

## ผลการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงวัยอ่อนในระบบไบโอฟลอค

### Effect of biofloc technology (BFT) on red tilapia larvae aquaculture

อุดมลักษณ์ สมพงษ์<sup>1\*</sup>, เมรanee อินคำ<sup>1</sup>, จงกล พรมยะ<sup>1</sup> และ นิวุฒิ หวังชัย<sup>1</sup>

Udomluk Sompong<sup>1\*</sup>, Meranee Inkam<sup>1</sup>, Jongkol Promya<sup>1</sup> and Niwooti Whangchai<sup>1</sup>

**บทคัดย่อ:** การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบไบโอฟลอคมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการใช้น้ำอย่างจำกัด และน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมน้อย ในการศึกษาได้ทำการประเมินอัตราการรอด การเจริญเติบโต และการจัดการคุณภาพน้ำในปลานิลแดงวัยอ่อน (*Oreochromis niloticus-mossambicus*) ซึ่งในการทดลองใช้ลูกปลานิลแดงน้ำหนักเฉลี่ย  $4.86 \pm 0.01$  กรัม ทดลองในตู้ปลา ปริมาณน้ำ 50 ลิตร อัตราการปล่อย 10 ตัว/ตู้ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ชุดที่ 1 คือชุดควบคุม โดยเลี้ยงในระบบปกติที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ชุดที่ 2 คือชุดที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอคจากน้ำเขียวจากฟาร์มปลา และชุดที่ 3 คือชุดที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอคจากน้ำประปา ทำการให้อาหารที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนประมาณ 35-40% อัตราการให้ 10% ต่อน้ำหนักตัว ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เติมกากน้ำตาล (แหล่งคาร์บอน) ในชุดไบโอฟลอค ปรับสัดส่วน C:N  $\geq 15$  ตรวจสอบคุณภาพน้ำได้แก่ pH, DO,  $\text{NH}_3\text{-N}$  และ  $\text{NO}_2\text{-N}$  เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ระบบไบโอฟลอคสามารถควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช (คลอโรฟิลล์ เอ) ไม่ให้สูงเกินไป รวมทั้งปลาที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคมีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยไบโอฟลอคด้วยน้ำจากฟาร์มปลามีน้ำหนักเฉลี่ย ค่าน้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (ADG) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) สูงที่สุด คือ  $54.80 \pm 0.19$  กรัม,  $10.25 \pm 0.02$  กรัม/วัน และ  $2.15 \pm 0.01\%$  ต่อวัน ตามลำดับ ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เนื้อปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีปริมาณโปรตีนมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

**คำสำคัญ:** ไบโอฟลอค, ปลานิลแดง, คุณภาพน้ำ

**ABSTRACT:** Biofloc technology (BFT) is environmentally friendly as it is based on limited water use and minimal effluent is released into the surrounding environment. In this study, we evaluated the survival, growth performance and water quality management of red tilapia fingerling (*Oreochromis niloticus-mossambicus*). Ten tilapia larvae (average individual weight  $4.86 \pm 0.01$  g) were stocked in 50 liters aquarium. The experiment consisted of a control group with water exchange and two groups of BFT treatments (plankton rich water from catfish farm and tap water) with three replicates. Red tilapia larvae were fed with a 35-40% protein feed, 10% of body weight. They were cultured for 10 weeks. Molasses was added on BFT treatments as the organic carbon source at a C/N ratio  $\geq 15$ . Water quality parameters such as pH, DO,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{NO}_2\text{-N}$  were tested. At the end of the experiment, water quality parameters were set in standard level. BFT treatments controlled access phytoplankton concentration (Chlorophyll a). Survival rate of fish cultured in BFT treatments were significantly higher than control group. Fish cultured in BFT

<sup>1</sup> คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Fisheries Technology and Aquatic Resources Faculty, Maejo University

\* Corresponding author: udomluk.sompong@gmail.com

treatment from plankton rich water had significantly highest mean final weight, average daily growth (ADG) and specific growth rate (SGR);  $54.80 \pm 0.19$  g,  $10.25 \pm 0.02$  g/day and  $2.15 \pm 0.01$  % /day, respectively, while feed conversion ratio (FCR) was significantly lower than that in the control group. Fish fed on BFT treatments had significantly higher protein content than control group ( $P < 0.05$ ).

