า ที่มีความชื้นสูง จึงต้องมีการควบคุมความชื้น เป็นต้น

การวิเคราะห์หารปริมาณความชื้น โดยวิธีการอบแห้ง เป็นการหาน้ำหนักของตัวอย่างอาหารที่หายไป เนื่องจากการระเหยของน้ำ ที่มีอยู่ในอาหาร ภายหลังจา การให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อระเหยน้ำจนหมดหรืออาจกล่าวได้ว่า ปริมาณความชื้น คือ ปริมาณน้ำในอาหารที่ระเหยะออกไปภายหลังจากการให้ความร้อนแก่อาหารจนหมด ซึ่งปริมาณความชื้นที่ได้จากากรวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้นอกจากน้ำแล้ว ยังรวมถึงสารประกอบอื่น ๆ ที่ระเหยได้ (volatile matter) เช่น กรดบางชนิดหรือน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โดยวิธีการอบแห้ง สามารถแบ่งได้เป็นหลายวิธี ตามลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการให้ความชื้น เช่น การอบแห้งโดยใช้ตู้อบไฟฟ้า (Air Over Method) ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Over Method) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave Over Method) รังสีอินฟราเรด (Infrared drying) และฮาโลเจน (Halogen drying) นอกจากนี้ ใช้การอบแห้งแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในอาหารได้โดยวิธีการอื่น เช่น การกลั่นหรือไทเทรต เป็นต้น

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โดยวิธีอบแห้งในตู้อบไฟฟ้า เป็นการใช้ความร้อนแบบลมร้อน ในการทำให้ระเหยออกจากตัวอย่าง โดยเมื่อความร้อนสัมผัสกับอาหาร ความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของชิ้นอาหารและทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านชั้นของอาหาร และถูกพาออกไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวของอาหารลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับอากาศร้อน ซึ่งเป็นแรงผลักดัน ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกมา ข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ คือ

สามารถตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างพร้อมได้จำนวนมาก และใช้กับตัวอย่างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนข้อเสียของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ คือ ใช้เวลานาน และตัวอย่างอาจดูดความชื้นจากอากาศภายหลังการทำแห้ง ก่อนที่จะนำไปชั่งน้ำหนัก อาจส่งผลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง นอกจากนี้ การให้ความร้อนสูงเกินไปอาจทำให้ตัวอย่างเสียสภาพได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบวิธีการและเรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของอาหารโดยวิธีอบแห้งในตู้อบไฟฟ้า (Air Over Method)

2. เพื่อทราบปริมาณความชื้นของอาหารชนิดต่าง ๆ และเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของแต่ละชื้น

วิธีการทดลอง

1. อบภาชนะสำหรับหาปริมาณความชื้นพร้อมฝาในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลานาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น วางทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที) ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

2. อบภาชนะอะลูมิเนียมซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.001-0.003 กรัม) บันทึกน้ำหนักที่ได้

3. เตรียมตัวอย่างที่บดจนมีขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มพื้นผิวทำให้ระเหยน้ำได้ง่าย

4. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 3-4 กรัม (บันทึกเป็นน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ) ใส่ในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว (ทำซ้ำตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

5. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้า โดยเปิดภาชนะ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาปิดฝาภาชนะ นำออกจากตู้อบและวางไว้ในโถดูดความชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงจนเท่าอุณหภูมิห้อง (ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที) ชั่งน้ำหนักบันทึกผล

6. นำไปอบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างไม่เกิน 0.001-0.003 กรัม) บันทึกน้ำหนักที่ได้

7. คำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% น้ำหนัก)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลัง})\ (\text{กรัม})}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}(\text{กรัม})} \times 100$$

2 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

หลักการ

เถ้า คือ สารประกอบอนินทรีย์ที่เหลือจากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เผาอาหารเพื่อสลายสารประกอบอินทรีย์ในอาหารให้หมดไป ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในอาหาร จะเผาทำลายสารอินทรีย์ (organic matter) ซึ่งปริมาณเถ้าในอาหารสามารถบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอาหาร เช่น การผลิตแป้งสาลีที่มีการเติมแร่เหล็ก การวิเคราะห์หาปริมาณแร่เหล็กในแป้งจะต้องเผาแป้งให้เป็นเถ้าก่อนจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่เหล็กต่อไป แต่ทั้งนี้เนื่องจากอาจมีส่วนประกอบของแร่ธาตุบางชนิดสูญหายไปจากการระเหยขณะเผาด้วยความร้อนสูง นอกจากนี้ปริมาณเถ้ายังเป็นเครื่องบ่งชี้คุณภาพของอาหารบางชนิดได้ โดยสามารถใช้ตรวจสอบการปนเปื้อนของแร่ธาตุในอาหารซึ่งโดยทั่วไป ปริมาณเถ้าในอาหารแต่ละชนิดค่อนข้างคงที่ หากพบว่าปริมาณเถ้าในอาหารสูงผิดปกติ แสดงว่าอาจมีการปลอมปนในอาหาร เช่น การปนเปื้อนของทรายในข้าว เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบวิธีการและเรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในอาหาร
2. เพื่อทราบปริมาณเถ้าที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิด

