

## ผลการเสริมคอเลสเตอรอลร่วมกับ $\beta$ -cyclodextrin จากเศษเหลือกระบวนการผลิต น้ำมันปลาในอาหารต่อการเจริญเติบโตของกึ่งก้ามกราม

(*Macrobrachium rosenbergii*)

Effect of Cholesterol and  $\beta$ -cyclodextrin complexed from Waste of Fish Oil

Production Supplemented diet on Growth Performances in Giant Freshwater

Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*)

อิงอร เสงพัฒนาพงศ์<sup>1</sup>, วันชัย วรวัฒนเมธิกุล<sup>1\*</sup> และอรพินท์ จินตสถาพร<sup>2</sup>

Engorn Hengpattanapong<sup>1</sup>, Wanchai Worawattanamateekul<sup>1\*</sup> and Orapint Jintasatapom<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>1</sup>Department of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, 50 Pahol Yothin Road,

Chatuchak, Bangkok 10900

<sup>2</sup>ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup>Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, 50 Pahol Yothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900

\*Corresponding author: ffishwcw@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของการเสริมคอเลสเตอรอลร่วมกับ  $\beta$ -cyclodextrin จากเศษเหลือกระบวนการผลิตน้ำมันปลาในอาหารต่อการเจริญเติบโตของกึ่งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) (น้ำหนักเริ่มต้น  $20.72 \pm 3.75$  กรัม/ตัว) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยมี 4 ชุดการทดลอง การทดลองละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัวอย่าง ได้แก่ ชุดที่ 1 คือ ชุดควบคุม, ชุดที่ 2 คือ เสริม  $\beta$ -cyclodextrin บริสุทธิ์ 0.15%, ชุดที่ 3 คือ เสริมคอเลสเตอรอลบริสุทธิ์ 0.15% และชุดที่ 4 คือ เสริมคอเลสเตอรอลในรูปของ  $\beta$ -cyclodextrin จับกับคอเลสเตอรอล 0.15% (ปริมาณคอเลสเตอรอล  $53.48 \pm 3.15$  และ  $51.62 \pm 1.22$  มิลลิกรัม ตามลำดับ) ให้อาหารแต่ละชุดทดลองปริมาณ 3% ของน้ำหนักตัว เป็นเวลา 3 เดือนต่อวัน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า กึ่งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีน้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง, น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน, อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ, อัตราการแลกเนื้อ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก คือ  $28.26-31.98$  กรัม/ตัว,  $0.28-0.40$  กรัม/วัน,  $1.17\%-1.53\%$  ต่อวัน,  $1.75-2.62$  และ  $46.86\%-64.86\%$  ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าอัตราการเจริญเติบโต ( $p > 0.05$ ) ส่วนกึ่งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองชุดที่ 4 คือ อาหารที่เสริมคอเลสเตอรอลในรูปของ  $\beta$ -cyclodextrin จับกับคอเลสเตอรอล 0.15% มีอัตราการรอดใกล้เคียงกับกึ่งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองชุดที่ 3 ซึ่งเสริมคอเลสเตอรอลบริสุทธิ์ในปริมาณเท่ากัน โดยมีอัตราการรอด 80% และ 70% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกึ่งก้ามกรามที่ได้รับอาหารชุดที่ 1 และชุดที่ 2 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมคอเลสเตอรอลในรูปของ  $\beta$ -cyclodextrin จับกับคอเลสเตอรอล 0.15% ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของกึ่งก้ามกรามเมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

**คำสำคัญ:** กึ่งก้ามกราม, เบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน-คอเลสเตอรอลเชิงซ้อน, การเจริญเติบโต

## Abstract

The effects of cholesterol and  $\beta$ -cyclodextrin complexed from waste of fish oil production supplemented diet on growth performances in Giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) were investigated. Prawns (The initial weight was  $20.72 \pm 3.75$  g) were assigned in CRD with 4 treatments (T1-T4) and 10 replicates, 1 sample per replicate. The experimental diets included 1) The control diet, 2) The diet had 0.15% of purified  $\beta$ -cyclodextrin, 3) The diet had 0.15% of purified cholesterol, and 4) The diet had 0.15% of Cholesterol and  $\beta$ -cyclodextrin complexed (The cholesterol contents were  $53.48 \pm 3.15$  mg and  $51.62 \pm 1.22$  mg, respectively). Prawns were fed at 3% of feeding rate per body weight, with 3 times per day and the experimental period was 4 weeks. The result showed that Giant freshwater prawns in T1-T4 groups presented the final weight, average daily gain, specific growth rate, feed conversion rate and feed conversion efficiency were 28.26-31.98 g/prawn, 0.28-0.40 g/day, 1.17%-1.53% per day, 1.75-2.62 and 46.86%-64.86%, respectively and were not significantly different ( $p > 0.05$ ). The Giant freshwater prawns in T4 group that fed the diet had 0.15% of Cholesterol and  $\beta$ -cyclodextrin complexed were found the survival rate was closely to the prawns in T3 group that fed the diet had 0.15% of purified cholesterol (The survival rates were 80% and 70%, respectively) compared with the Giant freshwater prawns in T1 and T2 group. The experimental showed the diet had 0.15% cholesterol and  $\beta$ -cyclodextrin complexed supplemented that was not affected on growth performances in Giant freshwater prawns that were fed for 4 weeks.