**Keywords:** biofloc, red tilapia, water quality

## บทนำ

กระแสนิยมบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพทำให้ปัจจุบันความต้องการบริโภคปลาน้ำจืดมีเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งตลาดในประเทศและตลาดส่งออกต่างประเทศ เนื่องจากเนื้อปลาเป็นอาหารโปรตีนที่ย่อยง่ายและประกอบด้วยคุณค่าทางอาหารที่ครบถ้วน ในจำนวนปลาน้ำจืดที่นิยมเลี้ยงในปัจจุบัน ปลานิลแดงหรือปลาทับทิมเป็นปลาที่นิยมของผู้เพาะเลี้ยงและกลายเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นปลาที่เลี้ยงง่ายโตเร็ว ลูกพันธุ์หาง่าย จึงเป็นที่สนใจของเกษตรกรผู้เลี้ยง ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะมีการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น แต่แล้วก็มีมักจะประสบกับปัญหาเรื่องของคุณภาพน้ำ หากการจัดการไม่ดีพอ เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีของเสียเกิดขึ้นจำนวนมากทั้งของเสียจากอาหารที่สัตว์น้ำไม่กินและของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ ทำให้มีการสะสมของเสียต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเรื่องแอมโมเนีย ที่มักจะเกิดจากการให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไป หรืออาจจะมีมาจากการขับถ่ายของตัวสัตว์น้ำเอง และเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำแนวคิดในการจัดการของเสียที่เกิดจากสัตว์น้ำ มาปรับใช้ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ในปัจจุบัน เริ่มมีการใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอคกันมากขึ้นซึ่งเป็นการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (biofloc) มาช่วยในการย่อยสลายซากของเสียที่เกิดจากสัตว์น้ำ สามารถกลับไปเป็นอาหารของสัตว์น้ำเหล่านั้นอีก ของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ รวมทั้งของเสียอื่น ๆ จะถูกเปลี่ยนไปเป็น

ตะกอนจุลินทรีย์หรือไบโอฟลอค ถ้ามีการเติมสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตลงไปอีกมันจะไปกระตุ้นให้ไบโอฟลอคตั้งในโตรเจน (แอมโมเนีย) มาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่มากขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก็จะลดลงซึ่งมวลชีวภาพเหล่านี้ก็คือสารประกอบโปรตีนเมื่อสัตว์น้ำกินเข้าไปก็เท่ากับว่าสัตว์น้ำได้กินอาหารที่มีโปรตีนนั่นเอง และจุลินทรีย์ในไบโอฟลอคก็จะเป็นตัวที่คอยควบคุมคุณภาพน้ำภายในบ่อโดยอัตโนมัติซึ่งเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีตามไปด้วย (Azim and Little, 2008; Crab et al., 2012; Rodrigo et al., 2013; Avnimelech, 2015)

ผลการวิจัยของ Azim and Little (2008) รายงานว่าปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เลี้ยงในระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอคมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 45 เปอร์เซ็นต์ Zhao et al. (2014) ศึกษาการเลี้ยงปลาในพืชสามชนิดร่วมกัน ได้แก่ ปลาไน (*Cyprinus carpio*) ปลาลิ้น (*Hypophthalmichthys molitrix*) และปลาชิ่ง (*Aristichthys nobilis*) พบว่าการเลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคสามารถเพิ่มผลผลิตปลาสูงขึ้น อีกทั้งในชุดการเลี้ยงที่เพิ่มอัตราส่วน C/N มากขึ้นคุณภาพน้ำในบ่อจะมีคุณภาพดีที่สุดในการเพาะเลี้ยงกุ้ง Correia et al. (2014) ทำการอนุบาลลูกกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) อายุ 10 วัน โดยใช้ระบบไบโอฟลอคในสภาวะที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ทำการให้อาหารโปรตีน 30 และ 40% พบว่าลูกกุ้งที่ให้อาหารที่มีโปรตีน 40% มีอัตราการเจริญเติบโตและน้ำหนักสุดท้ายที่ต่ำกว่าลูกกุ้งที่ให้อาหารที่มีโปรตีน 30% เพียงเล็กน้อย แต่คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารโปรตีน 30% มีคุณภาพที่ดีกว่า

เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารโปรตีนสูง อีกทั้งเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิต

ดังนั้นเพื่อช่วยให้ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำได้ผลผลิตที่คุ้มค่ากับการลงทุนในระยะยาว การหันมาใช้ไบโอฟลอคในการเลี้ยงปลานิลแดงวัยอ่อนถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะระบบไบโอฟลอคสามารถบำบัดแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้เลี้ยงได้อีกด้วย

### วิธีการศึกษา

#### การเตรียมหน่วยทดลอง

เตรียมตู้ปลา ขนาดบรรจุน้ำปริมาตร 50 ลิตร ให้อากาศตลอดการทดลอง โดยติดตั้งหัวทราย พร้อมเครื่องปั๊มไฟ้อัดไนโตรเจนไว้เสมอ

#### การเตรียมไบโอฟลอค

เติมหัวเชื้อ (ตะกอนดินจากบ่อปลานิล) สารโดโลไมท์ รำละเอียด (หรือคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม) อาหารปลาแบบเม็ด และกากน้ำตาล ผสมทุกอย่างลงในน้ำประปา หรือน้ำเขียวจากบ่อเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่น แล้วแต่ชุดการทดลอง โดยควบคุมสัดส่วน C:N  $\geq$  15 วิเคราะห์คาร์บอนโดยวิธีการ Heated persulfate oxidation method (TOC Analyzer) และวิเคราะห์ไนโตรเจนโดยวิธีการ Total-Kjeldahl method (APHA, 1998) พร้อมทำการเติมอากาศตลอดเวลา ควบคุมปริมาณฟลอคในแต่ละชุดการทดลองเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร/ลิตร (ดัดแปลงจาก Avnimelech, 2015)

#### การวางแผนการทดลอง

ก่อนเริ่มการทดลอง นำลูกปลานิลแดงมาพักให้ปรับตัวในบ่อ ให้อาหารสำเร็จรูปปลากินพีช (25% โปรตีน) เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ปลาปรับสภาพก่อนเริ่มให้อาหารที่ทำทดลอง ทำการสูบน้ำและซังน้ำหน้าลูกปลาเริ่มต้นเพื่อปล่อยลงเลี้ยงในตู้ปลาที่ทำทดลอง ใช้ลูกปลานิลแดงน้ำหนักเฉลี่ย  $4.86 \pm 0.01$  กรัม อัตราการปล่อย 10 ตัว/ตู้ วางแผน

การทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม โดยเลี้ยงในระบบปกติ (ระบบน้ำใส) มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ชุดการทดลองที่ 2 ชุดที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอคจากน้ำเขียวจากฟาร์มปลาดุก (น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาดุก)

ชุดการทดลองที่ 3 ชุดที่เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอคจากน้ำประปา

อัตราอาหารเม็ด (เปอร์เซ็นต์โปรตีนประมาณ 35-40%) ที่ให้ตลอดการทดลอง 10% ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 3 ครั้ง ปริมาณอาหารที่ให้อาหารทุก 14 วัน ตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตทุก 14 วัน เมื่อครบ 10 สัปดาห์จึงจับปลาเพื่อนำมาตรวจวัดคุณภาพและองค์ประกอบของเนื้อปลา