วิธีการทดลอง

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมฝาในเตาอบที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดสวิทซ์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-35 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาลดลง จากนั้นนำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น วางทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที) ชั่งน้ำหนักบันทึกผล

2. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบซ้ำอีกครั้ง 30 นาที และทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 0.001-0.003 กรัม) บันทึกน้ำหนักที่ได้

3. เตรียมตัวอย่างที่บดแล้ว ชั่งน้ำหนักให้ได้ประมาณ 3-4 กรัม (บันทึกเป็นน้ำหนักก่อนเผา) ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว (ทำซ้ำตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ)

4. นำถ้วยกระเบื้องที่ใส่ตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C จนกระทั่งหมดควันและตัวอย่างเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทาอ่อน

5. เมื่อครบกำหนดเวลาปิดสวิทซ์ แล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาลดลง จากนั้นนำถ้วยกระเบื่องออกจากเตาเผานำไปใส่ในโถดูดความชื้น โดยปิดฝาแต่ละตัวอย่าง ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที) ชั่งน้ำหนักบันทึกผล

6. นำไปอบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างไม่เกิน 0.001-0.003 กรัม) บันทึกน้ำหนักที่ได้

7. คำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (\% น้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา(กรัม)}} \times 100$$

3 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

หลักการ

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในอาหาร จึงทำได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ที่มีในอาหาร แล้วคูณด้วยค่าแฟคเตอร์ (F) ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl Method) ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการย่อย การกลั่นและการไทเทรต

3.1 ขั้นตอนการย่อย (Digestion)

โปรตีนขั้นตอนการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่มีในอาหารให้อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH4)2SO4$ โดยต้มตัวอย่างอาหารในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($H2SO4$) ที่อุณหภูมิสูงและเร่งปฏิกิริยา ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น ทองแดง (Cu) ซีลีเนียม (Se) หรือปรอท (Hg) เพื่อให้ตัวอย่างถูกย่อยได้เร็วขึ้น เติมโพแทสเซียมซัลเฟต ($K2SO4$) เพื่อเพิ่มจุดเดือดของกรดซัลฟิวริก ซึ่งหลังจากการย่อยไนโตรเจนในตัวอย่างอาหาร จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต

3.2 ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแอมโมเนียมซัลเฟตไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย ($NH3$) และกลั่นเก็บในสารละลายกรดบอริก (Boric acid) เพื่อนำไปไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจนต่อไป โดยนำสารละลายใสที่ได้จากการย่อยมาเติมสารละลายโซดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แอมโมเนียมซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนในสภาพเป็นเบส อยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนียที่ระเหยได้ นำมากลั่นเพื่อก๊าซแอมโมเนียออกมาดักจับก๊าซแอมโมเนียด้วยสารละลายกรดบอริก เพื่อนำไปไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจนต่อไป

3.3 ขั้นตอนการไทเทรต (Titration)

ไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจน โดยนำสารละลายกรดบอริกที่จับก๊าซแอมโมเนียไว้มาไทเทรตกับสารละลายมาตราฐานกรดไฮโดรคลอริก ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยใช้ mixed indicator เป็น indicator แอมโมเนีย 1 โมล จะทำปฏิกิริยาพอดีกับไฮโดรคลอริก 1 โมล ซึ่งปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดที่ใช้ในการไทเทรต สามารถคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้ และคำนวณหาปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้มาคูณด้วยแฟคเตอร์ (Conversion factor, F) อย่างไรก็ตาม ปริมาณโปรตีนที่คำนวณได้จะสูงกว่าค่าที่เป็นจริงเสมอ ทั้งนี้ เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน โดยวิธีการคำนวณเจลดาห์ลนั้น จะมีสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โปรตีนรวมอยู่ด้วย ดังนั้น โปรตีนที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ เป็น crude protein หรือโปรตีนหยาบ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบวิธีการและเรียนรู้เทคนิควิธีวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในอาหาร
2. เพื่อทราบปริมาณโปรตีนที่มีในตัวอย่างอาหาร

