

# คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) และการประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

มนทกานติ ท้ามตัน<sup>\*</sup> ชัชวาลี ชัยศรี<sup>๑</sup> ประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์<sup>๑</sup> จีรรัตน์ เกื้อแก้ว<sup>๒</sup> นงา ไส้ทองคำ<sup>๓</sup>  
<sup>๑</sup>ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี  
<sup>๒</sup>ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสุราษฎร์ธานี  
<sup>๓</sup>สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง

## บทคัดย่อ

ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) และการประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในสาหร่ายผักกาดทะเลที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกันและนำมาผสมในอาหารทดลอง แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารทดลอง 6 สูตร สูตรที่ 1-4 มีสัดส่วนของกากถั่วเหลือง 15% และเสริมด้วยสาหร่ายผักกาดทะเล ในอาหาร 0, 6, 9 และ 12% ตามลำดับ และสูตรที่ 5-6 ไม่มีสาหร่ายผักกาดทะเลแต่มีสัดส่วนของกากถั่วเหลืองในอาหาร 17 และ 20% ตามลำดับ โดยลุ่มกุ้งทดลอง 30 ตัวต่อกระชัง ในกระชังขนาด 1x1x1 เมตร จำนวน 24 กระชัง ให้อาหาร 4 มื้อต่อวัน นาน 12 สัปดาห์ การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสำเร็จรูปที่มีสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นส่วนผสม ใช้อาหารทดลองสูตรเดียวกันกับการทดลอง ที่ 1 เลี้ยงกุ้ง 20 ตัวต่อตู้ในตู้กระจกขนาด 50x90x40 เซนติเมตร บรรจุน้ำ 180 ลิตร จำนวน 24 ตู้ ให้อาหาร 3 มื้อต่อวัน นาน 3 สัปดาห์ พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอายุ 1-4 สัปดาห์มีโปรตีน 10.37-11.60% และไขมัน 2.36-2.78% มีกรดอะมิโนรวมต่อโปรตีน 78.07-85.26% กรดอะมิโนจำเป็น 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 และมี C20:5n-3 (EPA) น้อยและอยู่ในช่วง 0.57-0.76% พบกรดไขมัน C22:6n-3 (DHA) เฉพาะในสาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บเกี่ยวในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.61 และ 1.21% ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายผักกาดทะเล อายุ 8 สัปดาห์มีน้ำหนักแห้ง 11.35-13.59% โปรตีน 19.83-22.41% ไขมัน 0.25-0.30% คาร์โบไฮเดรต 42.16-47.28% เถ้า 26.34-34.96% เยื่อใย 2.75-3.72% และพลังงานรวม 287.52-322.59 Kcal/100g ผลการทดลองที่ 1 พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารเสริมด้วยสาหร่ายผักกาดทะเลสัดส่วน 0, 6, 9 และ 12 % มีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และไม่แตกต่างจากกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารมีสัดส่วนของกากถั่วเหลือง 17 และ 20% ( $p>0.05$ ) การทดลองที่ 2 พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 สูตรมีประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนอาหารไม่แตกต่างกัน และมีค่าอยู่ในช่วง 84.01-84.32% ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม สามารถใช้เป็นวัตถุดิบผสมเสริมในอาหารกุ้งขาวแวนนาไมได้สูงถึง 6-12%.

**คำสำคัญ** วัตถุดิบอาหาร สาหร่ายผักกาดทะเล การแทนที่ปลาป่น กุ้งขาวแวนนาไม

\*ผู้รับผิดชอบ: ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี ต.แหลมผักเบี้ย อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี ๗๖๑๐๐  
โทร. ๐๓๒ ๗๗๐ ๗๕๐ e-mail: [mtamtin@hotmail.com](mailto:mtamtin@hotmail.com)

## Nutritional value of sea lettuce (*Ulva rigida*) and application as feed ingredients in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) diets

Montakan Tamtin<sup>1\*</sup> Chatchawalee Chaisri<sup>1</sup> Prapat Kosawadpat<sup>1</sup>  
Jeerarat Kuakaew<sup>2</sup> Nada Lia -Thongkhom<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Phetchaburi Coastal Fisheries Research and Development Center

<sup>2</sup>Surat Thani Coastal Fisheries Research and Development Center

<sup>3</sup>Coastal Aquatic Feed Research Institute

### Abstract

The nutritional value and application as feed ingredients of sea lettuce (*Ulva rigida*) was investigated in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Biochemical compositions of *U. rigida* at different harvesting periods were analyzed. There were 2 feeding trials; the first trial investigated growth and survival rate of *L. vannamei*. Shrimp were fed with 6 diets containing 15% soybean meal supplemented with *U. rigida* at 0, 6, 9 and 12%, and without *U. rigida* but contained soybean meal at 17 and 20%, respectively. Thirty shrimps were sampling into each of 24-1x1x1 meters cages and subjected to experimental diets 4 times a day for 12 weeks. The second trial was study the protein digestion efficiency in diet using the same diets as the first trail. Twenty shrimps were reared in each of 24-50x90x40 centimeters aquariums contained 180 liters seawater for 3 weeks. *U. rigida* at 1-4 weeks contained 10.37-11.60% protein, 2.36-2.78% lipid. Total amino acids and essential amino acids (EAA) were 78.07-85.26% and 28.88-34.04 % of protein, respectively. The highest EAA was Leucine, the second order was Arginine, Threonine, Valine and Phenylalanine. Methionine and Histidine was limited amount. Major fatty acids were C16:0, C18:0, C18:1n-9, C18:2n-6 and C18:3n-3. The C20:5n-3 (EPA) was 0.57-0.76%, while the C22:6n-3 (DHA) was found only in 3 and 4 weeks *U. rigida* which were 0.61 and 1.21%, respectively. The 8 weeks *U. rigida* contained 11.35-13.59% dry weight, 19.83-22.41% protein, 0.25-0.30% lipid, 42.16-47.28% carbohydrate, 26.34-34.96% ash, 2.75-3.72% fiber and gross energy of 287.52-322.59 Kcal/100g. Results of the first trial showed that growth and survival rate of *L. vannamei* fed with 6 formulated diets were not significance difference ( $p>0.05$ ). The result of the second trial found that protein digestibility efficiency of *L. vannamei* fed with 6 formulated diets were not significance difference ( $p>0.05$ ) which were 84.01-84.32%. The proportion of 6-12% *U. rigida* can supplemented in *L. vannamei* diet.

**Key words** Feed ingredients, *Ulva rigida*, Fishmeal replacement, *Litopenaeus vannamei*

---

\*Corresponding author : Phetchaburi Coastal Fisheries Research and Development Center, Laem Pakbia Sub-district, Ban Laem District, Phetchaburi Province 76100 Tel. 032 770 750. Email: mtamtin@hotmail.com

## บทนำ

การเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ได้รับความนิยมในประเทศไทย อย่างมาก ส่งผลให้ในปัจจุบันมีผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมจากการเลี้ยงคิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 96.7% ของการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ผลผลิต 9 เดือนแรกของปี 2558 มีผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไม 154,075 ตัน ในขณะที่กุ้งกุลาดำมีผลผลิต 5,234 ตัน (ญาติยา, 2558) อาหารที่ผลิตในท้องตลาดจึงเป็นอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมเป็นหลัก ซึ่งในปัจจุบันผลผลิตปลาป่นที่เป็นแหล่งโปรตีนหลักในอาหารมีแนวโน้มลดลง และมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งผลผลิตมีความผันผวนและมีแนวโน้มราคาสูงขึ้น (อนัญญา, 2558) จึงมีกระแสของการลดปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำมากขึ้น ทั้งเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพื่อความยั่งยืนของการทำประมง นอกจากนี้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่นำมาใช้ทดแทนปลาป่นมีแนวโน้มปรับราคาสูงขึ้นเช่นกัน การวิจัยและพัฒนาเพื่อหาวัตถุดิบอาหารจากแหล่งใหม่สำหรับผลิตอาหารกุ้งจึงมีความสำคัญ ทั้งนี้แหล่งโปรตีนหลัก ในการผลิตอาหารกุ้งโดยมากนำมาจากสัตว์ทะเล เช่น ปลาป่น กุ้งป่น หมึกป่น (Tacon and Barg, 1998) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าโปรตีนที่มาจากสัตว์และพืชบก เนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็น กรดไขมันจำเป็น วิตามิน แร่ธาตุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นความอยากกินอาหาร (Davis and Arnold, 2000)