**Keywords:** Giant freshwater prawn,  $\beta$ cd-cholesterol complex, Growth performance

## คำนำ

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนับว่าเป็นผลผลิตหลักในด้านการส่งออกสินค้าของประเทศไทยอย่างหนึ่ง เนื่องจากปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำในธรรมชาติลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยการจับสัตว์น้ำจากธรรมชาติเริ่มมีแนวโน้มลดลงมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตระหว่างปี พ.ศ. 2534-2561 ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.78 ต่อปี (Fisheries Economics Division, 2018) เป็นผลให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญและได้รับการพัฒนามากขึ้นตามลำดับ (Srithongterm, 2014) โดยข้อมูลสถานการณ์การผลิตสัตว์น้ำในปี พ.ศ. 2560 ผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประมาณ 552,070 ตัน คิดเป็นร้อยละ 22.70 และจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประมาณ 414,050 ตัน คิดเป็นร้อยละ 17.03 ของผลผลิตรวม และในปี พ.ศ. 2558 การเลี้ยงสัตว์น้ำจืดมีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.14 ชนิดสัตว์น้ำที่สำคัญซึ่งมีผลผลิตรวมกันกว่าร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งหมด ได้แก่ ปลานิล ปลาดุก ปลาตะเพียน ปลาสลิด ปลาสร้อย ปลาช่อน และกุ้งก้ามกราม (Fisheries Economics Division, 2018)

กุ้งก้ามกราม (Giant Freshwater Prawn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Macrobrachium rosenbergii* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบได้ตามแหล่งน้ำจืดและน้ำกร่อย กุ้งก้ามกรามเป็นกุ้งที่ได้รับความนิยมในการนำมาเพาะพันธุ์เป็นสัตว์เศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นสัตว์น้ำจืดจึงทำให้สามารถเพาะพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี เป็นที่ต้องการของตลาดทำให้มีราคาค่อนข้างสูง จึงเป็นอาชีพที่ทำรายได้ให้แก่เกษตรกรได้ดี แต่การที่จะเพาะพันธุ์กุ้งก้ามกรามให้ประสบผลสำเร็จนั้นต้องอาศัยทักษะ ความรู้ ความเข้าใจ และประสบการณ์ และเนื่องจากเทคนิคการเพาะพันธุ์ของฟาร์มแต่ละแห่งอาจแตกต่างกัน ทำให้ต้นทุนในการผลิตแตกต่างกันไปด้วย พอสรุปได้ว่าต้นทุนกว่า 50 เปอร์เซ็นต์นั้นหมดไปกับอาหาร (Sermwatanakul *et al.*, 2005) ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประเภท Crustaceans เช่น สัตว์จำพวก กุ้ง กั้ง และปู คือ ไม่สามารถสังเคราะห์คอเลสเตอรอลได้เอง (Whitney, 1970) จึงจำเป็นที่สัตว์นั้นจะต้องได้รับจากอาหาร คอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบของ Cell membrane และเป็นสารตั้งต้นสำหรับสารจำพวก Steroid ที่กุ้งต้องการเพื่อนำไปสร้างเป็นฮอร์โมนเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต สืบพันธุ์ และช่วยเสริมอัตราการรอดในช่วงการลอกคราบ (D'Abramo *et al.*, 1984) ซึ่งแหล่งคอเลสเตอรอลหลักที่กุ้งมักจะได้รับนั้นส่วนใหญ่มาจากน้ำมันปลาหรือไขมันจากสัตว์น้ำ (Akiyama *et al.*, 1992)

