

ผลของสารสกัดจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดต่อการเจริญเติบโตและความเข้มสีของกุ้งขาวแวนนาไม

EFFECT OF FRESHWATER RED ALGAE (*Caloglossa beccarii*) EXTRACT ON GROWTH AND PIGMENTATION OF PACIFIC WHITE SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*)

วัฒนา วัฒนกุล^{*1} อุไรวรรณ วัฒนกุล¹

Wattana Wattanakul^{*1}, Uraiwan Wattanakul¹

^{*1} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

* Corresponding Author E-mail: wattanakul67@gmail.com

บทคัดย่อ

สาหร่ายสีแดงน้ำจืด (*Caloglossa beccarii* DeToni) มีรงควัตถุให้สีอยู่ในกลุ่มของแคโรทีนอยด์อย่างเด่นชัด มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเร่งสีในสัตว์น้ำ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทดลองใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดในการปรับปรุงสีของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดต่อการเจริญเติบโตและความเข้มสีของกุ้งขาว ที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่ระดับแตกต่างกันคือ 0 (ชุดควบคุม), 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (mg/kg) ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 4 เดือน ในตู้กระจก และวัดสีผิวของกุ้งโดยใช้เครื่องวัดสีระบบ CIE ($L^*a^*b^*$) พบว่า ทุกระดับของการผสมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดในอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไม ($P>0.05$) และกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสารสกัดหยาบจากสาหร่าย (100-300 mg/kg) มีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำกว่ากุ้งขาวในชุดควบคุมที่ไม่เสริมสารสกัดจากสาหร่าย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกุ้งขาวชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ยความสว่างสูงที่สุด เท่ากับ 35.71 ± 1.14 และค่าเฉลี่ยของสีแดง (a^*) มีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ 6 (250 mg/kg) มีค่าเท่ากับ 7.86 ± 1.72 สูงกว่ากุ้งขาวในชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนค่าเฉลี่ยสีเหลือง (b^*) พบว่า ทุกระดับของการผสมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดในอาหารไม่มีผลต่อค่าสีเหลือง ($P>0.05$)

คำสำคัญ: สาหร่ายสีแดงน้ำจืด สารสี กุ้งขาวแวนนาไม

วันที่รับบทความ 5 มีนาคม 2564

วันแก้ไขบทความ 17 มีนาคม 2564

วันตอบรับบทความ 20 มีนาคม 2564

ABSTRACT

Freshwater red alga (*Caloglossa beccarii* DeToni) are predominantly colored in the carotenoids. It is suitable for applies as a colorant in ornamental aquatic animals. Thus, the using freshwater red algae crude extracts to improve the color of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) was used in this experiment. This research aimed to study the effect of crude extracts from red algae extracted with absolute ethanol on growth performance and skin color of shrimps with commercial diets containing freshwater red alga crude extracts at seven inclusion levels (0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 mg/kg). The diets were given to shrimps for 4 months period and the skin color of shrimp was measured by using a colorimeter with the system CIE ($L^*a^*b^*$). The results showed that all levels of concentrations crude extracts were not effect on growth performance and survival rate ($P>0.05$). The lightness value (L^*) was highest in white shrimp fed by diet control group (0 mg/kg) with the lightness value of 35.71 ± 1.14 ($P<0.05$). The redness (a^*) was highest in white shrimp fed by diet supplement with 250 mg/kg crude extracts (7.86 ± 1.72) and higher than white shrimp in control group ($P<0.05$). All levels of concentrations crude extracts supplement in diet were not effect on yellowness (b^*) ($P>0.05$).

Keywords: Freshwater Red Alga (*Caloglossa beccarii* DeToni), Pigments, Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