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-5 กรัม (ขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนมากให้ใช้ตัวอย่างน้อย) ใส่ลงในหลอดย่อย (kjeldalh flask) เติม mixed catalyst ($CuSO_4$:K_2SO_4 อัตราส่วน 1:10) จำนวน 10 กรัม ($CuSO_4$ 0.91 กรัม, K_2SO_4 9.09 กรัม) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และใส่ Boiling chip 2-3 เม็ด (การเติมกรดซัลฟิวริก ให้ทำในตู้ดูดควัน โดยนำหลอดย่อยใส่ใน insert rack นำไปเตรียมในตู้ดูดควัน)

2. นำ insert rack ที่มีหลอดย่อยวางครบทุกช่อง วางประกอบเข้ากับเครื่องย่อย และเปิดเครื่องกำจัดไอกรด ตั้งอุณหภูมิในการย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น ปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 250 °C ทำการย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส ใช้เวลาประมาณ 30 นาที รอให้ไอกรดถูกดูดไปจนหมดและทิ้งไว้ให้เย็น

3. เปิดน้ำเข้าเครื่องกลั่น เปิดสวิตช์เครื่องกลั่น รอสัญญาณที่เครื่องเปลี่ยนจาก H เป็น P

4. ตรวจสอบปริมาณน้ำกลั่นและสารละลาย NaOH 15% ในถัง ตลอดจนสายน้ำกลั่นและสาย NaOH ว่าจุ่มในถังถูกต้องหรือไม่ กดปุ่ม H_2O และ NaOH ให้น้ำกลั่นและสารละลาย NaOH ไหลเต็มสาย โดยอาจใช้หลอดย่อยโปรตีนรองรับ

5. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยที่วางทิ้งไว้จนเย็นแล้วประมาณ 75 mL ให้ปริมาตรรวมในหลอดเท่ากับ 100 mL จากนั้นหลอดย่อยมาต่อเข้ากลับเครื่องกลั่น

6. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL ซึ่งบรรจุสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาตร 25 mL หยด mixed indicator 2-3 หยด วางไว้ที่ตำแหน่งรองรับเครื่องกลั่น โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มอยู่ในสารละลาย

7. ตั้ง program เครื่องกลั่น โดยกด program

Step 1 เติมน้ำกลั่น (น้ำกลั่นไหลประมาณ 10 mL/วินาที) หากเติมน้ำกลั่นข้างนอกเองตั้งเป็น 0

Step 2 เติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% 50 mL ตั้งเวลาประมาณ 7 วินาที (สารละลาย NaOH ไหลประมาณ 10 mL/วินาที)

Step 3 รอทำปฏิกิริยา ไม่ต้องตั้งค่า เวลาเป็น 0

Step 4 การกลั่น ตั้งเวลาประมาณ 7 นาที (420 วินาที) Steam ตั้งเวลา 70 วินาที

Step 5 ดูดทิ้ง ตั้งเวลา 30 วินาที

8. กด Run เครื่องจะเริ่มทำงานตาม step ที่ตั้งโปแกรมไว้ โดยที่ Step 2 เมื่อเติมสารละลาย NaOH ลงไป สารละลายในหลอดจะเปลี่ยนจากสารละลายสีเขียวใสเป็นสีดำหรือสีน้ำเงินเข้ม หากสารละลายไม่เปลี่ยนสีให้เติมสารละลาย NaOH เพิ่มโดยกดปุ่ม NaOH จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนสีเป็นสีดำหรือสีน้ำเงินเข้ม

9. หลังกลั่นเสร็จเครื่องจะหยุดทำงาน นำหลอดย่อยสารละลายกรดบอริกในขวดรูปชมพู่ออก ล้างส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในภาชนะรองรับ และกลั่นล้างระบบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตัวอย่าง โดยใส่น้ำกลั่นในหลอดย่อยแล้วทำการกลั่นจะไม่เติมด่างประมาณ 3 นาที (วางขวดรูปชมพู่เปล่าในตำแหน่งที่รองรับ)

10. ไทเทรตสารละลายกรดบอริกด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอมชมพู (ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

11. ทำ blank ตามวิธีข้อ 1-10 โดยไม่ใส่ตัวอย่าง (หลังกลั่น blank ไม่เปลี่ยนสี)