ในปัจจุบันทั้งโรงงานอุตสาหกรรมอาหารกุ้ง หรือ ฟาร์มเอกชนต่าง ๆ สนใจที่จะมีการเสริมคอเลสเตอรอลบริสุทธิ์ลงในอาหารกุ้งมากขึ้น แต่ต้องประสบกับต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตามมาด้วยเช่นกัน เนื่องจากคอเลสเตอรอลบริสุทธิ์ที่นำมาใช้นั้นมีราคาที่สูง (Couteau *et al.*, 2002) จึงได้มีแนวคิดที่จะนำคอเลสเตอรอลที่สกัดออกมาจากผลิตภัณฑ์อาหารของมนุษย์มาใช้เป็นวัตถุดิบเสริมในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากปริมาณคอเลสเตอรอลในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารในมนุษย์นั้นไม่ค่อยเป็นที่ต้องการในการบริโภคมากนัก เพราะคอเลสเตอรอลเป็นสาเหตุหนึ่งในการทำให้ร่างกายเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ ถ้าระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายมีมากเกินไป เช่น โรคหลอดเลือดอุดตัน โรคหัวใจ และสมองขาดเลือด อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต (Kinsella, 1987) ปัจจุบันจึงมีการใช้สารดูดซับ (Absorbent) เช่น  $\beta$ -cyclodextrin มาใช้ในการลดคอเลสเตอรอลในอาหาร เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ไม่มีพิษ และเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมรวมทั้งมีสมบัติในการกักเก็บ หรือดักจับสารบางอย่างที่ไม่ต้องการได้เป็นอย่างดี (Tangwichai *et al.*, 2017)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำคอเลสเตอรอลที่เป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมอาหารมนุษย์มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารกุ้งก้ามกราม เพื่อเสริมสารอาหารที่ต้องการลงในอาหารสัตว์น้ำ เพื่อเป็นการลดต้นทุน และเป็นการนำเศษเหลือกลับมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. สัตว์ทดลอง

กึ่งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) เพศผู้ อายุ 4 เดือน น้ำหนักเริ่มต้น  $20.72 \pm 3.75$  กรัมต่อตัว จำนวน 40 ตัว จากฟาร์มเอกชน อ. ดอนตูม จ. นครปฐม

### 2. อาหารทดลอง

สูตรอาหารสำหรับเลี้ยงกึ่งก้ามกรามมีทั้งหมด 4 สูตร ประกอบไปด้วยวัตถุดิบที่เหมือนกันทั้ง 4 สูตร (Chittapalapong, 2014) ตามตารางที่ 1 (Table 1) แตกต่างกันที่คอเลสเตอรอลที่เสริมในแต่ละชุดการทดลอง ดังนี้

2.1 สูตรที่ 1 คือ ชุดควบคุม

2.2 สูตรที่ 2 คือ อาหารเสริม  $\beta$ -cyclodextrin บริสุทธิ์ 0.15 เปอร์เซ็นต์

2.3 สูตรที่ 3 คือ อาหารเสริมคอเลสเตอรอลบริสุทธิ์ 0.15 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณคอเลสเตอรอล  $53.48 \pm 3.15$  มิลลิกรัม)

2.4 สูตรที่ 4 คือ อาหารเสริมคอเลสเตอรอลที่ได้จากเศษเหลือในกระบวนการลดคอเลสเตอรอลจากน้ำมันปลาสด (ในรูปของ  $\beta$ -cyclodextrin จับกับคอเลสเตอรอล) 0.15 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณคอเลสเตอรอล  $51.62 \pm 1.22$  มิลลิกรัม)

Table 1 Feed ingredients of experimental diets

Ingredients	Diet (%)			
	Treatment1 (Ctrl) (Chol-)	Treatment2 (Chol-)	Treatment3 (Chol+)	Treatment4 (Chol+)
Soybean meal (47% protein)	10	10	10	10
Fish meal (58% protein)	10	10	10	10
Rice bran	25	25	25	25
Broken-milled rice	25	25	25	25
Shrimp shell	25	25	25	25
Fish oil	3	3	3	3
Cholesterol (99% purity)	0	0	0.15	0
$\beta$ cd-Cholesterol complex	0	0	0	0.15
$\beta$ -cyclodextrin (98% purity)	0	0.15	0	0
Binder	2	1.85	1.85	1.85
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

นำตัวอย่างอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ดังนี้ ปริมาณความชื้น ดัดแปลงจาก A.O.A.C. (2006) 950.46 ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl ดัดแปลงจาก A.O.A.C. (2006) 928.08 ปริมาณไขมันโดยวิธี Soxhlet extraction ดัดแปลงจาก A.O.A.C. (2006) 960.39 ปริมาณเถ้า ดัดแปลงจาก A.O.A.C. (2006) 920.153 ปริมาณและองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยเทคนิค Gas chromatography ดัดแปลงจาก A.O.A.C. (2006) 991.39 และปริมาณคอเลสเทอรอลในอาหารทดลอง โดยเทคนิค Gas chromatography ดัดแปลงจาก A.O.A.C. (2000) 994.10