*Ulva rigida* จัดอยู่ในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียว ครอบคลุม Ulvaceae มีชื่อสามัญว่าสาหร่ายผักกาดทะเล หรือ Sea Lettuce สาหร่ายชนิดนี้สามารถรับประทานเป็นสลัดหรือซूप มีคุณค่าทางโภชนาการสูง นิยมบริโภคในสก๊อตแลนด์ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ดีมาก สาหร่ายผักกาดทะเลมีทลัสเป็นแผ่นแบนบางและมีรอยจีบอยู่ตรงขอบ เจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวกว้างและแนวยาว พบลอยน้ำบริเวณชายฝั่งหรือติดยึดหินหาด หรือปนอยู่กับสาหร่ายชนิดอื่น (Lewmanomont and Ogawa, 1995) ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี ได้นำสาหร่ายชนิดนี้จากแหล่งธรรมชาติมาเพาะขยายพันธุ์ตั้งแต่ปี 2544 พบว่าสามารถปรับสภาพจากการเป็นสาหร่ายธรรมชาติให้มีความคุ้นเคยกับระบบน้ำบ่อเลี้ยงและสามารถเพาะขยายพันธุ์ต่อได้ง่าย มีความทนทาน และเลี้ยงได้หลายรูปแบบ ทั้งเลี้ยงแบบปล่อยให้ลอยอิสระในน้ำ หรือเลี้ยงแบบมีที่ยึดเกาะโดยผูกติดกับตาข่ายพลาสติก การขยายพันธุ์ทำได้ทั้งแบบใช้ต้นอ่อนหรือการแบ่งส่วนของใบไปขยายพันธุ์ต่อ นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อสาหร่ายยึดเกาะ (epiphyte) ที่ขัดขวางการเจริญเติบโต เนื่องจากมีแผ่นใบขนาดใหญ่และหนา การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายชนิดนี้ในการเลี้ยงหอยเป่าชื่อ *Haliotis asinina* เปรียบเทียบกับสาหร่ายชนิดอื่น ที่นิยมเพาะเลี้ยง ได้แก่ สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) สาหร่ายหนาม (*Acanthophora spicifera*) และสาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*) (อมรรรัตน์และคณะ, 2551) พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีคุณค่าทางอาหารเทียบเคียงได้กับทั้งสาหร่ายหนามและสาหร่ายผมนาง มีสัดส่วนน้ำหนักแห้ง (13%) และโปรตีน (16%) สูงกว่าสาหร่ายหนามและสาหร่ายผมนาง ในขณะที่มีเถ้าต่ำ (22%) เมื่อเทียบกับสาหร่ายชนิดอื่น นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรต (54%) และพลังงานรวม (295 Kcal/100 g) ระดับสูง ซึ่งทั้งโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่มีปริมาณสูงใน *U. rigida* ทำให้หอยเป่าชื่อชนิด *H. discus hannai* ที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตดี (Corazani and Illanes, 1998) จึงอาจใช้สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นแหล่งโปรตีนรองในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม

นอกจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีศักยภาพเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกแล้ว จากคุณค่าทางโภชนาการด้านอื่น เช่น วิตามิน แร่ธาตุ และมีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Cruz-Suarez *et al.*, 2008) ทำให้สาหร่ายชนิดนี้อาจจะเป็นวัสดุอาหารที่ดีและมีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสมเป็นวัสดุอาหารเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ในประเทศไทยมีผู้รู้จักสาหร่ายชนิดนี้เพิ่มมากขึ้นและ ได้มีการศึกษากันแพร่หลายยิ่งขึ้น โดยมีการศึกษาด้านอนุกรมวิธาน การเลี้ยง การบำบัดน้ำ ตลอดจนการสกัดสารที่มีผลต่อภูมิคุ้มกัน ในขณะที่การนำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีน้อย ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี สามารถผลิตสาหร่ายชนิดนี้ได้ปริมาณมากและสามารถเก็บเกี่ยวได้ต่อเนื่องเพื่อนำไปต่อยอดการใช้ประโยชน์

ได้สังเกตเห็นศักยภาพของสาหร่ายผักกาดทะเลที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีสารที่มีคุณประโยชน์สูง ตลอดจนศักยภาพการเพาะเลี้ยงระดับมหวมวลน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำสาหร่ายผักกาดทะเลที่ตกเกรดบริเวณมาใช้เป็นวัสดุอาหารสัตว์ การใช้สาหร่ายทะเลซึ่งเป็นวัตถุดิบจากท้องทะเล สอดคล้องกับแหล่งที่อยู่อาศัยของกุ้งขาวแวนนาไม อาจทำให้การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเลเพื่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมดีขึ้น

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล
2. เพื่อทราบสัดส่วนที่เหมาะสมของสาหร่ายผักกาดทะเลในอาหารสำเร็จรูปต่อการเจริญเติบโตและอัตราการตายของกุ้งขาวแวนนาไม โดยเปรียบเทียบกับการใช้กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ
3. เพื่อทราบประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารกุ้งขาวแวนนาไมสำเร็จรูปที่มีสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นส่วนประกอบ

### วิธีดำเนินการ

#### 1. แบบแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) ประกอบด้วย 6 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 มีสัดส่วนของกากถั่วเหลือง 15% และเสริมด้วยสาหร่ายผักกาดทะเลในอาหาร ดังนี้ 0, 6, 9, 12% และชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ไม่มีสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นส่วนผสมแต่มีสัดส่วนของกากถั่วเหลือง 17 และ 20%

การทดลองมี 2 การทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการตายของกุ้งขาวแวนนาไม มี 4 ซ้ำต่อชุดการทดลอง

การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสำเร็จรูปที่มีสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นส่วนผสม มี 3 ซ้ำต่อชุดการทดลอง

#### 2. การเตรียมระบบทดลอง

##### การเตรียมบ่อสาหร่ายและการเลี้ยงสาหร่าย

1) สูบน้ำทะเลจากบ่อพักน้ำชีวภาพที่มีการตกตะกอนของน้ำทะเลธรรมชาติในเบื้องต้น มาใส่ในบ่อคอนกรีตขนาด 5x4x1.5 เมตร บรรจุน้ำ 25 ตัน ซึ่งมีการให้อากาศต่อเนื่อง ภายในบ่อแขวนกระชังขนาด 1x1x1 เมตร ที่มีระบบการให้อากาศและระบบอากาศยกน้ำ (airlift) จำนวน 12 กระชัง นำต้นอ่อนของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ผ่านการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น 1 กิโลกรัมเลี้ยงในกระชัง ทั้ง 12 กระชัง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

2) เตรียมสาหร่ายเพื่อใช้ในการผลิตอาหารทดลองโดยเลี้ยงแบบสโตนในแผงอวน ผูกแนวตั้ง แขนงไว้ในบ่อคอนกรีตขนาด 5x4x1.5 เมตร บรรจุน้ำทะเลที่ผ่านการบำบัดให้ตกตะกอนจากบ่อพักน้ำชีวภาพ 25 ตัน ภายในบ่อมีระบบให้อากาศและระบบน้ำหมุนเวียน คลุมด้วยใยพรางแสง 60% เพื่อให้ได้รับแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

3) ผลผลิตสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวได้นำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารเลี้ยงกิ้งทดลอง โดยนำไปล้างน้ำจืดก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า 60°C ให้แห้ง และบดละเอียดเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารทดลองต่อไป

### การเตรียมน้ำเลี้ยงกิ้ง

การเตรียมน้ำเริ่มต้นเพื่อใช้เลี้ยงกิ้งทดลองโดยสูบน้ำทะเลจากบ่อบำบัดน้ำชีวภาพ ซึ่งมีสาหร่ายทะเลช่วยดูดซับสารอาหาร นำมาพักในบ่อพักน้ำคอนกรีตขนาด 5x4x1.5 เมตร มีระบบให้อากาศผ่านหัวทรายและมีโปรตีนสกิมเมอร์ (protein skimmer) ช่วยในการบำบัดของเสียที่อยู่ในรูปตะกอนแขวนลอยเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจึงผสมด้วยน้ำจืดให้มีความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ฆ่าเชื้อและกำจัดโลหะหนักด้วยคลอรีนผงอัตราส่วน 30 ส่วนในล้านส่วน ให้อากาศอย่างแรงเป็นเวลา 1 วัน ก่อนปิดอากาศเพื่อให้ของเสียตกตะกอน ย้ายน้ำส่วนใสไปบ่อกลางแจ้งและให้อากาศอย่างแรงเป็นเวลา 5-7 วัน เพื่อสลายคลอรีนที่ยังตกค้าง น้ำที่ผ่านการตรวจสอบการตกค้างของคลอรีนและมีคุณภาพน้ำเหมาะสมแล้ว จึงนำไปพักเก็บไว้ในบ่อที่มีหลังคาคลุมเพื่อใช้ในการเลี้ยงกิ้งทดลอง

### การเตรียมระบบเลี้ยงกิ้ง

มี 2 ระบบ ระบบที่ 1 เพื่อใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการอดตาย โดยเลี้ยงกิ้งในกระชังขนาด 1x1x1 เมตร จำนวน 24 กระชัง แขนงไว้ในบ่อคอนกรีตบรรจุน้ำทะเลที่ผ่านการบำบัดแล้ว 25 ตัน ภายในกระชังมีการให้อากาศผ่านหัวทรายจำนวน 2 หัวต่อกระชัง

ระบบที่ 2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้ของกิ้งทดลอง โดยเลี้ยงกิ้งในตู้กระจก ขนาด 50x90x40 เซนติเมตร บรรจุน้ำ 180 ลิตร จำนวน 24 ตู้ ให้อากาศผ่านหัวทรายจำนวน 2 หัวต่อตู้

## 3. อาหารทดลอง

### การเตรียมอาหารทดลอง

นำผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายมาใช้ในการสร้างสูตรอาหารสำหรับการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผลิตอาหารทดลองแบบ Practical diet รูปแบบอาหารแห้ง มีทั้งหมด 6 สูตร มีโปรตีน 38.78-42.59% และไขมัน 5.96-7.56% สูตรที่ 1-4 ใช้สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นส่วนผสมของอาหารสัดส่วนต่างกัน 4 ระดับคือ 0, 6, 9 และ 12% โดยน้ำหนักแห้ง ตามแผนการทดลอง โดยลดปลาป่นในสูตรเพื่อรักษาระดับโปรตีนในอาหาร และใช้เกลบเพื่อรักษาสัดส่วนอาหารโดยรวมให้เท่ากัน ในสูตรอาหารทดลองมีการปรับสัดส่วนน้ำมันปลาในสูตรอาหารตามการปรับลดของปลาป่น สูตรที่ 5-6 เพิ่มปริมาณกากถั่วเหลืองจาก 15% เป็น 17 และ 20% ส่วนการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารนั้นใช้ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ผสมในอาหาร 1% โดยแทนที่แป้งสาลีอัตราส่วน 1:1 เพื่อใช้เป็น indicator ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหาร เตรียมอาหารโดยบดวัสดุอาหาร ร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้อาหาร มีขนาดสม่ำเสมอทำให้การผสมอาหารมีเนื้อเดียวกัน