#### การวิเคราะห์องค์ประกอบของอาหารและเนื้อปลา

วิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารในอาหารทดลอง รวมทั้งเนื้อปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยวิธีการตาม AOAC (1990) ดังต่อไปนี้ วิเคราะห์โปรตีนโดย Micro-Kjeldahl วิเคราะห์ไขมันโดยวิธี Dichloromethane extraction ตาม Soxhlet method วิเคราะห์เยื่อใย โดยวิธี Fritted glass crucible วิเคราะห์เถ้า โดยการเผาใน muffle furnace  $550^{\circ}\text{C}$   $12$  ชม. วิเคราะห์ความชื้น โดยการอบแห้งในตู้อบ  $105^{\circ}\text{C}$   $24$  ชม. โดยปริมาณสารอาหารของอาหารที่ใช้ทดลองมีค่าดังแสดงใน Table 1

Table 1 Biochemical composition of the experimental diet

Biochemical composition (% DM)	Diet
Crude protein	35.96 $\pm$ 0.12
Crude lipid	15.03 $\pm$ 0.24
Crude fiber	5.57 $\pm$ 0.20
Ash	6.99 $\pm$ 0.24
Moisture	8.74 $\pm$ 0.21

### การตรวจสอบคุณภาพสมบัติของน้ำ

ตรวจสอบคุณภาพน้ำในแต่ละชุดการทดลอง เวลาประมาณ 13.00 น.  $\pm$  1 ชม. ทุกวัน จนเสร็จสิ้นการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) ด้วยเครื่อง oxygen meter (YSI Model 59), แอมโมเนีย ไนโตรเจน (Ammonia-N) และ ไนไตรท์ ไนโตรเจน (Nitrite-N) วิเคราะห์หาค่าโดยใช้ spectrophotometer (Hach DR/4000) ค่า pH ทำการวัดโดยใช้เครื่อง pH meter (Schott-Gerate CG 840) และวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ทุก 14 วัน ตามวิธีการของ ISO 10260 (1992).

### การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพและการเจริญเติบโต

นับและชั่งน้ำหนักปลาในแต่ละชุดการทดลอง ทุก ๆ 14 วัน ตลอดการทดลองในแต่ละการทดลอง นำข้อมูลที่ได้ไปปรับปริมาณการให้อาหาร และคำนวณหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate: SGR) อัตรารอด (Survival rate) และ อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio: FCR)

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละชุดการทดลองที่รีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของรีตเมนต์ โดยวิธีของ Duncan's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ  $P < 0.05$  โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 15

### ผลการศึกษา

#### การเจริญเติบโตของปลานิลแดงวัยอ่อน

การเลี้ยงปลานิลแดงโดยระบบไบโอฟลอคค น้ำหนักปลาเฉลี่ยขณะเริ่มต้นการทดลอง  $4.87 \pm 0.01$  กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคคจากน้ำเขียวฟาร์มปลาตุ๊ก มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุด ( $54.80 \pm 1.19$  กรัม) รองลงมาคือปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคคจากน้ำประปา ( $51.07 \pm 0.22$  กรัม) และปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยชุดควบคุม ( $45.47 \pm 0.32$  กรัม) ตามลำดับ ( $P < 0.05$ ) (Table 2) อัตราการรอดของปลานิลแดงวัยอ่อน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคคมีอัตราการรอดสูง (100%) ในขณะที่ชุดควบคุมมีอัตราการรอด 96.67% น้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อวัน (ADG) พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคคจากน้ำเขียวฟาร์มปลาตุ๊กมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อวันดีที่สุด รองลงมาคือปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคคจากน้ำประปาและปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยชุดควบคุม โดยมีค่า ADG เท่ากับ  $10.25 \pm 0.02$ ,  $9.10 \pm 0.01$  และ  $8.35 \pm 0.01$  กรัม/วัน ตามลำดับ ( $P < 0.05$ ) (Table 2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ในแต่ละชุดการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุม ( $P < 0.05$ ) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคคมีค่า FCR ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคคจากน้ำเขียวฟาร์มปลาตุ๊กมีค่า FCR ต่ำที่สุดคือ  $1.31 \pm 0.01$  ( $P < 0.05$ ) (Table 2).