### 3. สภาวะการทดลอง

เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในตู้กระจกขนาด 24 นิ้ว จำนวน 40 ตู้ ตู้ละ 1 ตัว ด้วยน้ำจืดพร้อมให้อากาศอย่างเพียงพอ ให้อาหารในแต่ละชุดการทดลองปริมาณ 3% ของน้ำหนักตัว วันละ 3 เวลา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เก็บข้อมูลและเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% ของปริมาตรทุกสัปดาห์ (Srichanchom *et al.*, 2014) และนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำต่างๆ ดังนี้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ (Temperature) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ปริมาณแอมโมเนีย (Total ammonia) ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) และค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) โดยใช้ Fresh and seawater testing kits ของ PARA Test และค่าต่าง ๆ ที่ได้จะแสดงผลตามตารางที่ 5 (Table 5)

### 4. แผนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 10 ซ้ำ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามต่างๆ ดังนี้

$$4.1 \text{ น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ตัว) (Final weight) = \frac{\sum w_2}{n}$$

$$4.2 \text{ น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน (กรัม/วัน) (Average daily gain) = \frac{(w_2 - w_1)}{t}$$

$$4.3 \text{ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (\%/วัน) (Specific growth rate) = \frac{[\ln(w_2) - \ln(w_1)]}{t} \times 100$$

$$4.4 \text{ อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion rate) = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$4.5 \text{ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (\%) (Feed conversion efficiency) = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้น}}{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}} \times 100$$

$$4.6 \text{ อัตราการรอด (\%) (Survival rate) = \frac{\text{จำนวนกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนกุ้งเริ่มต้น}} \times 100$$

โดย

$$w_1 = \text{น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น (กรัม)}$$

$$w_2 = \text{น้ำหนักกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)}$$

$$n = \text{จำนวนกุ้ง (ตัว)}$$

$$t = \text{ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)}$$

$$\ln = \text{natural logarithm}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม)} = \frac{[(n \times w1 \times t) \times \text{อัตราการให้อาหาร (\%)}]}{1000}$$

$$\text{น้ำหนักกุ้งที่เพิ่มขึ้น (กิโลกรัม)} = \frac{[(w2-w1) \times n]}{1000}$$

## 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยเทคนิค ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 17.0

## ผลการวิจัย

### 1. องค์ประกอบทางเคมีและระดับคอเลสเตอรอลของอาหารทดลอง

อาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ดังนี้ ความชื้น 6.09-7.67 เปอร์เซ็นต์, โปรตีน 33.16-33.69 เปอร์เซ็นต์, ไขมัน 8.27-8.58 เปอร์เซ็นต์, เถ้า 8.67-9.21 เปอร์เซ็นต์, ปริมาณคอเลสเตอรอล 40.33-114.83 มิลลิกรัม/100 กรัม (Table 2) โดยที่ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในอาหารทดลองประกอบไปด้วย กรดไขมันอิ่มตัว (SFA) 30.63-33.26 เปอร์เซ็นต์ โดยพบกรดปาล์มิติก (C16:0) มากที่สุด, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) 38.58-39.30 เปอร์เซ็นต์ โดยพบกรดโอเลอิก (C18:1n9) มากที่สุด และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) 26.18-28.97 เปอร์เซ็นต์ โดยพบกรดไลโนเลอิก (C18:2n6) มากที่สุด และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนชนิดโอเมก้า-3 (n-3) 2.32-2.55 เปอร์เซ็นต์ โดยพบกรดไขมัน DHA (C22:6n3) มากที่สุด ตามลำดับ (Table 3)

Table 2 Proximate compositions and cholesterol content of experimental diets

Treatments	Proximate analysis				
	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)	Cholesterol (mg/100g)
1 (Ctrl)	7.18±0.80 <sup>a</sup>	33.16±2.19 <sup>a</sup>	8.27±2.04 <sup>a</sup>	8.69±0.12 <sup>a</sup>	41.22±0.47 <sup>a</sup>
2	6.09±1.55 <sup>a</sup>	33.25±3.49 <sup>a</sup>	8.29±0.81 <sup>a</sup>	9.29±0.10 <sup>b</sup>	40.33±0.63 <sup>a</sup>
3	7.67±1.74 <sup>a</sup>	33.43±1.25 <sup>a</sup>	8.31±1.11 <sup>a</sup>	8.67±0.09 <sup>a</sup>	113.74±1.04 <sup>b</sup>
4	6.16±0.92 <sup>a</sup>	33.69±0.24 <sup>a</sup>	8.58±0.34 <sup>a</sup>	9.21±0.12 <sup>b</sup>	114.83±0.94 <sup>b</sup>

Mean values ± standard deviation of determinations of triplicate samples. Values with the different superscript in each column are significantly different (P<0.05).