1. บทนำ

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และมีการส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทยในปัจจุบัน [1] ซึ่งตลอดช่วงปี พ.ศ. 2563 ที่ผ่านมาได้มีการแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา-19 ไปทั่วโลก ส่งผลให้ธุรกิจการเลี้ยงกุ้งทะเลประสบปัญหาไปด้วย เป็นต้นว่า ปัญหาการส่งออก ตลอดจนปัญหาเรื่องราคาที่ตกต่ำลงอย่างมาก ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่เป็นสาเหตุที่กุ้งขาวแวนนาไมราคาตกต่ำลง ได้แก่ ปัญหาในด้านคุณภาพที่ตลาดต้องการ คือ สีของกุ้งขาวหลังการต้ม เพราะกุ้งขาวที่เกษตรกรเลี้ยงนั้นมีสีหลังจากการต้มไม่เป็นสีแดงเข้มตามที่ตลาดต้องการ ทำให้ห้องเย็นรับซื้อกุ้งในราคาลดลง ซึ่งการที่จะเพิ่มระดับสีของกุ้งขาวแวนนาไมนั้นสามารถทำได้โดยการเสริมสารสีแคโรทีนอยด์ลงในอาหารกุ้ง เพื่อให้กุ้งมีปริมาณสารสีซึ่งเป็นสารประกอบแคโรทีนอยด์สะสมในตัวมากขึ้น ทำให้สีของตัวกุ้งเข้มขึ้น และเมื่อผ่านการต้มในกระบวนการแปรรูปจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีแดงเข้มตรงกับความต้องการของผู้บริโภค วิธีการเพิ่มสารสีในอาหารถือเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งวิธีการเสริมสารสีในอาหารเพื่อการเร่งสีนั้นเป็นวิธีการที่นิยมทำกันมากในการเลี้ยงปลาสวยงามที่ต้องการเร่งสีเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปลาสวยงาม และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มระดับสีในกุ้งขาวแวนนาไมได้ แต่ก็เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตกุ้งขาวตามไปด้วย เพราะสารประกอบแคโรทีนอยด์ในห้องตลาดมีราคาแพง ซึ่งถ้าหากใช้สารสีที่เป็นแหล่งสารสีที่อาจช่วยลดต้นทุนในการใช้สารสีที่มีราคาแพงได้

คณะผู้วิจัย เล็งเห็นความสำคัญที่โครงการวิจัยดังกล่าว ในการแก้ไขปัญหากุ้งขาวแวนนาไมสีแดงเข้มให้กับเกษตรกร โดยให้ความสนใจในประเด็นของการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายสีแดงน้ำจืด (*Caloglossa beccarii*)

DeToni) ซึ่งมีอยู่ตามน้ำตกของจังหวัดนครศรีธรรมราช ในการปรับปรุงคุณภาพสีของกุ้งขาวแวนนาไม เนื่องจากสาหร่ายสีแสดน้ำจืดนี้เป็นสาหร่ายที่สามารถสร้าง และสะสมแคโรทีนอยด์ได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับพืชและสัตว์อื่น ๆ [2] ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ เป็นการประยุกต์ใช้แคโรทีนอยด์จากสาหร่ายน้ำจืด เพื่อใช้เป็นแหล่งของสารสีที่มีประสิทธิภาพในอาหารกุ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารสกัดหยาบ (crude extract) จากสาหร่ายสีแสดน้ำจืดเสริมในอาหารสำเร็จรูปเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ทั้งในแง่การเพิ่มการเจริญเติบโต และเพิ่มระดับสีของกุ้ง ให้ตรงตามความต้องการของตลาด เป็นการปรับปรุงคุณภาพผลผลิต และเพิ่มมูลค่ากุ้งขาวเพื่อการส่งออกได้เป็นอย่างดี

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันกุ้งขาวแวนนาไม เป็นกุ้งทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และมีการส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย โดยผลจากการสำรวจผลผลิตของฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลปี 2561 [1] แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมปัจจุบัน ได้แก่ ปัญหาเรื่องราคาที่ตกต่ำลงจากเดิมเป็นอย่างมาก ซึ่งสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ราคาตกต่ำในการเลี้ยงกุ้งทะเล ได้แก่ ปัญหาในด้านคุณภาพที่ตลาดต้องการ คือ สีของกุ้ง ซึ่งมักพบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารที่มีสารสีแคโรทีนอยด์ไม่เพียงพอจะมีสีซีด (สีฟ้า) เมื่อนำไปผ่านการต้มในกระบวนการแปรรูป จะได้ผลิตภัณฑ์กุ้งต้มที่มีสีเหลืองส้ม ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ถ้าหากมีสีไม่แดงเข้ม ทำให้ห้องเย็นรับซื้อกุ้งในราคาลดลง จึงเป็นสาเหตุที่กุ้งขาวแวนนาไมราคาตกต่ำ [3] การเสริมสารประกอบแคโรทีนอยด์ลงในอาหารกุ้ง ถือเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจาก สารประกอบแคโรทีนอยด์มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับการสะสมแอซตาแซนทินของกุ้ง เมื่อกุ้งกินอาหารที่มีแคโรทีนอยด์เข้าไปจะเกิดการสะสมในร่างกายเป็นเหตุให้สีของตัวกุ้งเข้มขึ้นเมื่อผ่านการต้มในกระบวนการแปรรูป จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีแดงส้มที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค แต่ก็เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตไปด้วย เพราะสารประกอบแคโรทีนอยด์ในท้องตลาดมีราคาแพง ในขณะที่ราคาขายกุ้งขาวแวนนาไมค่อนข้างจะต่ำ [3]