ซึ่งส่วนผสมของแต่ละสูตรอาหารที่ผ่านการบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้อาหารมีขนาดสม่ำเสมอทำให้การผสมอาหารมีเนื้อเดียวกัน จากนั้นผสมวัสดุอาหารแห้งที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ วิตามินต่าง ๆ สารเหนียว สารกันหืน เป็นต้น โดยใช้เกลบบดละเอียดเป็นสื่อ โดยเขย่าส่วนผสมในถุงเพื่อให้อาหารเป็นผสมเข้ากัน จึงผสมวัสดุอาหารแห้งที่มีปริมาณมากขึ้นตามลำดับ ก่อนนำไปคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้งในเครื่อง Hobart mixer แล้วผสมน้ำให้มีความชื้นประมาณ 30% ตามด้วยวัสดุอาหารจำพวกน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปลา และเลซิทินอีกประมาณ 5-10 นาที จึงนำอาหารไปอัดผ่านเครื่องบดอัดอาหารยี่ห้อ Fama หน้าแวน 8

เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 มิลลิเมตร เคลียดด้วยมือให้เส้นอาหารหักออกเป็นท่อนๆ ออบในตู้อบอาหารที่อุณหภูมิ 55-60°C เมื่ออาหารแห้งแล้วนำออกจากตู้อบเพื่อให้อาหารเย็นลงก่อนเก็บใส่ถุงแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ -20°C ตลอดช่วงการทดลอง อาหารส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

### คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบ องค์ประกอบกรดอะมิโนและกรดไขมันของอาหารทดลอง แสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

อาหารทดลองมีสัดส่วนโปรตีนอยู่ในช่วง 38.78-42.59% ไขมัน 5.96-7.56% และพบว่าอาหารทั้ง 6 สูตรมีองค์ประกอบกรดอะมิโนรวมอยู่ในช่วง 36.91-41.93% กรดอะมิโนจำเป็น 13.99-17.20% สัดส่วนกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.34-0.45 สูตร 4 ที่ผสมด้วยสาหร่ายฝักกาดทะเล 12% มีสัดส่วนกรดอะมิโนจำเป็นต่อกรดอะมิโนรวมสูงที่สุดเท่ากับ 0.45 สูตรที่เสริมด้วยสาหร่ายฝักกาดทะเลสูตร 2 และ 3 มี Taurine มากที่สุดเท่ากับ 0.44 และ 0.47 สูตรที่ 4 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.26%

อาหารทดลองทั้ง 6 สูตรมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวแตกต่างกัน โดยสูตรที่ 1, 5 และ 6 มีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วง 59.60-61.58% สูตรที่ 2 และ 3 มีค่ารองลงมาและมีค่า 57.18 และ 57.55% ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 4 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 54.58% กรดไขมันอิ่มตัวสูตรที่ 4 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 40.41% และสูตรที่ 5 และ 6 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 23.55 และ 24.46% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรที่ 4 และ 5 มีกรดไขมัน n-3 และ n-3 HUFA น้อยที่สุด ในขณะที่สูตร 1,5 และ 6 มีกรดไขมัน n-6 มากที่สุด สัดส่วนของกรดไขมัน n-3/n-6 มีมากที่สุด ในสูตร 2 เท่ากับ 0.77 รองลงมาเป็นสูตร 1 และ 3 เท่ากับ 0.61 และ 0.60 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 5 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.44

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของสูตรอาหารทดลองจำนวน 6 สูตร

	องค์ประกอบในอาหารสูตรที่					
	1	2	3	4	5	6
ปลาป่นไทย (60% Protein)	22.00	20.00	17.00	14.00	20.00	15.00
ตับหมึกบด	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
หัวกุ้ง	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
<i>Ulva rigida</i>	0.00	6.00	9.00	12.00	0.00	0.00
กากถั่วเหลือง	15.00	15.00	15.00	15.00	17.00	20.00
โคลีนคลอไรด์	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
หวิทกลูเท่น	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
แป้งสาลี	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	28.00
น้ำมันปลา	2.00	2.10	2.30	2.60	2.00	2.40
วิตามินรวม	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
แร่ธาตุรวม	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
วิตามินซีโมโนฟอสเฟต (Stay C 35%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
BHT (Butylated hydroxytoluene)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
เลซิทิน	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
แกลบ	7.93	2.83	2.63	2.33	6.93	5.53
CMC (Carboxy methyl cellulose)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
วิตามินอี 50%	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
โครมิกออกไซด์	1	1	1	1	1	1
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>องค์ประกอบทางเคมี (%น้ำหนักแห้ง)</b>						
โปรตีน	42.59±0.22	40.85±0.37	40.72±0.86	38.78±0.05	42.44±0.24	40.76±0.10
ไขมัน	7.56±0.88	6.49±0.66	5.96±0.08	6.81±0.08	6.99±0.42	6.82±0.01
น้ำ	14.62±0.39	15.06±0.07	15.24±0.00	15.47±0.02	14.45±0.11	13.68±0.17
คาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย*	35.24±1.49	37.60±0.37	38.07±0.94	38.93±0.05	36.12±0.07	38.74±0.07
ความชื้น(%)	14.62±0.39	15.06±0.07	15.24±0.00	15.47±0.02	14.45±0.11	13.68±0.17

\*หมายเหตุ: คาร์โบไฮเดรต+เยื่อใย หมายถึงผลรวมของคาร์โบไฮเดรตในรูป NFE กับเยื่อใย

ตารางที่ 2 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (g/100 g น้ำหนักแห้ง)					
	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร4	สูตร5	สูตร6
<b>Essential amino acids</b>						
Arginine	2.48	2.30	2.29	2.10	2.50	2.45
Histidine	1.00	0.30	0.20	1.42	0.94	0.72
Isoleucine	1.73	1.11	1.30	1.66	1.66	1.29
Leucine	3.13	3.32	3.38	2.46	3.16	3.03
Lysine	2.26	2.20	2.11	2.07	2.30	2.09
Methionine	0.98	0.29	0.12	1.44	0.82	0.63
Phenylalanine	2.02	1.88	1.87	2.01	2.02	1.97
Threonine	1.65	1.21	1.12	1.78	1.51	1.40
Tryptophan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valine	1.93	1.36	1.57	1.77	1.83	1.47
<b>Non essential amino acids</b>						
Alanine	2.46	2.47	2.43	2.22	2.39	2.27
Aspartic acid	3.69	4.26	4.20	2.86	3.75	3.89
Cysteine	0.63	0.50	0.55	1.26	0.51	0.28
Glutamic acid	8.45	11.37	11.50	5.45	9.02	9.58
Glycine	2.53	2.43	2.47	2.21	2.43	2.31
Proline	2.55	2.38	2.75	2.12	2.90	2.59
Serine	2.11	2.03	1.93	2.11	2.11	2.16
Taurine	0.29	0.44	0.47	0.26	0.33	0.33
Tyrosine	1.81	1.51	1.42	1.86	1.79	1.69
<b>Σ Total Amino Acids (AA)</b>	41.74	41.40	41.75	36.91	41.93	40.15
<b>Σ EAA</b>	17.20	13.99	14.00	16.69	16.72	15.05
<b>Σ NEAA</b>	24.52	27.39	27.72	20.35	25.23	25.10
<b>Σ EAA/Σ AA</b>	0.41	0.34	0.34	0.45	0.40	0.37
<b>Σ EAA/Σ NEAA</b>	0.70	0.51	0.51	0.82	0.66	0.60