Table 3 Fatty acid compositions of experimental diets

Fatty acid profile (%)	Treatment 1 (Ctrl)	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
C14:0	2.38±0.05 <sup>b</sup>	1.71±0.01 <sup>a</sup>	2.23±0.01 <sup>b</sup>	2.36±0.14 <sup>b</sup>
C16:0	25.32±0.21 <sup>c</sup>	24.08±0.18 <sup>ab</sup>	25.22±0.06 <sup>bc</sup>	23.49±0.77 <sup>a</sup>
C16:1n7	1.17±0.01 <sup>b</sup>	1.31±0.06 <sup>c</sup>	1.03±0.02 <sup>a</sup>	1.67±0.01 <sup>d</sup>
C18:0	5.55±0.19 <sup>bc</sup>	4.84±0.07 <sup>a</sup>	5.31±0.02 <sup>b</sup>	5.68±0.07 <sup>c</sup>
C18:1n9	35.22±0.30 <sup>bc</sup>	34.44±0.49 <sup>ab</sup>	35.38±0.06 <sup>c</sup>	34.00±0.01 <sup>a</sup>
C18:1n7	2.22±0.01 <sup>b</sup>	2.36±0.01 <sup>c</sup>	1.98±0.04 <sup>a</sup>	2.24±0.00 <sup>b</sup>
C18:2n6	21.58±0.74 <sup>a</sup>	24.51±0.16 <sup>b</sup>	23.21±0.05 <sup>ab</sup>	22.85±0.99 <sup>ab</sup>
C18:3n4	1.55±0.03 <sup>a</sup>	1.55±0.01 <sup>a</sup>	1.49±0.01 <sup>a</sup>	1.48±0.10 <sup>a</sup>
C20:1n9	0.69±0.02 <sup>a</sup>	0.59±0.02 <sup>a</sup>	0.55±0.13 <sup>a</sup>	0.68±0.00 <sup>a</sup>
C20:4n6	0.50±0.02 <sup>a</sup>	0.56±0.01 <sup>a</sup>	0.64±0.12 <sup>a</sup>	0.59±0.01 <sup>a</sup>
C20:5n3 (EPA)	0.73±0.05 <sup>bc</sup>	0.64±0.01 <sup>a</sup>	0.76±0.01 <sup>c</sup>	0.67±0.01 <sup>ab</sup>
C22:6n3 (DHA)	1.82±0.01 <sup>a</sup>	1.71±0.01 <sup>a</sup>	1.74±0.11 <sup>a</sup>	1.65±0.09 <sup>a</sup>
Sum	98.73±0.03 <sup>b</sup>	98.30±0.87 <sup>ab</sup>	99.54±0.13 <sup>b</sup>	97.37±0.01 <sup>a</sup>
SFA	33.26±0.45 <sup>c</sup>	30.63±0.24 <sup>a</sup>	32.76±0.05 <sup>bc</sup>	31.53±0.98 <sup>ab</sup>
MUFA	39.30±0.32 <sup>a</sup>	38.71±0.46 <sup>a</sup>	38.94±0.01 <sup>a</sup>	38.58±0.01 <sup>a</sup>
PUFA	26.18±0.80 <sup>a</sup>	28.97±0.17 <sup>b</sup>	27.84±0.17 <sup>ab</sup>	27.25±0.99 <sup>ab</sup>
Omega-3	2.55±0.04 <sup>b</sup>	2.35±0.01 <sup>a</sup>	2.50±0.11 <sup>ab</sup>	2.32±0.08 <sup>a</sup>

Mean values ± standard deviation of determinations of triplicate samples. Values with the different superscript in each rows are significantly different (P<0.05).

## 2. ผลของการเสริมคอเลสเตรอลในอาหารทดลองต่อการเจริญเติบโตของ *M. rosenbergii*

จากการศึกษาผลของการเสริมคอเลสเตรอลในอาหารทดลองต่อการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า กุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตร มีน้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Final weight), น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน (Average daily gain), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate), อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion rate) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (Feed conversion efficiency) คือ 28.26-31.98 กรัม/ตัว, 0.28-0.40 กรัม/วัน, 1.17-1.53 เปอร์เซ็นต์/วัน, 1.75-2.62 และ 46.86-64.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าอัตราการเจริญเติบโตต่างๆ (p>0.05) ส่วนกุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 คือ อาหารที่เสริมคอเลสเตรอลที่ได้จากเศษเหลือในกระบวนการลดคอเลสเตรอลจากน้ำมันปลาสววยในรูปของ  $\beta$ -cyclodextrin จับกับคอเลสเตรอล 0.15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการรอด (Survival rate) ใกล้เคียงกับกุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 ซึ่งเสริมคอเลสเตรอลบริสุทธิ์ในปริมาณเท่ากัน คือ มีอัตราการรอดระดับ 80 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่ากุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 (Table 4)