แคโรทีนอยด์เป็นสารสีที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ โดยเฉพาะการทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ตลอดจนมีส่วนสำคัญในการเกิดสี ซึ่งสีจากแคโรทีนอยด์จะแสดงออกในเนื้อสีของสีเหลือง ส้ม และแดง โดยการแสดงออกของสีแดงเป็นแคโรทีนอยด์ ชนิดแอซตาแซนทิน (astaxanthin) แคโรทีนอยด์ที่ใช้เสริมในอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นสารสังเคราะห์ เช่น บีต้าแคโรทีน และแอซตาแซนทิน ซึ่งมีราคาแพง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น นักวิจัยทางด้านอาหารได้มีการศึกษาการใช้สาหร่ายผสมในอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากสาหร่ายมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง นอกจากนั้นยังมีกรดอะมิโน กรดอินทรีย์ นอกจากนั้นสาหร่ายบางชนิดสามารถใช้เร่งสีในสัตว์น้ำอีกด้วย [4] เช่นในสาหร่ายสีแสดน้ำจืด (*C.beccarii*) ซึ่งมีปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ [2] โดย [5] ได้ทำการทดลองใช้สารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแสดน้ำจืดเสริมในอาหาร (ที่ระดับ 25-100 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) เพื่อเพิ่มความเข้มของสีผิวปลาทอง พบว่า ค่าสี a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของการเสริมในอาหารทดลอง และสามารถปรับปรุงสีของปลาทองได้

3. วิธีการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) [6] โดยศึกษาระดับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ (crude extract) จากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดเสริมในอาหารเม็ดกุ้งขาวแวนนาไมสำเร็จรูป (โปรตีน 32%) ที่ต่างกัน 7 ระดับ (7 ชุดการทดลอง) ระดับละ 3 ซ้ำ คือ 0, 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 มก.ต่ออาหาร 1 กก. (mg/kg)

3.2 การเตรียมระบบเลี้ยง

ทดลองเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 50x100x50 ซม. เติมน้ำทะเลสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน 25 ppm [7] 150 ลิตร แต่ละตู้ทดลองมีระบบน้ำหมุนเวียนภายใน และให้อากาศตลอดเวลาโดยใช้สายยาง และหัวทราย

3.3 การเตรียมสาหร่ายสีแดงน้ำจืด (*C. beccarii*)

เก็บสาหร่ายจากน้ำตกในเตา จ.นครราชสีมา (N 07° 57.515; E 099° 46.474) โดย [2] นำสาหร่ายสดที่ได้มาล้างทำความสะอาด ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-60 °C และเก็บในตู้เย็น ตามวิธีการของ [5]

3.4 การเตรียมสารสกัดหยาบของ carotenoid จากสาหร่าย

ทำการสกัดสาหร่ายด้วยการดัดแปลงตามวิธีของ [8] โดยนำสาหร่ายอบแห้ง 25 กรัม มาบดให้ละเอียด ใส่ในขวดสีชา จากนั้นเติมเอทานอล 95% v/v 500 มิลลิลิตร นำไปทำให้เซลล์แตกด้วยคลื่นความถี่สูงนาน 5 นาที และแช่ทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง 3 วัน แล้วนำสารละลายไปปั่นแยกเซลล์ที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เก็บสารละลายที่ได้นำไปกลั่นระเหยสุญญากาศจนได้สารสกัดอยู่ในรูป crude extract นำไปชั่งน้ำหนักและเก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อทำการทดลองต่อไป

3.5 การเตรียมกุ้งทดลอง

นำลูกกุ้งขาวแวนนาไม ระยะ P15 จากฟาร์มเพาะฟักลูกกุ้งของเอกชน มาอนุบาลในบ่อซีเมนต์ขนาด 1.5X4 X1 เมตร ให้อาหารสำเร็จรูปทางการค้าวันละ 2 ครั้ง จนกระทั่งลูกกุ้งเคยชินกับอาหารเม็ด อนุบาลจนได้ลูกกุ้งหนักประมาณ 3-5 กรัม หรือขนาด 5-7.5 เซนติเมตร หลังจากนั้นสุ่มกุ้งไปเลี้ยงในตู้กระจกทดลอง จำนวน 30 ตัว/ตู้ ทำการชั่งน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของกุ้งในทุกชุดการทดลอง