**Table 2** Growth performance and feed utilization of tilapia in the control group and biofloc technology (BFT) treatment at the end of 10-week experiment

Parameters	Control (without biofloc)	BFT treatments (plankton rich water from catfish farm)	BFT treatments (tap water)
Initial individual weight (g)	4.87±0.01	4.87±0.01	4.87±0.01
Final individual weight (g)	45.47±0.32 <sup>c</sup>	54.80±1.19 <sup>a</sup>	51.07±0.22 <sup>b</sup>
Average daily growth (g/day)	8.35±0.01 <sup>c</sup>	10.25±0.02 <sup>a</sup>	9.10±0.01 <sup>b</sup>
Individual weight gain (g)	40.60±0.32 <sup>c</sup>	49.93±1.19 <sup>a</sup>	46.19±0.22 <sup>b</sup>
Specific growth rate (SGR, %/day)	3.03±0.01 <sup>c</sup>	3.32 ±0.03 <sup>a</sup>	3.21±0.01 <sup>b</sup>
Survival rate (%)	96.67	100	100
Feed conversion rate (FCR)	1.75±0.01 <sup>c</sup>	1.31±0.01 <sup>a</sup>	1.54±0.01 <sup>b</sup>

Each value represents mean ± S.E. (n = 30). Means in the same row with different superscripts are significantly different at P<0.05.

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอาหารเนื้อปลาแต่ละชุดการทดลอง รวมทั้งฟลอคในชุดการทดลอง BFT เมื่อเพาะเลี้ยงครบ 10 สัปดาห์ (Table 3) พบว่า เนื้อปลาในชุดการทดลองที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคจากน้ำเขียวฟาร์มปลาตุ๊กมีปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนเฉลี่ยสูงที่สุด (57.44±0.19%) รองลงมาคือปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคจากน้ำประปา (55.80±0.17%) และปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยชุดควบคุม (53.68±0.55%)

ตามลำดับ (P<0.05) (Table 3) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างฟลอคในระบบ BFT มีค่าอยู่ในช่วง 24.99±1.47% เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ไขมัน พบว่าเนื้อปลาในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงที่สุด 8.51±0.14% รองลงมาคือปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยไบโอฟลอคจากน้ำประปา (7.24±0.16%) และเนื้อปลาในชุดการทดลองที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคจากน้ำเขียวฟาร์มปลาตุ๊ก (5.78±0.17%) ตามลำดับ

**Table 3** Proximate analysis (% dry matter) of the biofloc collected from biofloc technology (BFT) treatment, and the red tilapia fresh cultured in the control group and BFT treatments at the end of 10-week feeding experiment

Biochemical composition (% DM)	Biofloc	The red tilapia fresh		
		Control	BFT treatments (plankton rich water from catfish farm)	BFT treatments (tap water)
Crude protein	24.99±1.47	53.68±0.55 <sup>c</sup>	57.44±0.19 <sup>a</sup>	55.80±0.17 <sup>b</sup>
Crude lipid	8.26±0.21	8.51±0.14 <sup>a</sup>	7.24±0.16 <sup>b</sup>	5.78±0.17 <sup>c</sup>
Crude fiber	13.29±0.62	3.02±0.22 <sup>b</sup>	3.76±0.14 <sup>b</sup>	6.12±0.45 <sup>a</sup>
Ash	19.93±0.30	5.51±0.635	6.32±0.25	5.62±0.36
Moisture	6.98±0.28	14.19±0.53 <sup>ab</sup>	13.21±0.15 <sup>b</sup>	14.71±0.08 <sup>a</sup>

Each value represents mean ± S.E. (n = 30). Means in the same row (the red tilapia fresh) with different superscripts are significantly different at P<0.05.