ตารางที่ 3 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร

ชนิดกรดไขมัน	สัดส่วนกรดไขมัน (%Area)					
	อาหารสูตร 1	อาหารสูตร 2	อาหารสูตร 3	อาหารสูตร 4	อาหารสูตร 5	อาหารสูตร 6
C 14:0	2.17±0.30	2.51±0.11	1.95±0.19	3.60±0.86	1.22±0.02	1.29±0.73
C 16:0	23.57±1.77	23.51±0.70	24.65±1.55	30.08±3.11	16.39±10.17	17.06±8.57
C 16:1n-7	3.04±0.35	3.68±0.01	3.95±0.28	4.57±0.57	3.22±0.36	2.33±1.39
C 18:0	5.67±0.30	6.01±0.61	6.11±0.17	6.73±0.11	5.94±0.04	6.11±0.27
C 18:1n-9	19.21±0.29	14.85±2.40	17.06±2.11	16.34±0.14	20.65±2.28	19.48±1.83
C 18:2n-6	22.67±0.34	20.08±0.50	21.00±0.04	21.07±0.13	23.85±0.19	23.46±1.04
C 18:3n-3	2.06±0.16	2.17±0.19	2.20±0.03	2.01±0.04	1.81±0.11	2.01±0.06
C 18:4n-3	0.46±0.11	0.70±0.22	0.74±0.04	0.65±0.00	0.24±0.11	0.40±0.06
C 20:1n-9	0.63±0.15	0.53±0.02	0.66±0.34	0.50±0.01	0.68±0.31	0.69±0.33
C 20:1n-11	0.08±0.04	0.08±0.00	0.05±0.00	ND	ND	ND
C 20:4n-6	1.04±0.09	1.23±0.13	1.14±0.00	0.94±0.17	1.03±0.10	1.10±0.01
C 20:4n-3	0.14±0.01	0.17±0.01	0.16±0.01	ND	ND	ND
C 20:5n-3	2.63±0.44	3.06±0.81	2.55±0.08	2.12±0.26	1.97±0.01	2.34±0.02
C 22:1n-11	0.31±0.23	0.24±0.27	0.33±0.21	ND	ND	ND
C 22:1n-13	0.03±0.01	0.04±0.01	ND	ND	ND	ND
C 22:4n-9	0.07±0.00	0.10±0.02	0.08±0.02	ND	ND	ND
C 22:5n-3	0.39±0.03	0.47±0.02	0.46±0.01	0.47±0.02	0.40±0.06	0.43±0.04
C 22:6n-3	8.83±2.33	9.78±3.33	7.17±0.18	5.91±0.64	6.63±0.84	7.35±0.35
Other	7.00±1.45	10.78±0.80	9.74±0.90	5.01±3.06	15.97±13.36	15.95±12.37
Total unsaturated						
fatty acids	61.58±3.09 <sup>a</sup>	57.18±2.00 <sup>ab</sup>	57.55±2.46 <sup>ab</sup>	54.58±0.80 <sup>b</sup>	60.48±3.20 <sup>a</sup>	59.60±2.80 <sup>a</sup>
Total saturated						
fatty acids	31.42±1.91 <sup>b</sup>	32.03±1.19 <sup>b</sup>	32.71±1.56 <sup>b</sup>	40.41±3.86 <sup>a</sup>	23.55±10.16 <sup>c</sup>	24.46±9.57 <sup>c</sup>
Total n-3	14.50±3.00 <sup>ab</sup>	16.34±4.54 <sup>a</sup>	13.27±0.10 <sup>ab</sup>	11.17±0.94 <sup>b</sup>	11.05±0.68 <sup>b</sup>	12.53±0.29 <sup>ab</sup>
n-3 HUFA	11.98±2.76 <sup>ab</sup>	13.47±4.13 <sup>a</sup>	10.34±0.09 <sup>ab</sup>	8.50±0.90 <sup>b</sup>	9.00±0.91 <sup>b</sup>	10.13±0.29 <sup>ab</sup>
Total n-6	23.70±0.35 <sup>a</sup>	21.31±0.37 <sup>b</sup>	22.14±0.04 <sup>b</sup>	22.01±0.30 <sup>b</sup>	24.88±0.29 <sup>a</sup>	24.56±1.03 <sup>a</sup>
n-3/n-6	0.61±0.13 <sup>ab</sup>	0.77±0.23 <sup>a</sup>	0.60±0.01 <sup>ab</sup>	0.51±0.04 <sup>b</sup>	0.44±0.02 <sup>b</sup>	0.51±0.03 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
2. ND : Not detected

#### 4. การจัดการและดำเนินการทดลอง

##### การจัดการและการเลี้ยงสัตว์ระหว่างการทดลอง

ลูกกุ้งที่ใช้ทดลองเป็นลูกกุ้งขาวที่รับมาจากโรงเพาะฟักในจังหวัดฉะเชิงเทรา นำมาปรับสภาพในถังไฟเบอร์ทรงกลมขนาด 5 ตันเป็นเวลา 2 สัปดาห์ด้วยอาหารสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาด ทะยอยคัดกุ้งและย้ายถังเพื่อไม่ให้หนาแน่นเกินไป จากนั้นคัดลูกกุ้งที่มีขนาดใกล้เคียงกันขนาดเฉลี่ย 0.42 กรัมต่อตัวลงกระชังทดลองอัตราความหนาแน่น 30 ตัวต่อกระชัง จำนวน 24 กระชัง

ให้อาหารตามแผนการทดลองวันละ 4 มื้อ (08.00, 11.00, 13.00 และ 16.00 น.) อัตราการให้อาหารปรับตามการเจริญเติบโตของกุ้งทุก 2 สัปดาห์ โดยคาดการณ์ว่ากุ้งขาวมีน้ำหนักเพิ่ม 1 กรัมต่อสัปดาห์และอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 (Davis and Arnold, 2000) โดยให้อาหารในยอที่วางลงในกระชังจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ เก็บอาหารเหลือไปคำนวณหาปริมาณอาหารที่กุ้งกินจริงเพื่อคำนวณหาอัตราแลกเปลี่ยน (FCR) ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนโปรตีน (PER) และสังเกตการลอกคราบ รวมทั้งสุขภาพกุ้ง

ควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อทดลองโดยหมุนเวียนน้ำไปบำบัดในบ่อที่คู่กัน ซึ่งมีสาหร่ายทะเลช่วยในการบำบัด เติมน้ำทะเลสะอาดสัปดาห์ละ 1-2 ครั้งเพื่อกระตุ้นการลอกคราบของกุ้ง ดูแลตะกอนก้นบ่อวันเว้นวันหรือตามความเหมาะสม

##### การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้ของกุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*)

ใช้กุ้งขาวแวนนาไมน้ำหนัก 3.0-3.4 กรัมเป็นกุ้งทดลอง สุ่มลงทดลองในตู้กระจกขนาด 50x90x40 เซนติเมตร บรรจุน้ำ 180 ลิตร อัตราความหนาแน่น 20 ตัวต่อตู้และปรับสภาพให้คุ้นเคยกับระบบทดลองประมาณ 7 วัน โดยให้อาหารกุ้งสูตรควบคุมทดลองที่ไม่มี indicator ทั้ง 6 สูตร อัตราการให้อาหาร 5% โดยน้ำหนักตัวต่อวันหรือให้เกินพอเล็กน้อย (slightly excess) แบ่งให้ปริมาณเท่ากันทั้ง 3 มื้อ เวลา 8.00-8.30 น., 9.00-10.00 และ 13.00-13.30 น. หลังการให้อาหารแต่ละมื้อจะดูเศษอาหารเหลือออก หลังจากนั้นจึงเริ่มให้อาหารที่มี indicator เป็นเวลา 3 วัน แล้วจึงเริ่มเก็บมูลกุ้งต่อไปอีกประมาณ 3 สัปดาห์ จนมีปริมาณเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

หลังจากให้อาหาร 2 ชั่วโมงในมื้อที่ 2 และ 3 มูลกุ้งจะถูกดูดออกและกรองให้แยกออกจากอาหารเหลือ ล้างด้วยน้ำกลั่น นำมูลกุ้งที่รวบรวมได้ไปเก็บที่  $-20^{\circ}\text{C}$  (Divakaran *et al.*, 2000) จากนั้นจึงนำไปอบแห้งที่  $90^{\circ}\text{C}$  แล้วบดให้ละเอียด นำมูลกุ้งจากทั้ง 3 ซ้ำมารวมกัน จากนั้นนำมูลกุ้งและอาหารทดลองไปวิเคราะห์ค่า  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  และสัดส่วนโปรตีนในมูลกุ้งจำนวน 3 ซ้ำ

## 5. การเก็บข้อมูล

### การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ระหว่างการเลี้ยงสาหร่ายและเลี้ยงกุ้งทดลอง ตรวจสอบคุณภาพน้ำในถังทดลองโดยตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ Orion ปริมาณแอมโมเนียรวม และไนโตรเจน ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972) และความเป็นด่าง (alkalinity) ตามวิธีของ APHA, AWWA and WPCF (1985)

### การศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายของกุ้งขาว

ชั่งน้ำหนักรวมกุ้งในการทดลองและนับจำนวนกุ้งเหลือรอดทุก 2 สัปดาห์ เพื่อหาการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย บันทึกปริมาณอาหารเหลือเพื่อนำไปหาปริมาณอาหารที่กุ้งกินจริงและค่า FCR, PER สิ้นสุดการทดลองเมื่อครบ 12 สัปดาห์หรือเมื่อกุ้งมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักตั้งต้น 10%

### การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล ดังนี้ องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบ ได้แก่ โปรตีนด้วยเครื่องวิเคราะห์โปรตีน TruSpec CN Carbon/Nitrogen Determination ยี่ห้อ LECO วิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยใช้เทคนิค SFE (Supercritical Fluid Extraction) ด้วยเครื่อง Fat Extractor TFE2000 ยี่ห้อ LECO วิเคราะห์หาความชื้น เถ้าและเยื่อใย ตามวิธีของ AOAC (2005) วิเคราะห์องค์ประกอบกรดอะมิโนด้วยเครื่อง HPLC (Agilent 1100 series) ด้วยวิธี Post column และกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ยี่ห้อ Agilent 6890N ใช้ Capillary Column ชนิด DB-23 (60 m x 0.25 mm x 0.25  $\mu$ m) มี Helium Gas เป็น Carrier Gas

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในอาหารกุ้งทดลอง, กุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โปรตีนในอาหารและมูลกุ้งด้วยวิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายทะเล

วิเคราะห์  $Cr_2O_3$  ในอาหารและมูลกุ้งด้วยเครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุ ICP-OES optima 2100 DV และวิเคราะห์โปรตีนในอาหารและมูลกุ้งด้วยวิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์สาหร่าย