3.6 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปกุ้งขาวแวนนาไม มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 40% ไขมันไม่ต่ำกว่า 3% นำสารสกัดหยาบจากสาหร่ายมาละลายใน absolute ethanol ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันตามแผนการทดลอง แล้วไปสเปรย์ให้ทั่วเม็ดอาหาร ผึ่งลมให้แห้ง อาหารที่ผลิตแล้วเก็บในถุงสีดำเพื่อป้องกันแสง เก็บในตู้เย็น

3.7 อาหารและการให้อาหาร

ให้อาหารทุกวัน ๆ ละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) ไม่เกิน 10% ของน้ำหนักตัวต่อวัน ให้จนถึงกินอิ่ม (Satiation) ไม่ให้เผื่อเหลือ เพื่อให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริง บันทึกน้ำหนักอาหารที่กิน เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการแลกเนื้อ (FCR) และปรับปริมาณอาหารตามปริมาณการกินอาหารของกุ้ง

3.8 การเก็บข้อมูล และขอบเขตการศึกษา ดังนี้

3.8.1 การศึกษาการเจริญเติบโต

ทำการสุ่มตัวอย่างกุ้งจากทุกชุดการทดลอง จำนวน 15 ตัว/ตู้ เพื่อชั่งน้ำหนักทุก ๆ เดือน ทำการทดลองเลี้ยง 4 เดือน และนำมาศึกษาการเจริญเติบโต (ในรูปค่าเฉลี่ยของข้อมูล) โดยใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

1. น้ำหนักเฉลี่ย (Average Weight, กรัม) = (น้ำหนักกุ้งทั้งหมด/จำนวนกุ้งทั้งหมด)

2. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (WG, %) = $100 \times (\text{น้ำหนักกุ้งเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง} - \text{น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น}) / \text{น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น}$
3. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate: SGR, % ต่อวัน)

$$= 100 \times (\ln \text{ น.น. กุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{ น.น. กุ้งเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}) / \text{จำนวนวันที่ทดลอง}$$
4. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน (Average Daily Growth : ADG, กรัมต่อวัน)

$$= (\text{น้ำหนักกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักกุ้งเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}) / \text{จำนวนวันที่ทดลอง}$$
5. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) = $\text{น้ำหนักอาหารที่กินทั้งหมด (ก.)} / \text{น้ำหนักกุ้งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น (ก.)}$
6. อัตรารอดตาย (Survival Rate: SR, %) = $(\text{จำนวนกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} / \text{จำนวนกุ้งเริ่มการทดลอง}) \times 100$

3.8.2 การศึกษาความเข้มของสีกุ้ง

สุ่มเลือกกุ้งจากทุกชุดการทดลองจำนวนข้างละ 5 ตัว นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 นาที เพื่อวัดสีกุ้งทั้งเปลือกในระบบ CIE LAB ($L^*a^*b^*$) ด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ (Hunter lab Colorimeter) ช่องเปิดขนาด 8.00 มิลลิเมตร นำตัวอย่างกุ้งวางให้ตรงบริเวณข้อที่ 2 นับจากหัวตรงกับช่องเปิด ปิดด้วยกลองสีดำ เพื่อป้องกันแสงจากภายนอก วัดค่าสีเฉลี่ย 3 จุดในการวัด 1 ครั้ง โดยที่ L^* เป็นผลการวัดค่าความสว่าง a^* เป็นค่าของสีแดงและสีเขียว และ b^* เป็นค่าของสีเหลืองและสีน้ำเงิน [9]

3.8.3 การศึกษาคุณภาพน้ำ

ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก ๆ 2 สัปดาห์ ตลอดการทดลอง โดยดัชนีที่จะใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท ความเค็มวัดด้วย Salino meter ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ด้วย pH meter (Clean รุ่น pH 500B) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (วัดด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบดิจิตอล YSI Model 650 MDS) ความเป็นต่างของน้ำ (ด้วยวิธีการ Titration) แอมโมเนียรวม และไนไตรท์

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทำการหาค่าการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และความเข้มของสีกุ้ง ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลอง ด้วยวิธี Duncan's New multiple range test : DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

4. ผลการวิจัย

ผลการทดลองเสริมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 mg/kg ใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 2.64 ± 0.21 กรัม เป็นเวลา 4 เดือน ดังนี้

4.1 การเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการตาย

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในเดือนที่ 4 พบว่า อัตราการเจริญเติบโต ทางด้านน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) ของกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารทั้ง 5 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 972.40 ± 36.81 - $1,079.47 \pm 70.73$ เปอร์เซ็นต์, 1.98 ± 0.03 - 2.05 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และ 0.22 ± 0.01 - 0.24 ± 0.01 กรัมต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