**Table 4** Growth performances of Giant freshwater prawn (*M. rosenbergii*) fed with different experimental diets for 4 weeks

Performances	Treatments				p-value
	1 (Ctrl)	2	3	4	
Initial weight (g/prawn)	20.47±4.00 <sup>a</sup>	20.76±4.09 <sup>a</sup>	21.45±2.89 <sup>a</sup>	20.18±4.32 <sup>a</sup>	0.897
Final weight (g/prawn)	28.42±5.76 <sup>a</sup>	31.98±7.23 <sup>a</sup>	31.96±4.93 <sup>a</sup>	28.26±5.42 <sup>a</sup>	0.301
Average daily gain (g/day)	0.28±0.11 <sup>a</sup>	0.40±0.16 <sup>a</sup>	0.38±0.15 <sup>a</sup>	0.29±0.13 <sup>a</sup>	0.154
Specific growth rate (%/day)	1.17±0.39 <sup>a</sup>	1.53±0.45 <sup>a</sup>	1.42±0.54 <sup>a</sup>	1.23±0.51 <sup>a</sup>	0.316
Feed conversion rate	2.62±1.54 <sup>a</sup>	1.75±0.71 <sup>a</sup>	2.09±1.10 <sup>a</sup>	2.46±1.23 <sup>a</sup>	0.369
Feed conversion efficiency (%)	46.86±17.32 <sup>a</sup>	64.86±23.35 <sup>a</sup>	59.80±27.34 <sup>a</sup>	50.61±24.89 <sup>a</sup>	0.312
Survival rate (%)	60	60	70	80	n/a

Mean values ± standard deviation with the same superscript in each rows are not significantly different ( $P>0.05$ ).

n/a = not available due to the experimental unit was 1 treatment per 10 replicates, each with 1 sample.

ส่วนค่าของคุณภาพน้ำเมื่อทำการทดลองในช่วงเวลา 1-4 สัปดาห์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.95-8.79 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 23.96-27.85 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 6.31-7.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียรวมอยู่ในช่วง 0.01-0.07 ppm ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.13-1.96 ppm และค่าความเป็นต่างของน้ำอยู่ในช่วง 95.63-161.50 ppm (Table 5) ซึ่งค่าคุณภาพน้ำต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

Table 5 Water quality during culture Giant freshwater prawn (*M. rosenbergii*) for 4 weeks

Parameters	Treatments			
	1 (Ctrl)	2	3	4
pH	8.05 - 8.67	8.00 - 8.50	7.95 - 8.79	8.05 - 8.50
Temp (°C)	24.42 - 28.07	24.52 - 27.85	24.37 - 27.84	23.96 - 27.60
DO (mg/L)	6.31 - 7.05	6.39 - 7.02	6.46 - 7.55	6.74 - 7.31
Total ammonia (ppm)	0.02 - 0.06	0.01 - 0.05	0.01 - 0.07	0.02 - 0.05
Nitrite (ppm)	0.24 - 1.96	0.13 - 1.95	0.22 - 2.28	0.16 - 1.05
Alkalinity (ppm)	102.00 - 155.83	95.63 - 158.10	97.14 - 159.80	116.88 - 161.50

## วิจารณ์ผล

จากผลการทดลองการเสริมคอเลสเทอรอลในอาหารทดลองต่อการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ากุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 ที่มีการเสริมคอเลสเทอรอลในปริมาณใกล้เคียงกันนั้นมีค่าอัตราการรอด (Survival rate) ที่สูงกว่ากุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 (ชุดควบคุม) และ สูตรที่ 2 ซึ่งไม่มีการเสริมคอเลสเทอรอลอยู่ 10-20 เปอร์เซ็นต์ โดยที่กุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 คือ อาหารที่เสริมคอเลสเทอรอลที่ได้จากเศษเหลือในกระบวนการลดคอเลสเทอรอลจากน้ำมันปลาสายในรูปของ  $\beta$ -cyclodextrin จับกับคอเลสเทอรอล 0.15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการรอดใกล้เคียงกับกุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 ซึ่งเสริมคอเลสเทอรอลบริสุทธิ์ในปริมาณเท่ากัน (70 เปอร์เซ็นต์) และมีค่าสูงกว่ากุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ในขณะที่ค่าอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แสดงว่าการเสริม  $\beta$ -cyclodextrin บริสุทธิ์และการเสริมคอเลสเทอรอลในรูปของ  $\beta$ -cyclodextrin complexed ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม เนื่องจาก  $\beta$ -cyclodextrin เป็นสารดูดซับ (Absorbent) ที่ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันเป็นลักษณะวงแหวน จึงปลอดภัย เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ เป็นผงแป้ง (Starch) ละเอียดสีขาว ไม่มีกลิ่น สามารถแยกออกมาได้ง่าย และสามารถดูดซับสารที่ต้องการให้อยู่ในลักษณะเอนแคปซูลชัน (Encapsulation) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) (Kwak *et al.*, 2011) จึงสามารถดักจับสารที่ไม่พึงประสงค์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ เช่น กำจัดกลิ่น, สารสี หรือคอเลสเทอรอลในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เป็นต้น (Kwak *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2009; Jeong *et al.*, 2014)

คอเลสเทอรอลมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์จำพวก Crustaceans เพราะไม่สามารถสังเคราะห์คอเลสเทอรอลเองได้ (Whitney, 1970) จึงจำเป็นที่สัตว์นั้นจะต้องได้รับจากอาหาร คอเลสเทอรอลเป็นส่วนประกอบของ Cell membrane และเป็นสารตั้งต้นสำหรับสารจำพวก Steroid ที่กุ้งต้องการเพื่อนำไปสร้างเป็นฮอร์โมนเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต สืบพันธุ์ และเป็นสารอาหารสำคัญที่ช่วยเสริมอัตราการรอดในช่วงการลอกคราบ (D'Abramo *et al.*, 1984) ซึ่งแหล่งคอเลสเทอรอลหลักที่กุ้งมักจะได้รับนั้นส่วนใหญ่มาจากน้ำมันปลาหรือไขมันจากสัตว์น้ำ (Akiyama *et al.*, 1992) จากผลการวิจัยของ Morris *et al.* (2011) ได้ทำ

การทดลองเพื่อประเมินผลความต้องการคอเลสเทอรอลในอาหารทดลองกุ้งขาว (*L. vannamei*) ต่อการเจริญเติบโต โดยทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปริมาณของคอเลสเทอรอลที่เสริมลงในอาหารทดลองของกุ้งนั้นช่วงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.08-0.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Final weight) อัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) และอัตราการรอด (Survival rate) ได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) คือ 20.20 กรัม, 1.61 กรัม/สัปดาห์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Coutteau (2011) ได้ทำการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมในการเสริมคอเลสเทอรอลในอาหารทดลองของกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) โดยทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 70 วัน พบว่าปริมาณคอเลสเทอรอลที่เสริมลงไปในการทดลองในช่วง 0.10-0.15 เปอร์เซ็นต์ เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดและส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง เช่น อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็น 1.4 กรัม/สัปดาห์ อัตรารอดเข้าใกล้ 90 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงอัตราแลกเนื้อ (Feed conversion rate) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ( $p < 0.05$ ) และอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงและอัตราการรอดให้กับสัตว์จำพวก Crustaceans คือกรดไขมันโอเมก้า-3 จากการศึกษพบว่า การเสริมกรดไขมันโอเมก้า-3 ลงในอาหารทดลองกุ้งขาวแวนนาไม จะช่วยเพิ่มอัตราการรอดได้สูงถึง 82 เปอร์เซ็นต์ (Aiamanee et al., 2015) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้เสริมคอเลสเทอรอลที่ได้จากเศษเหลือในกระบวนการลดคอเลสเทอรอลในน้ำมันปลาสดลงในอาหารทดลอง โดยปลาสดนั้นเป็นปลาน้ำจืดที่สามารถพบกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ได้ และจากการวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของกรดไขมันพบว่า มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในอาหารทดลองประมาณ 2.32-2.55 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) จึงคาดว่าอาจเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ช่วยเสริมอัตราการรอดของกุ้งก้ามกรามนอกเหนือจากการเสริมด้วยคอเลสเทอรอลเพียงอย่างเดียว

## สรุปผล

การเสริมคอเลสเทอรอลที่ได้จากเศษเหลือในกระบวนการลดคอเลสเทอรอลจากน้ำมันปลาสดในรูปแบบของ  $\beta$ -cyclodextrin จับกับคอเลสเทอรอล (Complexation) ในอาหารกุ้งก้ามกราม (*M. rosenbergii*) ที่ระดับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกับกุ้งที่ได้รับอาหารชุดควบคุมและมีอัตราการรอดสูง โดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการเสริมคอเลสเทอรอลบริสุทธิ์ที่ระดับเดียวกัน โดยที่  $\beta$ -cyclodextrin ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามเมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

## เอกสารอ้างอิง

- Aiamanee, N., Limsuwan, C. and Chuchird, N. 2015. Effect of Omega-3 fatty acids on Growth, Survival and Resistance to *Vibrio harveyi* infections of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Laboratory Conditions. [Online] Available from <http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/2558/KC5204015.pdf> [2019, November 10] [in Thai].
- Akiyama, D.M., Dominy, W.G. and Lawrence, A.L. 1992. Penaeid Shrimp Nutrition. In: Marine Shrimp Culture, edited by A.W. and Lester, L.J. Elsevier Science Publishing, Amsterdam. pp. 535-568.