12. หลังกลั่นตัวอย่างหลังกลั่นตัวอย่างสุดท้ายเสร็จ ให้ล้างส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่น และกลั่นล้างระบบเช่นเดียวกับข้อ 9 พร้อมเช็ดทำความสะอาดเครื่องทั้งหมด

13. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนจากสูตร

ปริมาณไนโตรเจน (% น้ำหนัก)= $\frac{(\mathbf{A-B}) \times \mathbf{N\ HCl} \times 14.007}{\mathbf{Wt} \times 1000} \times 100$

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)= ปริมาณไนโตรเจน × F

A คือ ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (mL)
B คือ ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต blank (mL)
N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)
Wt คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)
F คือ แฟคเตอร์ (Conversion factor) 14.007 คือ น้ำหนักสมมูลย์ของไนโตรเจน

4.การวิเคราะห์ไขมัน

หลักการ

ไขมันเป็นส่วนหนึ่งที่พบในอาหารแทบทุกประเภท มีบทบาทสำคัญในการกำหนดลักษณะทางกายภาพของอาหาร เช่น กลิ่นรส (flavour), เนื้อสัมผัส (texture) และความรู้สึกในปาก (mouth feel) นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อาหารเกิดกลิ่น รสที่ไม่พึงปรารถนา (off-flavour) ได้ เนื่องจากไขมันมีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

ดังนั้น การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในอาหาร จึงแยกสกัดไขมันออกจากตัวอย่างอาหาร ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น ปีโตเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) หรือไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) ซึ่งตัวอย่างอาหารนำมาวิเคราะห์จะต้องเป็นตัวอย่างที่แห้ง เนื่องจาก จะขัดขวางการชะไขมันออกจากตัวอย่างของตัวทำละลาย ทำให้สกัดไขมันได้ไม่ดี และตัวอย่างต้องบดละเอียด เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับตัวทำละลาย โดยการสกัดจะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นกับ ปริมาณไขมันในตัวอย่าง ภายหลังจากการสกัด นำไประเหยแยกตัวทำละลายออกสารสกัดที่ได้ เรียกว่า ether extracted หรือ crude fat ซึ่งจะมีสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไขมัน เช่น เม็ดสีต่าง ๆ หรือ วิตามิน ที่ละลายในไขมันปนอยู่ด้วย แต่มีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับสารที่เป็นไขมัน อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์ไขมันโดยวิธีนี้ ไม่สามารถสกัดไขมันที่อยู่ในรูปที่เป็นสารเชิงซ้อนกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต เช่น lipoprotein หรือ glycoproteins ออกมาได้ จะต้องย่อยสลายพันธะที่เชื่อมโยงต่อไขมันกับโมเลกุลเหล่านี้ออกจากกัน ซึ่งอาจใช้วิธีการย่อยด้วยกรด (acid hydrolysis) เพื่อปลดปล่อยไขมันให้อยู่ในรูปที่สารละลายอินทรีย์สามารถออกมาได้ง่าย ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดไขมันได้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบวิธีการและเรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในตัวอย่างด้วยเครื่องสกัดไขมัน

2. เพื่อทราบถึงปริมาณไขมันที่มีอยู่ในตัวอย่าง

วิธีการทดลอง

1. อบถ้วยพร้อมลูกแก้วที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรอง 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิด ใส่ในไส้กรอง (thimble) ที่เตรียมไว้ ไปใส่ในเครื่อง Soxhlet

4. นำถ้วยพร้อมลูกแก้ว ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว มาเติมปิโตเลียมอีเทอร์ ประมาณ 3/4

5. เปิดเครื่องปรับอุณหภูมิที่ 130 °C เปิดน้ำเข้าเครื่อง เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ Boiling ต้มให้เดือด 45 นาที

6. เลื่อนปุ่มไปที่ washing เพื่อล้างตัวอย่าง 10 นาที

7. ปิดวาล์ว เปิดสวิทช์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ Recover เพื่อล้างให้สารละลายออกไป 5 นาที

8. ปิดเครื่อง อากาศและน้ำ แล้วเลื่อนปุ่ม Recover กลับที่เดิม นำถ้วยออกจากเครื่อง แล้วนำไปอบที่ 100 °C เป็นเวลา 1 คืน