อัตราการแลกเนื้อ (FCR) ของกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารเม็ดกุ้งขาวแวนนาไมสำเร็จรูปที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า กุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดในชุดการทดลองที่ 6

(250 mg/kg) มีค่าอัตราแลกเนื้อ 1.64 ± 0.08 ต่ำกว่ากึ่งในชุดการทดลองที่ 7 ($P < 0.05$) ซึ่งมีอัตราแลกเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 1.97 ± 0.08 แต่ไม่แตกต่างกับกึ่งในชุดการทดลองที่ 4, 5, 1, 3 และ 2 ตามลำดับ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 1)

อัตราการตายของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยอัตราการตายเฉลี่ย มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 84.45 ± 6.94 ถึง 90.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

4.2 ระดับสีของกุ้งขาวแวนนาไม

หลังสิ้นสุดการทดลอง นำกุ้งไปต้มในน้ำเดือด 3 นาที วัดสีกุ้งทั้งเปลือกตรงบริเวณข้อที่ 2 นับจากหัวในระบบ CIE ($L^*a^*b^*$) พบว่า ค่า L^* (ค่าความสว่าง) ของกุ้งที่เลี้ยง มีค่าอยู่ในช่วง 33.37 ± 1.58 ถึง 35.71 ± 1.14 ซึ่งกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารไม่ผสมสารสกัดในทุกควบคุม มีค่า L^* สูงที่สุด สูงกว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารผสมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายในชุดการทดลอง 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 33.87 ± 1.28 , 33.75 ± 1.22 , 33.51 ± 1.56 , 33.48 ± 1.33 และ 33.37 ± 1.58 ตามลำดับ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 1 และภาพที่ 4)

ค่า a^* (ค่าสีแดง) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.64 ± 1.53 ถึง 7.86 ± 1.72 โดยกุ้งขาวที่ได้รับอาหารชุดการทดลองที่ 6 (250 mg/kg) มีค่าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 7.86 ± 1.72 สูงกว่ากุ้งขาวในชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) ซึ่งมีค่า a^* ต่ำที่สุด เท่ากับ 6.64 ± 1.53 ($P < 0.05$) แต่ค่า a^* ของกุ้งที่ได้รับอาหารทดลองที่ผสมสารสกัดหยาบในทุกชุดการทดลอง (ชุดการทดลองที่ 2-7) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 2 และภาพที่ 4)

ส่วนค่า b^* (ค่าสีเหลือง) ของกุ้งขาวแวนนาไม พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 11.25 ± 1.40 ถึง 11.68 ± 1.55 ซึ่งกุ้งขาวที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบของสาหร่ายในทุกชุดการทดลอง และชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 1-7) มีค่า b^* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 3 และภาพที่ 4)

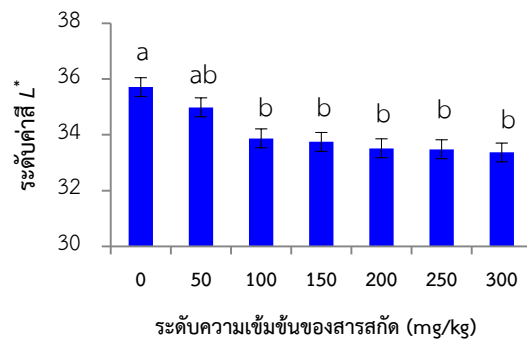
ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม 4 เดือน พบว่า ความเค็มมีค่าอยู่ระหว่าง 25.00-29.50 ppt, อุณหภูมิของน้ำ 28.75 - 29.23 °C, ความเป็นกรด-ด่าง 7.50-8.30, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 6.10-7.35 mg/L, ความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 101.45-128.30 mg/L, แอมโมเนีย 0.30-0.58 mg/L, และไนไตรท์ 0.20-0.80 mg/L ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่กุ้งขาวแวนนาไมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติ

ตารางที่ 1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ADG) อัตราแลกเนื้อ (FCR) และอัตราการตาย (SR) ของกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเสริมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดระดับต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 4 เดือน