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตาย การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการย่อยได้แต่ละชุดการทดลอง โดยวิธี Tukey's HSD (Sokal and Rohlf, 1981) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## ผลการทดลอง

## 1. คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล

นำสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี มีผลวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4 สาหร่ายผักกาดทะเลอายุการเก็บ 1-4 สัปดาห์ที่ผ่านการอบแห้งมีความชื้น 10.29-12.00% และมีคุณค่าทางอาหารไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าโปรตีนอยู่ในช่วง 10.37-11.60% ส่วนไขมันมีค่าอยู่ในช่วง 2.36-2.78% โดยสาหร่ายผักกาดทะเลที่อายุ 1 สัปดาห์มีปริมาณไขมันมากที่สุดเท่ากับ 2.78% ค่าวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบของสาหร่ายผักกาดทะเลที่มีอายุ 8 สัปดาห์ และส่งวิเคราะห์ในรูปแบบสดแสดงในตารางที่ 5 สาหร่ายมีน้ำหนักแห้ง 11.35-13.59% มีโปรตีน 19.83-22.41% ไขมัน 0.25-0.30% และมีคาร์โบไฮเดรตวิเคราะห์ในรูปแบบ NFE 42.16-47.28% เถ้า 26.00-34.96% เยื่อใย 2.75-3.72% และมีพลังงานรวม 287.52-322.59 Kcal/100g

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้น ไขมันและโปรตีนในตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บในแต่ละช่วงเวลา

ชุดการทดลอง	ความชื้น	ร้อยละน้ำหนักแห้ง	
		ไขมัน	โปรตีน
1 สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งเก็บทุก 1 สัปดาห์	10.29	2.78±0.08 <sup>a</sup>	10.37±0.34 <sup>c</sup>
2 สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งเก็บทุก 2 สัปดาห์	11.23	2.53±0.09 <sup>b</sup>	11.60±0.10 <sup>a</sup>
3 สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งเก็บทุก 3 สัปดาห์	12.00	2.36±0.17 <sup>c</sup>	11.08±0.08 <sup>b</sup>
4 สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งเก็บทุก 4 สัปดาห์	11.40	2.39±0.10 <sup>c</sup>	10.58±0.06 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : 1. ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)

2. อักษรที่เหมือนกันในสมมติเดียวกัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบของสาหร่ายผักกาดทะเลที่มีอายุ 8 สัปดาห์

	น้ำหนักแห้ง %	องค์ประกอบ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)					GE (Kcal/100 กรัม)
		โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	
1	11.35	19.83	0.30	2.75	34.96	42.16	287.52
2	13.59	22.41	0.25	3.72	26.34	47.28	322.59

องค์ประกอบกรดอะมิโนและกรดไขมันแสดงในตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บเกี่ยวระยะเวลา 1-4 สัปดาห์มีองค์ประกอบกรดอะมิโนไม่แตกต่างกัน และมีกรดอะมิโนรวม 78.07-85.26% กรดอะมิโนจำเป็น 28.88-34.04% มีกรดอะมิโนชนิดหลักคือ Leucine สูงที่สุด รองลงมาเป็น Arginine, Threonine, Valine และ Phenylalanine ส่วนกรดอะมิโนที่มีปริมาณน้อยคือ Methionine และ Histidine

องค์ประกอบกรดไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลแสดงในตารางที่ 7 กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีค่าสูงในสาหร่ายผักกาดทะเลอายุการเก็บเกี่ยว 3-4 สัปดาห์ ปริมาณกรดไขมัน n-3, n-3HUFA และ n-6 มีมากในสาหร่ายผักกาดทะเลอายุการเก็บเกี่ยว 3-4 สัปดาห์ และพบว่าสาหร่ายอายุการเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์มีสัดส่วน n-3/n-6 มากที่สุดเท่ากับ 1.95 กรดไขมันหลักในสาหร่ายผักกาดทะเล ได้แก่ C16:0, C18:0, C18:1n-9, C18:2n-6 และ C18:3n-3 แต่มี C20:5n-3 (EPA) น้อยและอยู่ในช่วง 0.57-0.76% ส่วนกรดไขมัน C22:6n-3 (DHA) มีเฉพาะในสาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บเกี่ยวในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 และมีค่าเท่ากับ 0.61 และ 1.21% ตามลำดับ

ผลการเจริญเติบโต อัตรารอดตายและประสิทธิภาพการใช้อาหารแสดงใน ตารางที่ 8 กุ้งขาว แวนนาไมที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตรที่ 2,3 และ 4 ให้ผลน้ำหนักเฉลี่ย การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตรารอดตาย อัตราแลกเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสูตรที่ 1 สูตรควบคุมที่มีปลาปน 22% และสูตรที่ 5 และ 6 ( $p>0.05$ )

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อส่วนหางของกุ้งขาวแวนนาไมไม่รวมเปลือก ได้แก่ น้ำหนักแห้ง โปรตีน และเถ้า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) และแสดงในตารางที่ 9 และ 10 น้ำหนักแห้งของกุ้งทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 23.11-24.24% เถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 6.95-7.84% โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 85.53-88.61% น้ำหนักแห้งของกุ้งสูตรที่ 1 และ 2 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ 3,4 และ 6 โดยสูตร 5 มีค่าน้อยที่สุด โปรตีนของกุ้งสูตรที่ 2 และ 5 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ 1, 6 และ 4 ตามลำดับ ส่วนสูตร 3 มีค่าน้อยที่สุด เถ้าในเนื้อกุ้งสูตร 4 และ 6 มีค่าน้อยที่สุด กรดอะมิโนจำเป็นที่เป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตร ได้แก่ Arginine, Leucine และ Lysine ส่วน Histidine มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของกรดอะมิโนพบว่าทุกสูตรมีกรดอะมิโนรวมอยู่ในช่วง 99.98-100.00% และมีกรดอะมิโนจำเป็นอยู่ในช่วง 43.12-45.30%

คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลและบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แสดงใน ตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างสาหร่ายฝักกาดทะเลที่เก็บในแต่ละช่วงเวลา

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (g/100 g โปรตีน)			
	สาหร่ายฝักกาดทะเล			
	เก็บทุก 1 สัปดาห์	เก็บทุก 2 สัปดาห์	เก็บทุก 3 สัปดาห์	เก็บทุก 4 สัปดาห์
<b>Essential Amino Acids (EAA)</b>				
Arginine	4.82	4.31	4.69	4.91
Histidine	0.96	0.86	0.90	0.85
Isoleucine	2.89	2.84	2.26	3.21
Leucine	6.27	6.47	5.23	6.43
Lysine	4.34	3.45	3.34	3.78
Methionine	0.87	0.86	0.63	0.95
Phenylalanine	4.53	3.36	3.79	4.82
Threonine	4.82	4.66	4.24	4.63
Valine	4.53	4.31	3.79	3.97
<b>Non Essential Amino Acids (NEAA)</b>				
Alanine	7.23	7.76	6.59	7.84
Aspartic acid	14.08	13.79	14.08	13.23
Cystine	0.00	0.00	0.00	0.00
Glutamic acid	11.48	11.64	10.47	12.29
Glycine	6.27	5.86	5.69	5.95
Proline	4.05	3.71	5.14	4.91
Serine	5.40	5.00	4.69	5.10
Tyrosine	2.60	1.47	2.53	2.36
<b>Σ Total Amino Acids (AA)</b>	<b>85.15</b>	<b>80.34</b>	<b>78.07</b>	<b>85.26</b>
<b>Σ EAA</b>	<b>34.04</b>	<b>31.12</b>	<b>28.88</b>	<b>33.55</b>
<b>Σ NEAA</b>	<b>51.11</b>	<b>49.22</b>	<b>49.19</b>	<b>51.70</b>
<b>Σ EAA/Σ AA</b>	<b>0.40</b>	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	<b>0.39</b>
<b>Σ EAA/Σ NEAA</b>	<b>0.67</b>	<b>0.63</b>	<b>0.59</b>	<b>0.65</b>

หมายเหตุ ND: Not detected

ตารางที่ 7 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บในแต่ละช่วงเวลา

ชนิดกรดไขมัน	สัดส่วนกรดไขมัน (%Area) ของสาหร่ายผักกาดทะเลเก็บเกี่ยวที่			
	ทุก 1 สัปดาห์	ทุก 2 สัปดาห์	ทุก 3 สัปดาห์	ทุก 4 สัปดาห์
C 10:0	0.43	0.26	0.49	ND
C 11:0	0.36	0.63	0.43	0.31
C 12:0	0.41	0.19	0.28	0.25
C 13:0	1.24	1.41	1.52	1.35
C 14:0	1.28	1.01	1.07	1.49
C 15:0	0.38	0.42	0.39	0.53
C 16:0	25.62	25.10	25.79	28.64
C 16:1	4.42	5.23	4.77	5.04
C 17:0	1.37	1.07	1.06	1.12
C 17:1	1.12	1.23	1.27	1.27
C 18:0	6.49	3.93	5.00	4.00
C 18:1n-9	4.22	2.91	9.84	6.87
C 18:2n-6	3.19	3.45	3.45	4.14
C 18:3n-6	0.58	0.66	0.68	0.56
C 18:3n-3	7.06	8.17	7.87	6.64
C 20:4n-6	0.73	0.39	0.80	0.53
C 22:0	1.04	1.10	1.48	1.23
C 20:5n-3	0.61	0.61	0.57	0.76
C 22:6n-3	ND	ND	0.61	1.21
Other	39.45	42.24	32.64	34.05
<b>Total unsaturated fatty acids</b>	21.93	22.64	29.85	27.04
<b>Total saturated fatty acids</b>	38.62	35.12	37.51	38.91
<b>Total n-3</b>	7.66	8.78	9.06	8.62
<b>n-3 HUFA</b>	0.61	0.61	1.18	1.97
<b>Total n-6</b>	4.50	4.50	4.92	5.24
<b>n-3/n-6</b>	1.70	1.95	1.84	1.65