9. นำถ้วยออกใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำชั่งน้ำหนัก

การวิเคราะห์ไขมัน

การคำนวณ % ไขมัน = $\frac{(b-a)}{W} \times 100$

a= น้ำหนักของบีกเกอร์ (Aluminum extraction beaker)

b= น้ำหนักของบีกเกอร์ (Aluminum extraction beaker) และไขมันหลังการอบ

W= น้ำหนักตัวอย่าง

5 การวิเคราะห์เยื่อใย

หลักการ

เยื่อใย คือส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ยาก ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (แต่ลิกนินไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต) สารเหล่านี้ทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่าง การวิเคราะห์หาเยื่อใย ทำได้โดย การนำอาหารที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว มาต้มกับกรดอย่างอ่อน ๆ โดยสารอินทรีย์ที่เหลือ เรียกว่า โปรตีน แป้ง น้ำตาล และคาร์โบไฮเดรตบางอย่าง จะละลายในกรดและด่าง ส่วนกากหรือสารอินทรีย์ที่เหลือ เรียกว่า เยื่อใย ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส นอกจากนี้ ยังมี เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน รวมอยู่ด้วยเล็กน้อย

วัตถุประสงค์

สามารถใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในวัตถุดิบหรืออาหารสัตว์น้ำได้

วิธีการทดลอง

1. นำถ้วยกูซครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 135 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ถ้าถ้วยกูซครูซิเบิลสกปรกมากให้นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ประมาณ 3 ชั่วโมง)

2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1-2 กรัม (เป็นตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมัน) ในถ้วยกูซครูซิเบิล แล้วนำมาวางต่อกับเครื่องย่อยเยื่อใย เลื่อนคันโยกด้านหน้า ไปที่ตำแหน่ง closed

3. เติมสารละลายกำมะถันเข้มข้น 1.25% ที่อุ่นบนเครื่องทำความร้อนประมาณ 150 mL หยด ออกทานอล 2-3 หยด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองขณะเดือด

4. เปิดเครื่องหล่อเย็นและเครื่องย่อยเยื่อใย เปิดความร้อนจนสุดสเกล และเลื่อนวาล์วทุกตัวให้อยู่ในตำแหน่งปิด ต้มให้สารละลายเดือดเต็มที่ แล้วลดความร้อนลง ต้มนานประมาณ 30 นาที จากนั้นปิดเครื่องแล้วกรองสารละลายออกโดยเลื่อนปุ่มไปที่ vacuum

5. ล้างตัวอย่างต่อด้วยน้ำอุ่น 3 ครั้ง โดยเติมน้ำอุ่นลงไปแล้วเลื่อนปุ่มไปที่ vacuum เพื่อกรองน้ำออก

6. ย่อยตัวอย่างต่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 150 mL หยดออกทานอล 2-3 หยด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองขณะเดือด

7. เปิดเครื่องหล่อเย็นและเครื่องย่อยเยื่อใย เปิดความร้อนจนสุดสเกล และเลื่อนวาล์วทุกตัวให้อยู่ในตำแหน่งปิด ต้มให้สารละลายเดือดเต็มที่ แล้วลดความร้อนลง ต้มนานประมาณ 30 นาที จากนั้น ปิดเครื่องแล้วกรองสารละลายออกโดยเลื่อนปุ่มไปที่ vacuum

8. ล้างตัวอย่างด้วยน้ำอุ่น 3 ครั้ง โดยเติมน้ำอุ่นลงไปแล้วเลื่อนปุ่มไปที่ vacuum เพื่อกรองน้ำออก

9. ย้ายถ้วยกูซครูซิเบิลไปที่ชุดสกัดเย็น ล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตน

10. นำถ้วยกรูครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 135 °C นาน 30 นาที และวางไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นบันทึกน้ำหนัก

11. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วางไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณหาเยื่อใย

$$\text{เยื่อใย (\%)} = \frac{(W_2 - W_3)}{W_1} \times 100$$

เมื่อ

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 = น้ำหนักถ้วยกูซครูซิเบิลและน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

W_3 = น้ำหนักถ้วยกูซครูซิเบิลและน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวภาวินีย์ กลีบทอง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6020320606

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต วท.บ. (วิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตรอุดมศักดิ์	2559

ทุนการศึกษา

ทุนสาขาความเป็นเลิศทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน (Discipline of Excellence (DoE)) in Sustainable Aquaculture มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอ หาดใหญ่ จังหวัด สงขลา

ข้อมูลการเผยแพร่ผลงาน

Pawinee Kleebthong, Chokchai Lueangthuwapranit, Rapeeporn Ruangchuay. 2022. Supplementing Green Alga *Ulva intestinalis* Linnaeus in Feed of *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 Reduced Growth Performance and Red Color of Cooked Shrimp. Journal of Fisheries and Environment. 46(1), 95-106.