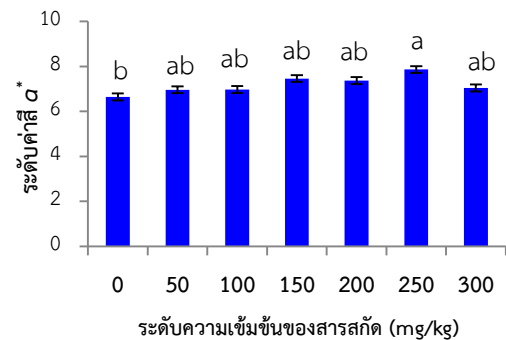
ชุดการทดลอง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ADG)	อัตราแลกเนื้อ (FCR)	อัตราการตาย (SR)
1 (0 mg/kg)	972.40 ± 36.81^a	1.98 ± 0.03^a	0.22 ± 0.01^a	1.68 ± 0.13^a	85.56 ± 9.62^a
2 (50 mg/kg)	$1,015.09 \pm 34.91^a$	2.01 ± 0.03^a	0.22 ± 0.01^a	1.89 ± 0.19^{ab}	88.89 ± 6.94^a
3 (100 mg/kg)	$1,038.35 \pm 57.77^a$	2.02 ± 0.04^a	0.22 ± 0.01^a	1.81 ± 0.06^{ab}	84.45 ± 6.94^a
4 (150 mg/kg)	$1,061.52 \pm 65.08^a$	2.04 ± 0.05^a	0.23 ± 0.02^a	1.66 ± 0.14^a	88.89 ± 6.94^a
5 (200 mg/kg)	$1,075.52 \pm 55.88^a$	2.05 ± 0.09^a	0.23 ± 0.02^a	1.68 ± 0.25^a	86.66 ± 5.77^a
6 (250 mg/kg)	$1,079.47 \pm 70.73^a$	2.05 ± 0.05^a	0.24 ± 0.01^a	1.64 ± 0.08^a	86.67 ± 3.34^a
7 (300 mg/kg)	$1,062.04 \pm 74.82^a$	2.04 ± 0.05^a	0.23 ± 0.01^a	1.97 ± 0.08^b	90.00 ± 0.00^a

หมายเหตุ : - ในวงเล็บของชุดการทดลอง คือระดับความเข้มข้นของการเสริมสารสกัดจากสาหร่ายในอาหารทดลอง

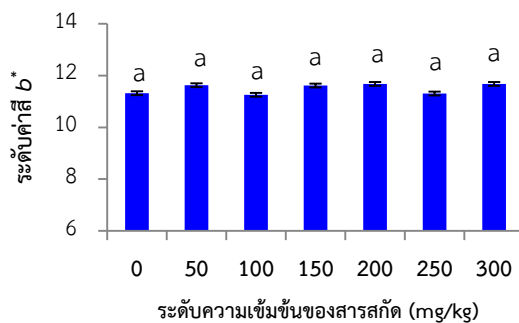
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งโดยใช้ตัวอักษร อักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 1 ระดับค่าสี L* ของกุ้งขาวแวนนาไมที่ทดลอง



ภาพที่ 2 ระดับค่าสี a* ของกุ้งขาวแวนนาไมที่ทดลอง



ภาพที่ 3 ระดับค่าสี b* ของกุ้งขาวแวนนาไมที่ทดลอง



ภาพที่ 4 ระดับความเข้มสีของกุ้งขาวแวนนาไม

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

จากการศึกษาการเจริญเติบโตเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย ของกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารที่ผสมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดทั้ง 6 ชุดการทดลอง ไม่แตกต่างจากกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารในชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ผสมสารสกัดจากสาหร่าย แสดงให้เห็นว่าระดับของการใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดเป็นแหล่งของสารสีในอาหารตั้งแต่ 50-300 mg/kg ไม่มีผลในการเร่งการเจริญเติบโตของกุ้งขาว และไม่มีผลต่ออัตราการรอดตาย สอดคล้องกับการทดลองของ [5] ในการใช้สารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืดชนิดเดียวกันนี้ เสริมในอาหารเลี้ยงปลาทอง พบว่า การเสริมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืด ตั้งแต่ที่ระดับความเข้มข้น 25-100 mg/kg ไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อ และอัตราการรอดตายของปลาทองแตกต่างกัน และไม่แตกต่างกับปลาทองในชุดควบคุม ทั้งนี้ เนื่องจากการเสริมสารสกัดที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวในอาหารสำเร็จรูปกุ้งขาวนั้น ไม่ได้ส่งผลให้อาหารทดลองมีระดับโปรตีนสูงขึ้น เพราะระดับโปรตีนในอาหารนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของกุ้งโดยตรง [10] อาหารที่มีระดับโปรตีนสูงจะส่งผลให้กุ้งมีการเจริญเติบโตสูงขึ้นตามไปด้วย และสอดคล้องกับผลการทดลองเสริมสารสีเบตาแคโรทีนสังเคราะห์ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากพืชและสาหร่ายในธรรมชาติ เช่น สาหร่ายสไปรูลีนา และสารสกัดแคโรทีนอยด์จากพริกหวาน ที่ระดับความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ในกุ้งขาวแวนนาไมของ [11] รายงานว่า แหล่งของสารสีที่ได้จากวัตถุดิบธรรมชาติ หรือจากการสังเคราะห์ไม่มีผลในการเร่งการเจริญเติบโตของกุ้งขาวได้ เช่นเดียวกับรายงานการศึกษาของ [12] ที่ไม่พบความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และอาหารที่ผสมสารสี Astaxanthin และจากการศึกษาของ [13] ที่พบว่าการผสมเบต้าแคโรทีนที่เป็นรงควัตถุหลักของสาหร่ายดูนาลิเอลาเข้มข้น 125 และ 175 พีพีเอ็ม ในอาหารให้กุ้งกุลาดำกินติดต่อกันนาน 10 สัปดาห์ ไม่มีผล