หมายเหตุ ND: Not detected

ตารางที่ 8 ผลการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง 6 สูตร เป็นเวลานาน 12 สัปดาห์ ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากจำนวน 3 ซ้ำ ( $\bar{x} \pm SD$ )

สูตรที่	น้ำหนัก (กรัมต่อตัว) (เฉลี่ย)		อัตราการเจริญเติบโต โดยน้ำหนัก เพิ่ม (%)	อัตราการรอดตาย (%)	อัตราแลก เนื้อ FCR	ประสิทธิภาพ การใช้โปรตีน PER	ประสิทธิภาพ การย่อย โปรตีน ในอาหาร Di
	เริ่มต้น	12 สัปดาห์					
1.	0.42±0.0	13.51±3.97 <sup>a</sup>	3116±946 <sup>a</sup>	80.8±5.7 <sup>a</sup>	1.34±0.09 <sup>a</sup>	2.67±0.03 <sup>a</sup>	84.04±0.26 <sup>a</sup>
2.	0.42±0.0	11.21±1.26 <sup>a</sup>	2670±301 <sup>a</sup>	87.5±5.0 <sup>a</sup>	1.34±0.20 <sup>a</sup>	2.79±0.43 <sup>a</sup>	84.32±0.49 <sup>a</sup>
3.	0.42±0.0	10.68±0.81 <sup>a</sup>	2443±192 <sup>a</sup>	85.0±7.9 <sup>a</sup>	1.34±0.13 <sup>a</sup>	2.75±0.35 <sup>a</sup>	84.13±0.35 <sup>a</sup>
4.	0.42±0.0	10.76±0.60 <sup>a</sup>	2461±143 <sup>a</sup>	84.2±7.4 <sup>a</sup>	1.42±0.16 <sup>a</sup>	2.73±0.37 <sup>a</sup>	84.31±0.43 <sup>a</sup>
5.	0.42±0.0	11.42±0.79 <sup>a</sup>	2619±143 <sup>a</sup>	90.0±5.4 <sup>a</sup>	1.29±0.08 <sup>a</sup>	2.68±0.14 <sup>a</sup>	81.00±0.19 <sup>a</sup>
6.	0.42±0.0	11.66±1.19 <sup>a</sup>	2677±283 <sup>a</sup>	87.5±6.3 <sup>a</sup>	1.35±0.13 <sup>a</sup>	2.71±0.29 <sup>a</sup>	84.01±0.61 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบของเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) หลังจากให้อาหารทดลอง 6 สูตร เป็นเวลา 12 สัปดาห์

	น้ำหนักแห้ง %	องค์ประกอบ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
		โปรตีน (%)	เถ้า (%)
1	24.24±0.23 <sup>a</sup>	87.18±0.73 <sup>b</sup>	7.57±0.08 <sup>ab</sup>
2	24.23±0.15 <sup>a</sup>	88.61±1.47 <sup>a</sup>	7.84±0.11 <sup>a</sup>
3	23.73±0.30 <sup>b</sup>	85.53±0.37 <sup>d</sup>	7.55±0.13 <sup>ab</sup>
4	23.73±0.41 <sup>b</sup>	86.30±1.07 <sup>c</sup>	7.20±0.13 <sup>cd</sup>
5	23.11±0.21 <sup>c</sup>	88.56±0.32 <sup>a</sup>	7.35±0.06 <sup>bc</sup>
6	23.80±0.19 <sup>b</sup>	87.97±0.32 <sup>b</sup>	6.95±0.15 <sup>d</sup>

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ตารางที่ 10 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) หลังจากให้อาหาร  
ทดลอง 6 สูตร เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมทดลอง (g/100 g โปรตีน)					
	กุ้งสูตร1	กุ้งสูตร2	กุ้งสูตร3	กุ้งสูตร4	กุ้งสูตร5	กุ้งสูตร6
<b>Essential amino acids</b>						
Arginine	9.53	10.59	10.74	10.40	10.26	10.41
Histidine	2.18	1.51	1.33	1.86	1.32	1.26
Isoleucine	3.70	3.28	3.15	3.52	3.30	3.20
Leucine	7.22	7.40	7.33	7.28	7.36	7.40
Lysine	8.07	8.41	8.36	8.05	8.31	8.44
Methionine	2.91	2.43	2.26	2.68	2.32	2.21
Phenylalanine	4.11	3.59	3.61	3.83	3.59	3.64
Threonine	3.77	3.29	3.26	3.59	3.34	3.26
Valine	3.81	3.33	3.26	3.62	3.34	3.30
<b>Non essential amino acids</b>						
Alanine	5.41	5.20	5.20	5.29	5.19	5.27
Aspartic acid	9.60	10.12	10.41	9.94	10.34	10.51
Cysteine	0.74	0.68	0.70	0.79	0.74	0.80
Glutamic acid	15.41	17.13	17.72	16.40	17.63	17.65
Glycine	10.93	12.20	12.00	11.11	12.01	11.53
Proline	5.07	4.38	4.28	4.50	4.56	4.67
Serine	3.96	3.47	3.43	3.71	3.49	3.48
Tyrosine	3.59	3.01	2.99	3.41	2.91	2.97
Taurine	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Σ Total Amino Acids (AA)</b>	100.01	100.02	100.03	99.98	100.01	100
<b>Σ EAA</b>	45.30	43.83	43.3	44.83	43.14	43.12
<b>Σ NEAA</b>	54.71	56.19	56.73	55.15	56.87	56.88
<b>Σ EAA/Σ AA</b>	0.45	0.44	0.43	0.45	0.43	0.43
<b>Σ EAA/Σ NEAA</b>	0.83	0.78	0.76	0.81	0.76	0.76

หมายเหตุ ND : Not detected

ตารางที่ 11 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลระหว่างการทดลอง

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	pH	Alk mg/l	Sal ppt
ค่าเฉลี่ย	0.14±0.24	0.004±0.003	0.81±0.18	0.06±0.06	8.9±0.1	142±13	30±4
ค่าน้อยสุด	0.003	0.002	0.442	0.013	8.74	106	20
ค่ามากที่สุด	0.903	0.013	1.080	0.208	9.12	160	34

ตารางที่ 12 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งระหว่างการทดลอง

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	pH	Alk mg/l	Sal ppt	Temp (°C)		DO mg/l
						สูง	ต่ำ	
ค่าเฉลี่ย	0.26±0.21	0.16±0.13	8.7±0.2	117±24	24±1	29.7±0.8	28.8±0.7	3.2±0.1
ค่าน้อยสุด	0.0219	0.0013	8.37	80	22	29	28	3.09
ค่ามากที่สุด	0.9148	0.3695	9.15	152	27	31	30	3.3

### วิจารณ์ผลการทดลอง

มีการจำแนกสาหร่ายทะเลออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ สาหร่ายสีแดง (Rhodophyceae) สาหร่ายสีเขียว (Chlorophyceae) และสาหร่ายสีน้ำตาล (Pheophyceae) ได้มีการนำสาหร่ายทะเลมาใช้ประโยชน์ทั้งที่เป็นอาหารของมนุษย์โดยตรงและเป็นอาหารสัตว์ อีกทั้งยังใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง ปุ๋ย อาหารเสริมในสัตว์ (Chapman and Chapman, 1980) สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นสาหร่ายทะเลกลุ่มสีเขียวชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Ratana-arporn and Chirapat, 2006) ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการสะสมของโปรตีนในสาหร่ายผักกาดทะเล *U. rigida* มีค่าสูงขึ้นเมื่อสาหร่ายมีอายุมากขึ้น โดยสาหร่ายผักกาดทะเลช่วง 4 สัปดาห์แรกมีโปรตีนเพียง 10.37-11.60% แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 19.83-22.41% เมื่อมีอายุการเลี้ยงประมาณ 8 สัปดาห์ขึ้นไป ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนในสาหร่ายทะเลมีความแปรผันได้ ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิดฤดูกาล (Fleurence, 1999) และนอกเหนือจากโปรตีนแล้วสาหร่ายผักกาดทะเลมีคาร์โบไฮเดรตและเถ้าเป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเดียวกับรายงานของ (Mohamed and Alzaablawy (2005) ที่พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ 15% อีก 50% เป็นแป้งและน้ำตาล และรายงานของอมรรัตน์และคณะ (2551) ที่มีโปรตีน 15.57% และคาร์โบไฮเดรต 54.36% เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายทะเลชนิดอื่นที่มีการรายงานไว้พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลจัดเป็นสาหร่ายที่มีโปรตีนค่อนข้างสูง โดยสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* เป็นสาหร่ายสีแดงที่มีโปรตีนลำดับรองลงมา มีค่าอยู่ในช่วง 10.12% และ 16.91% ส่วนที่มีโปรตีนค่อนข้างต่ำคือสาหร่ายโพรง *Solieria robusta* มีโปรตีนเท่ากับ 10.46% และสาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* มีโปรตีนเท่ากับ 8.71 และ 10.11% (มะลิ 2546; อมรรัตน์ และคณะ 2551)

การสะสมของไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับโปรตีน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีการสะสมของไขมันมากในช่วง 4 สัปดาห์แรก (2.36-2.78%) และมีค่าลดลงเป็น 0.25-0.30% เมื่อมีอายุ 8 สัปดาห์ ซึ่งใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์สาหร่ายผักกาดทะเลในรายงานของ Cyrus *et al.* (2012) ที่มีสัดส่วนไขมัน 0.38% โปรตีน 18.31% ในภาพรวมสาหร่ายผักกาดทะเลในการศึกษานี้ มีการสะสมไขมันในระดับเดียวกับสาหร่ายทะเลชนิดอื่น เช่น *Enteromorpha spp.*(2.2-3.6%) (Aguilera-

Morales *et al.*, 2005) และค่าที่พบในสาหร่ายทะเลทั่วไปอยู่ในช่วง 1-4 % (Chapman and Chapman, 1980; Haroon *et al.*, 2000)

**ตารางที่ 13** แสดงคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเลที่มีอายุการเลี้ยงมากกว่า 4 สัปดาห์  
เปรียบเทียบกับสาหร่ายทะเลชนิดอื่น ๆ

ชนิดสาหร่าย	น้ำหนักแห้ง %	องค์ประกอบ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)					GE (Kcal/100 กรัม)
		โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	
ผักกาดทะเล <sup>1</sup>	12.97	15.57	2.38	5.99	21.70	54.36	294.86
มงกุฎหนาม <sup>1</sup>	7.72	16.91	2.96	4.68	53.05	22.40	168.42
มงกุฎหนาม <sup>2</sup>	8.7	10.12	0.5	5.99	44.96	38.43	219.19
โพรง <sup>1</sup>	5.61	10.46	1.00	2.32	59.60	26.54	138.47
ผมนาง <sup>1</sup>	10.72	10.11	1.33	4.54	26.00	58.02	265.34
ผมนาง <sup>2</sup>	7.34	8.71	0.34	6.37	23.98	60.60	301.34

หมายเหตุ : <sup>1</sup> อมรรัตน์และคณะ (2551) <sup>2</sup> มะลิ (2546)

สาหร่ายผักกาดทะเลที่มีอายุ 8 สัปดาห์ในการศึกษานี้มีเถ้าค่อนข้างสูง (26.34-34.96%) ซึ่ง Ratana-arporn and Chrapart (2006) รายงานว่าเถ้าในสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งของแร่ธาตุ ในการศึกษาดังกล่าวพบว่าสาหร่าย *U. reticulata* มีปริมาณเถ้าค่อนข้างสูง 17.58% สอดคล้องกับ Mohamed and Alzaablawy (2005) รายงานว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอุดมด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ เหล็ก ไอโอดีน อลูมิเนียม แมงกานีส โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นต้น อีกทั้งยังมีวิตามินหลายชนิดทั้งวิตามิน A, B1, C เช่นเดียวกับรายงานของ Cyrus *et al.* (2012) ที่มีโซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่สูง

สาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บเกี่ยวระยะเวลา 1-4 สัปดาห์มีองค์ประกอบกรดอะมิโนรวม 78.07-85.25% โดยน้ำหนักแห้ง มีกรดอะมิโนชนิดหลักคือ Leucine สูงที่สุด รองลงมาเป็น Arginine, Threonine, Valine, Phenylalanine และ Lysine ส่วนกรดอะมิโนที่มีปริมาณน้อยคือ Methionine และ Histidine เมื่อคิดเป็นสัดส่วนกรดอะมิโนจำเป็นมีค่าอยู่ในช่วง 28.97-34.14% ซึ่งน้อยกว่าผลการศึกษาโดย Wong and Cheung (2001) เล็กน้อยที่ศึกษาในสาหร่าย 3 ชนิด ได้แก่สาหร่ายสีแดง 2 ชนิด *Hypnea charoides* และ *Hypnea japonica* และใช้ *Ulva lactuca* เป็นตัวแทนของสาหร่ายสีเขียวพบว่ากรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids; EAAs) ของโปรตีนเข้มข้นจากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีค่าสูงและอยู่ในช่วง 36.2-40.2% ของกรดอะมิโนรวม โดยมี Leucine Valine และ Threonine สูงเช่นกัน ทั้งนี้ Wong and Cheung (2000) รายงานว่า *U. lactuca* มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความต้องการของ FAO/WHO และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในกุ้งขาวแวนนาไม (Lim, 1993) พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลในการศึกษานี้มีกรดอะมิโนจำเป็นถึง 5 ชนิดที่มีค่าใกล้เคียงกับกุ้งขาวแวนนาไม ได้แก่ Leucine, Isoleucine, Valine, Threonine และ Phenylalanine

กรดไขมันไม่อิ่มตัว ปริมาณกรดไขมัน n-3, n-3HUFA และ n-6 มีสัดส่วนสูงในสาหร่ายผักกาดทะเลอายุการเก็บเกี่ยว 3-4 สัปดาห์ กรดไขมันหลักในสาหร่ายผักกาดทะเล ได้แก่ C16:0, C18:0, C18:1n-9, C18:2n-6 และ C18:3n-3 แต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สำคัญต่อสัตว์น้ำอันได้แก่ C20:5n-3 (EPA) น้อยและอยู่ในช่วง 0.57-0.76% ส่วนกรดไขมัน C22:6n-3 (DHA) มีเฉพาะในสาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บเกี่ยวในสัปดาห์ที่

3 และ 4 และมีสัดส่วนเท่ากับ 0.61 และ 1.21% ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Ratana-arporn and Chrapart (2006) ที่พบว่ากรดไขมันชนิด C16:0 เป็นกรดไขมันที่สะสมในสาหร่ายผักกาดทะเลมากที่สุด ในขณะที่มีกรดไขมันจำเป็นชนิด EPA และ C20:4n-6 น้อย จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แสดงให้เห็นว่าอายุของสาหร่ายมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ สาหร่ายผักกาดทะเลที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารควรจะมีอายุตั้งแต่ 4 สัปดาห์ขึ้นไป เนื่องจากสะสมทั้งโปรตีนและกรดไขมันจำเป็นเมื่อมีอายุมากขึ้น

กุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีส่วนผสมสาหร่ายผักกาดทะเลระดับต่างๆ ให้ผลน้ำหนักเฉลี่ย การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตรารอดตาย อัตราแลกเปลี่ยนเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่นและกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก การย่อยโปรตีนได้ในอาหารที่ผสมด้วยสาหร่ายผักกาดทะเล 6-12% ประมาณ 84% ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้กากถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม 20% ในการศึกษาครั้งนี้และใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wong and Cheung (2001) ที่ประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนเข้มข้นจากสาหร่ายทะเล (seaweed protein concentrates (PCs)) 2 กลุ่ม ได้แก่สาหร่ายสีแดง 2 ชนิด *H. charoides* และ *H. japonica* และสาหร่ายสีเขียว *U. lactuca* พบว่าการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนจาก PCs ในระบบ in vitro ของสาหร่ายสีแดงทั้ง 2 ชนิดเท่ากับ 88.7% และ 88.9% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าการย่อยได้ของสาหร่ายสีเขียวเท่ากับ 85.7%

การเสริมอาหารกุ้งขาวแวนนาไมด้วยสาหร่ายผักกาดทะเลระดับต่างๆ ที่ให้ผลการเจริญเติบโต อัตรารอดตายและประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ไม่แตกต่างกันนั้น แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลนอกจากเป็นแหล่งโปรตีนแล้ว อาจมีสารอาหารอื่นนอกจากสารอาหารหลักที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อกุ้งขาวแวนนาไม (Mohamed and Alzaablawy, 2005) ซึ่งอาจคล้ายกันกับการใช้ไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียวชนิด *Nannochloropsis* ที่ใช้เสริมในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม ที่มีสารอาหารสำคัญอื่นนอกเหนือจากสารอาหารหลัก (Ju *et al.*, 2009) สาหร่ายผักกาดทะเลอาจให้สารสีธรรมชาติ ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยเสริมสร้างโปรตีน (Cyrus *et al.*, 2012) โดย *U. rigida* มีสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ 6.7% (Shuuluka, 2011) และกุ้งขาวแวนนาไมที่เสริมด้วย *U. clathrata* มีสีแดงเข้มหลังจากการต้ม (Cruz-Suarez *et al.*, 2008)

กุ้งขาวแวนนาไมจัดเป็นสัตว์ที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) โดยมีแนวโน้มไปทางกินพืช สามารถใช้สารอาหารจากพืชได้ดี ซึ่งวัตถุดิบจากพืชนั้นมีแป้งและโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก (Cuzon *et al.*, 2004) สอดคล้องกับผลการศึกษาค้นคว้าที่พบว่าการผสมสาหร่ายผักกาดทะเล 6-12% ในอาหารให้ผลประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารไม่แตกต่างจากการใช้ปลาป่นหรือกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก ระดับโปรตีน 38.78% ในอาหารสูตรที่เสริมด้วยผักกาดทะเลระดับสูงสุด 12% นี้มีค่าสูงกว่าในรายงานของ Arena (2004) ที่พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมสามารถใช้แป้งได้ในระดับสูงและช่วยสำรองโปรตีน ทำให้สามารถลดระดับโปรตีนในอาหารลงเหลือ 30% และในรายงานของ Cuzon *et al.* (2004) ที่พบว่าสามารถลดโปรตีนในอาหารกุ้งขาวแวนนาไมได้ต่ำถึง 25-30% ต่อระดับพลังงาน 16-17 kJ/g แต่ในการศึกษาดังกล่าวนั้นใช้โปรตีนจากสัตว์เป็นหลัก (หมึกป่นและเคซีน)