- A.O.A.C. 2000. Official methods of analysis of AOAC International, 17<sup>th</sup> ed. Association of Analytical Communities, Gaithersburg, MD, USA.
- A.O.A.C. 2006. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists, 18<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington, Virginia.
- Chittapalapong, T. 2014. Creating a formula feed of aquatic animals and fisheries economy. Department of Fisheries. Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai].
- Coutteau, P., Peeters, J., Nur, A. and Kontara, E.K. 2002. Cholesterol Indispensable, But Not Irreplaceable in Shrimp Feeds. Global Aquaculture Alliance. Jun, 2002. 26-30.
- Coutteau, P. 2011. Trials: Digestibility Enhancer Can Offset Cholesterol Content in Shrimp Feed. Global Aquaculture Alliance. Sept - Oct, 2011. 100-101.
- D'Abramo, L.R., Bordner, C.E., Conklin, D.E. and Baum, N.A. 1984. Sterol requirement of juvenile lobsters, *Homarus* sp. Aquaculture. 42: 13-25.
- Fisheries Economics Division. 2018. The economic situation of fisheries in 2017 and 2018 trends. Fisheries Development Policy and Strategy Division. Department of Fisheries. [Online] Available from <https://www.fisheries.go.th/strategy/UserFiles/files/16-2-61.pdf> [2018, November 18] [in Thai].
- Jeong, H.J., Sun, H., Chogsom, C. and Kwak, H.S. 2014. Cholesterol Removal from Whole Egg by Crosslinked  $\beta$ -cyclodextrin. Asian Australasian Journal of Animal Sciences. 27(4): 537-542.
- Kinsella, J.E. 1987. Seafoods and fish oils in human health and disease. Marcel Dekker Inc., New York.
- Kwak, H.S., Jung, C.S., Shim, S.Y. and Ahn, J. 2002. Removal of Cholesterol from Cheddar Cheese by  $\beta$ -cyclodextrin. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 7293-7298.
- Kwak, H.S., Lee, J.E. and Chang, Y.H. 2011. Structural Characterization of  $\beta$ -cyclodextrin Crosslinked by Adipic Acid. International Journal of Food Science and Technology. 46(6): 1323-1328.
- Lee, J.E., Seo, M.H., Chang, Y.H. and Kwak, H.S. 2009. Cholesterol Removal from Squid Liver Oil by Crosslinked  $\beta$ -cyclodextrin. Journal of the American Oil Chemists' Society. 87(2): 233-238.
- Morris, T. C., Samocha, T. M., Davis, D. A. and Fox, J. M. 2011. Cholesterol supplements for *Litopenaeus vannamei* reared on plant based diets in the presence of natural productivity. Aquaculture. 314: 140-144.
- Sermwatanakul, A., Somsueb, P., Tong Sri, N. and Sawitree, W. 2005. Feed and feed production of Aquatic animals. Department of Fisheries. Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai].

- Srichanchom, L., Jintasataporn, O. and Yoonpundh, R. 2014. Effect of Supplementation of Organic Selenium in White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed on growth and immunity. Proceedings of the 52<sup>th</sup> KU Annual conference. Kasetsart University. Bangkok, 165-172. [in Thai].
- Srithongterm, T. 2014. Aquaculture business. Business Research Bureau. Risk Management. Land and Houses Bank Public Company Limited. [Online] Available from [https://www.lhbank.co.th/Files/economic/economic\\_20161206154214.pdf](https://www.lhbank.co.th/Files/economic/economic_20161206154214.pdf) [2018, October 8] [in Thai].
- Tangwichai, B., Hinsui, J., Mookdasanit, J. and Worawattanamateekul, W. 2017. Effect of  $\beta$ -cyclodextrin on Cholesterol Removal in Semi-refined Tuna Oil. Proceedings of the 55<sup>th</sup> KU Annual conference. Kasetsart University. Bangkok, Jan 31 - Feb 3, 2017. 524-533. [in Thai].
- Whitney, J.O. 1970. Absence of sterol biosynthesis in the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, and in the barnacle, *Balanus nubilus* Darwin. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 4: 229-237.