ไปเร่งการเจริญเติบโตเมื่อเทียบกับอาหารชุดควบคุม จากรายละเอียดข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเสริมแคโรทีนอยด์จากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดจากการทดลองครั้งนี้ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการตายของกุ้งขาว

การเสริมสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดในอาหาร เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ส่งผลให้มีค่าความสว่าง (L^*) ของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองเสริมสารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืดทั้ง 6 ชุดการทดลอง (50-300 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่เสริมสารสกัดหยาบของสาหร่าย พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่างของสีลดลง เนื่องจากในสาหร่ายสีแดงน้ำจืดมีสารสีแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ช่วยกระตุ้นในการเกิดสีของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในสัตว์น้ำกลุ่มครัสเตเชียนที่ต้องอาศัยสารเร่งสีจากอาหารที่กินเข้าไปภายนอก และทำให้เกิดสีปรากฏในสัตว์น้ำที่มีลักษณะสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ [11] ที่ทดสอบผลของแหล่งสารสีธรรมชาติต่อการเร่งสีในกุ้งขาว พบว่า กุ้งขาวที่ได้รับสารสีสังเคราะห์ แลสารสีที่สกัดจากพืชธรรมชาติ มีค่าความสว่าง (L^*) ต่ำกว่ากุ้งขาวที่ได้รับอาหารชุดควบคุม

ผลของค่าความเข้มสีแดง (a^*) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ของกุ้งขาวในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืด 250 mg/kg ให้ค่าสีแดง (a^*) สูงที่สุด สูงกว่ากุ้งขาวในชุดควบคุมที่ไม่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งเมื่อคิดปริมาณสารสีแดงที่เพิ่มขึ้น พบว่า มีปริมาณสารสีแดงเพิ่มขึ้น 18.37 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกุ้งขาวในชุดควบคุม สอดคล้องกับการทดลองของ [5] ในการใช้สารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืดชนิดเดียวกันนี้ เสริมในอาหารเลี้ยงปลาทอง พบว่า ปลาทองในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืด 100 mg/kg ให้ค่าสีแดง (a^*) สูงที่สุด สูงกว่าปลาทองในชุดควบคุมที่ไม่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งเมื่อคิดปริมาณสารสีแดงที่เพิ่มขึ้นในปลาทอง พบว่า มีปริมาณสารสีแดงเพิ่มขึ้น 19.41 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปลาในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ในสารสกัดจากสาหร่ายที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในสาหร่ายสีแดงน้ำจืดมีสารสีแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ช่วยกระตุ้นในการเกิดสีของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในสัตว์น้ำกลุ่มครัสเตเชียนที่ต้องอาศัยสารเร่งสีจากอาหารที่กินเข้าไปภายนอก และทำให้เกิดสีปรากฏในสัตว์น้ำที่มีลักษณะสีแดงเข้มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ [11] ที่ทดสอบผลของแหล่งสารสีธรรมชาติต่อการเร่งสีในกุ้งขาว พบว่า กุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับอาหารทุกชุดการทดลองที่ผสมสารสี มีลำตัวแดง (a^*) เข้มกว่ากุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุมอย่างชัดเจน และสอดคล้องกับผลการทดลองในกุ้งเครย์ฟิชของ [14] พบว่า ค่าสีแดง (a^*) ในชุดการทดลองที่ให้อาหารเสริมสารสีจากผงพริกหยวกแดงที่ระดับต่างกัน สามารถทำให้กุ้งเครย์ฟิชมีค่าสีแดง (a^*) ที่เพิ่มขึ้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุม ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กุ้งขาวแวนนาไมในชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสารสกัดหยาบของสาหร่ายสีแดงน้ำจืด 50-300 mg/kg ให้ระดับค่าสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เสริมสารสกัดจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืด แสดงให้เห็นว่าสารสีแคโรทีนอยด์จากสารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดที่เสริมในอาหารไม่ได้ส่งผลให้ระดับค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