สาหร่ายผักกาดทะเลในการศึกษานี้มีคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 54% จึงอาจเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อกุ้งขาวแวนนาไม Cuzon *et al.* (2004) รายงานว่ากุ้งขาวแวนนาไมสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดี สามารถใส่วัตถุดิบจากพืชในอาหารได้ในปริมาณสูง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะลดปลาป่นในสูตรอาหารได้อีก Amaya *et al.* (2007) ได้รายงานที่สามารถแทนที่ปลาป่นในอาหารกุ้งขาวแวนนาไมได้ 100% โดยใช้กากถั่วเหลืองและคอนกลูเทินในอาหารเท่ากับ 39.6% และ 4.8% ตามลำดับ สำหรับการศึกษานี้สามารถใช้สาหร่ายผักกาดทะเลเสริมในอาหารได้ ถึง 120 g/kg ทั้งนี้กุ้งขาวแวนนาไมอาจมีการยอมรับอาหารที่มีสาหร่ายผักกาด

ทะเลเป็นส่วนผสมได้ดี ซึ่ง Cyrus *et al.* (2012) รายงานว่าการเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลปริมาณสูงในอาหารช่วยกระตุ้นการกินอาหาร (feeding stimulant) ของเม่นทะเล (sea urchin) ได้ สำหรับการเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลในการศึกษาครั้งนี้มีสัดส่วนที่มากกว่าการศึกษาของ Cruz-Suarez *et al.* (2008) ที่ผสม *U. clathrata* ในอาหาร 33 g/kg ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม 28 วัน

ผลจากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าสามารถใช้สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นวัตถุดิบโปรตีนเสริมในอาหารกุ้งขาวแวนนาไมเพื่อลดการใช้ปลาป่นได้และให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้กากถั่วเหลือง สัดส่วนผักกาดทะเลที่สามารถเสริมในอาหารได้อยู่ในช่วง 6-12% โดยสามารถลดปลาป่นในอาหารได้ 14% ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างจากอาหารที่มีปลาป่น 22% อายุของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัตถุดิบโปรตีนควรมีอายุมากกว่า 1 เดือนขึ้นไป การวิจัยต่อไปควรศึกษาผลของการใช้สาหร่ายผักกาดทะเลเสริมในอาหารต่อระบบภูมิคุ้มกันหรือการต้านทานเชื้อโรคของกุ้งขาวแวนนาไมรวมทั้งรสชาติและสีส้มของเนื้อกุ้ง เปรียบเทียบกับการใช้กากถั่วเหลืองแทนที่ปลาป่น

## เอกสารอ้างอิง

- ณาดยา ศรีจันทิก. 2558. สถานการณ์สินค้ากุ้งทะเลและผลิตภัณฑ์ในช่วง 9 เดือนแรก ปี 2558. จุลสารเศรษฐกิจการประมงประจำปี2558. กรมประมง. 13 หน้า.  
<http://fishco.fisheries.go.th/fisheconomic/pages/fish%20max.html>.
- มะลิ บุญรัตผลิน. 2546. รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาอาหารสำเร็จเพื่อการผลิตหอยเป่าฮื้อเชิงพาณิชย์. สำนักงานวิชาการ, กรมประมง. 205 หน้า.
- อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุล มณฑกานติ ท้ามตัน และ สิริพร ลือชัย ชัยกุล.2551 การประเมินคุณค่าทางอาหารของอาหารสำเร็จรูปและสาหร่ายชนิดต่าง ๆ จำนวน 4 ชนิดที่มีต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของหอยเป่าฮื้อ (*Haliotis asinina* Linnaeus, 1758). เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2551. ราชการบริหารส่วนกลาง, กรมประมง. 17 หน้า.
- อนัญญา พชรโพธิ์วัฒน์. 2558. สถานการณ์สินค้าปลาเปิดปลาป่นของไทยปี 2558.จุลสารเศรษฐกิจการประมงประจำปี 2558. กรมประมง.6 หน้า.[http://fishco.fisheries.go.th/fisheconomic/pdf/สถานการณ์ปลาเปิดปลาป่นq4\\_2558.pdf](http://fishco.fisheries.go.th/fisheconomic/pdf/สถานการณ์ปลาเปิดปลาป่นq4_2558.pdf)
- Aguilera-Morales, M., M. Casas-Valdez, S. Carrillo-Dominguez, B. Gonzalez-Acosta, F. Perez-Gil. 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.
- Amaya, E. A., D. A. Davis and D. B. Rouse. 2007. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture* 262 (2-4) :393-401.
- APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16<sup>th</sup> ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 1,268 pp.
- Arena, L. 2004. Polymorphism of amylases and growth performances with starch utilization by *L. vannamei* from wild or domesticated origins. These EPHE Paris, 120 pp.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. Animal feed. In: Horwitz, W. (ed.), Official Methods of Analysis of AOAC International, 18<sup>th</sup> ed. AOAC International, Maryland. 1-48.
- Chapman, V. J. and D.J. Chapman. 1980. Seaweeds and Their Uses. Chapman and Hall, London.
- Coranzi, D. and J.E. Illanes. 1998. Growth of juvenile, *Haliotis discus hannai* Ino 1953 and *Haliotis rufescens* Swainson 1822, fed with difference diets. *J. Shellfish Res.* 17:663-666.
- Cruz-Suarez, L.E., M. Tapia-Salazar, M.G. Nieto-Lopez, C. Guajardo-Barbosa and D. Ricque-Marie. 2008. Comparison of *Ulva clathrata* and the kelps *Macrocystis pyrifera* and *Ascophyllum nodosum* as ingredients in shrimp feeds. *Aquaculture Nutrition* 15: 421-430.
- Cuzon, G., A. Brito, L. Jimenez-Yan, R. Brito, G. Garcia Tomas and G. Gaxiola. 2004. The effects of animal or plant-based diets on energy partitioning in selected ontogenetic stages

- of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. **In:** Cruz Sauares, L. E., D. Ricque Marie, MG. Nieto Lopez, D. Villarreal, U.Y. Scholz and M. Gonzalez, 2004. Avances en nutricion acuicola VII. Memorias del VII Simposium internacional de nutricion acuicola. 16-19 Noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, Mexico.
- Cyrus, M., J.J. Bolton, L. De Wet and B. Macey. 2012. The development of a formulated feed containing Ulva (Chlorophyta) to promote rapid growth and enhanced production of high quality roe in the sea urchin *Tripneustes gratilla* (Linnaeus). *Aquaculture Research* 45 (1):159-176.
- Davis, D. A. and C. R. Arnold. 2000. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 185: 291-298.
- Divakaran, S., M. Velasco, E. Beyer, I. Forster and A. Tacon. 2000. Soybean meal apparent digestibility for *Litopenaeus vannamei*, including a critique of methodology. **In:** Cruz-Sauares, L. E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.A. Olvera-Novoa, M.Y R.-Civera Cerecedo, (Eds.). Avances en nutricion acuicola V. Memorias del V Simposium internacional de nutricion acuicola. 19-22 Noviembre, 2000. Merida, Yucatan, Mexico.
- Fleurence, J. 1999. Seaweed proteins:biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science and Technology* 10:25-28.
- Haroon, A.M., A.Szaniawska, M., Normant, U., Janas, 2000. The biochemical composition of *Enteromorpha* spp. from the Gulf of Gdansk coast on the Southern Baltic Sea. *Oceanologia* 42 (1): 19–28.
- Ju, Y., I.P. Forster and W.G. Dominy. 2009. Effects of supplementing two species of marine algae or their fractions to a formulated diet on growth, survival and composition of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 292:237–243.
- Lewmanomont, K. and H. Ogawa. 1995. Common seaweeds and seagrasses of Thailand. Integrated Promotion Technology Co.,Ltd. 163 pp.
- Lim, C. 1993. Effect of dietary pH on amino acid utilization by shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 114: 293–303.
- Mohamed, K. and E. Alzaablawy. 2005. Utilization some of seaweeds in poultry diets. M.Sc. thesis. Agricultural sciences (Environment and Biological Agriculture), Department of Environment and Biological Agriculture. Faculty of Agriculture, AlAzhar University. 70 pp.
- Ratana-arporn, P. and A. Chirapat. 2006. Nutritional evaluation of tropical green seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Ulva reticulata*. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 40 (Suppl.): 75-83.
- Shuuluka, D. 2011. Ecophysiological studies of three South African Ulva species from integrated seaweed abalone aquaculture and natural populations. Ph.D. thesis, Botany Department. University of Cape town.
- Sokal R. and F. Rohlf. 1981. Biometry. 2na Ed., Freeman and Co. 859 p.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2<sup>nd</sup> ed. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa. 311 pp.

- Tacon, A.G.J. and U. C. Barg. 1998. Major challenges to feed development for marine and diadromous finfish and crustacean species. *In: De Silva, S.S. (Ed.), Tropical Mariculture. Academic Press, San Diego, CA, USA. 171 – 208.*
- Wong, K. H. and P. C. K. Cheung. 2000. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds: Part I proximate composition, amino acid profiles and some physicochemical properties. *FoodChemistry* 71 (4) :475-482.
- Wong, K. H. and P. C. K. Cheung. 2001. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds Part II. In vitro protein digestibility and amino acid profiles of protein concentrates. *FoodChemistry*.72 (1): 11-17.