จากผลการศึกษาดังกล่าวสรุปได้ว่า การใช้สารสกัดหยาบจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดเสริมในอาหารเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ระดับตั้งแต่ 50-300 mg/kg ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการตายของกุ้งขาวแวนนาไม แต่ที่ระดับความเข้มข้น 250 mg/kg สามารถเพิ่มระดับสีแดง (a^*) ในกุ้งขาวแวนนาไมให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ดังนั้น จึงได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้ว่า ควรมีการศึกษาระดับและชนิดของสารสีที่แน่นอนในสาหร่ายสีแดงน้ำจืดเพื่อการใช้ประโยชน์ในการเพิ่มระดับสีแดงของกุ้งขาวแวนนาไมและกุ้งเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ ต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบรายได้ประจำปีงบประมาณ 2563

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมประมง. สถิติผลผลิตการเลี้ยงกุ้งทะเลประจำปี 2561. เอกสารฉบับที่ 2/2563. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ, 2563.
- [2] วรณิณี จันทระแก้ว และชยากร ภูมาศ. ปริมาณรงควัตถุในสาหร่ายสีแดงน้ำจืดบางชนิดจากจังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารเทคโนโลยีการประมง, 2556, 7(S1), หน้า 61-70.
- [3] ชลอ ลีสมุวรรณ และคณะ. ผลของการแช่กุ้งขาวแวนนาไมในถังที่มีสีแตกต่างกันต่อคุณภาพสีของกุ้งต้ม. เอกสารเผยแพร่ ศูนย์วิจัยธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.
- [4] ธัชศีกี พร้อมคุ้ม และคณะ. ผลของสาหร่ายสไปรูลิน่า สาหร่ายไก่อ ต่อการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันและปรับปรุงสีของปลาทอง. การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 5, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2554.
- [5] วัฒนา วัฒนกุล และอุไรวรรณ วัฒนกุล. ผลของสารสกัดจากสาหร่ายสีแดงน้ำจืดต่อสีผิวและการเจริญเติบโตของปลาทอง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 30 ประจำปี 2563 และการประชุมวิชาการระดับชาติคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา, 2563, หน้า 1112-1118.
- [6] จริญญา จันทลักขณา. สถิติวิธีวิเคราะห์และวางแผนวิจัย. ภาควิชาสัตวบาล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2540.
- [7] สุปราณี ชินบุตร และคณะ. ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันและรักษาโรคสัตว์น้ำ. เอกสารเผยแพร่ กรมประมง, สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ, กรมประมง, กรุงเทพฯ, 2543.
- [8] de Quirós and Costa. Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: A Review. J. Food Compos. Anal., 2006, (19), p.p. 97–111.
- [9] ชลอ ลีสมุวรรณ และคณะ. การเพิ่มความเข้มของสีเปลือกและลดปัญหาหัวแตกหลังจากต้มกุ้งขาวแวนนาไม. เอกสารเผยแพร่สำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง ป. พ.ศ. 2550, ศูนย์วิจัยธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2550.
- [10] เวียง เชื้อโพธิ์หัก. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหารสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.
- [11] กิจการ ศุภมาตย์ และคณะ. รายงานโครงการวิจัยผลของแหล่งสารสีธรรมชาติต่อการเร่งสีและความต้านทานความเครียดในกุ้งขาว. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2549.

- [12] Pan *et al.* Effects of light regime, algae in the water and dietary astaxanthin on pigmentation, growth, and survival of black tiger prawn *Penaeus monodon* post-larvae. Zoological studies, 2001, 40(4), p.p. 371-382.
- [13] Boonyaratpalin *et al.* Effects of β -carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. Aqua Res., 2001, (31), p.p. 182-190.
- [14] ทนงค์ดี สัสดีแพง และสุริวัณย์ ชุ่มแก้ว. การเสริมพริกหยวกสีแดง พริกหยวกสีเหลือง และแครอทเพื่อเพิ่มสีเปลือกกุ้งสวยงาม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ลำปาง, 2560.