### คุณภาพน้ำในชุดการทดลองปลานิลแดงวัยอ่อน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.03-7.64 โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง คงที่ในช่วงเริ่มต้นการทดลองและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในชุดควบคุม (ระบบน้ำใส) เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชจำนวนมาก ส่งผลให้ น้ำมีความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น (Boyd and Tucker, 2014) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ควรมีค่าอยู่ที่ 6.5-9 (วีระ, 2545) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของแต่ละชุดการทดลองมีค่า  $7.33 \pm 0.01$ - $7.55 \pm 0.01$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (Table 4)

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลาและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ระดับออกซิเจนละลายในน้ำรวมไปถึงความเหมาะสมสำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีไม่น้อยกว่า 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร (อุดมลักษณ์, 2558) ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง  $6.33 \pm 0.01$  มิลลิกรัม/ลิตร (Table 4)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-

ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดควบคุม ซึ่งชุดไบโอฟลอคมีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่สูงกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย อย่างไรก็ตามหลังจากเติมกากน้ำตาลลงไปแล้วก็พบว่าปริมาณแอมโมเนียในระบบไบโอฟลอคมีค่าลดลงมาก (ไม่เกินระดับที่เหมาะสม) ซึ่งไบโอฟลอคดึงแอมโมเนียมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่เพิ่มมากขึ้น (Avnimelech, 2015) (Table 4)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ( $\text{NO}_2^- \text{-N}$ ) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เปลี่ยนรูปมาจากแอมโมเนียพบว่า ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดควบคุม ซึ่งชุดไบโอฟลอคมีระดับไนไตรท์-ไนโตรเจนที่สูงกว่าชุดควบคุม เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน เปลี่ยนรูปสารประกอบแอมโมเนียเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท-ไนโตรเจนในที่สุด (Boyd and Tucker, 1998; El-Sayed, 2006)

**Table 4** Comparison of water quality parameters in the control group and biofloc technology (BFT) treatments during the 10-week experimental period

Parameters	Standard value of water quality*	Control (without biofloc)	BFT treatments (plankton rich water from catfish farm)	BFT treatments (tap water)
pH	6.5-9	$7.33 \pm 0.01^c$	$7.55 \pm 0.01^a$	$7.35 \pm 0.01^b$
DO (mg/L)	$\geq 3$	$6.33 \pm 0.01^c$	$6.56 \pm 0.01^a$	$6.36 \pm 0.01^b$
Ammonia-N (mg/L)	0.5	$0.37 \pm 0.01^c$	$0.96 \pm 0.01^b$	$0.99 \pm 0.01^a$
Nitrite-N (mg/L)	$\leq 8$	$0.28 \pm 0.03^c$	$1.61 \pm 0.01^a$	$1.69 \pm 0.01^b$
Chlorophylla a (ug/L)	nd	$138.83 \pm 1.30^c$	$67.27 \pm 0.10^a$	$76.32 \pm 0.15^b$

\* Reference from Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand and (Boyd and Tucker, 1998)

Values within the same row marked with a different superscript letter are significantly different ( $P < 0.05$ ).



## วิจารณ์

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลแดงในไบโอฟลอคที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบถึงอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาหลังจากเพาะเลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอค จากการทดลองพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยชุดไบโอฟลอค น้ำเขียวจากบ่อเลี้ยงปลาตุ๊ก ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลา (มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชจำนวนมาก) มีอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดดีที่สุดในรองลงมาคือ ชุดการทดลองไบโอฟลอค น้ำจากน้ำประปา และชุดควบคุม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าไบโอฟลอคมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดดีขึ้น โดยในชุดการทดลองไบโอฟลอคจากน้ำทิ้งบ่อปลาตุ๊ก ซึ่งมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเป็นจำนวนมาก เป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมสำหรับปลา เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Azim and Little (2008) ศึกษากระบวนการเลี้ยงปลานิล Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) ในระบบไบโอฟลอคในสภาวะที่มีแสงจำกัด พบว่าปลานิลมีอัตราการรอด 100% ผลผลิตปลานิลที่ได้มีปริมาณสูงกว่าชุดควบคุม (เลี้ยงในระบบน้ำใส) 45% โดยปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคและปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำใสมีสุขภาพแข็งแรงเช่นเดียวกัน และยังพบว่าปลาที่เลี้ยงในระบบที่มีไบโอฟลอคมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าปลานิลที่ไม่ได้เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค

ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยไบโอฟลอค น้ำจากฟาร์มปลาตุ๊กมีค่าดีที่สุด 1.31±0.01 รองลงมาคือ ชุดไบโอฟลอค น้ำจากน้ำประปาและชุดควบคุม 1.54±0.01 และ 1.75±0.01 ตามลำดับ จากงานวิจัยพบว่า ค่า FCR ได้ผลใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gaona et al. (2016) ในการพัฒนาระบบไบโอฟลอคในการเพาะเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) โดยเปรียบเทียบปริมาณฟลอคที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งพบว่าปริมาณฟลอคในระบบไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาว โดยพบว่าค่า FCR ของกุ้งขาวที่เลี้ยงในถังที่มีฟลอคในช่วง 250-4,000 มิลลิกรัม/ลิตร

มีค่าอยู่ระหว่าง 1.40-1.55 อย่างไรก็ตามค่า FCR ที่ได้จากงานวิจัยได้ผลที่ได้ดีกว่าผลการศึกษาของ Azim and Little (2008) ซึ่งพบว่าค่า FCR ของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคที่เลี้ยงโดยให้อาหารที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 24-35% เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 3.44-3.51 อย่างไรก็ตามพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคมีค่า FCR ต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เลี้ยงโดยระบบไบโอฟลอคอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ ส่วนค่าน้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (ADG) พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยไบโอฟลอค น้ำจากฟาร์มปลาตุ๊กมีค่าสูงที่สุด 10.25±0.02 กรัม/วัน เช่นเดียวกับค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยไบโอฟลอค น้ำจากฟาร์มปลาตุ๊ก มีค่า SGR สูงที่สุด 3.32±0.03% ต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในชุดควบคุม (3.03±0.01% ต่อวัน) อย่างมีนัยสำคัญ ใกล้เคียงกับรายงานของ วิลาวัณย์ และคณะ (2554) พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ของปลาที่ได้รับคว.พี. โปรไบโอติกส์ผสมในอาหารเม็ดสำเร็จรูป ความเข้มข้น 1% มีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุด คือ 2.01±0.12 กรัม/วัน ส่วนคุณภาพน้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่า pH ของชุดควบคุมจะมีค่าอยู่ในช่วง 7.33±0.01 ค่า pH ของน้ำจากฟาร์มปลาตุ๊กอยู่ในช่วง 7.55±0.01 และค่า pH ของน้ำจากน้ำประปา 7.35±0.01 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรอยู่ที่ 6.5-9 (Boyd and Tucker, 1998 และ วีระ, 2545) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ค่า pH อยู่ในเกณฑ์ที่ปกติ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการทดลองพบว่าชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง 6.33±0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และน้ำจากฟาร์มปลาตุ๊ก น้ำจากน้ำประปาอยู่ในช่วง 6.36±0.01-6.56±0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งความต้องการปริมาณที่เหมาะสมของออกซิเจนละลายในน้ำสำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2558 และ อุดมลักษณะ, 2558) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ

Gaona et al. (2016) จากการทดลองได้ทำการควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนมีค่า  $\geq 5$  มิลลิกรัม/ลิตร ตลอดเวลา จะให้การเจริญเติบโตของกุ้งขาวมีค่าสูง ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากการทดลองพบว่า ในชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง  $0.35 \pm 0.01$  มิลลิกรัม/ลิตร และน้ำจากฟาร์มปลาตุ๊ก น้ำจากน้ำประปา อยู่ในช่วง  $0.92 \pm 0.01 - 0.95 \pm 0.01$  มิลลิกรัม/ลิตร อาจจะเป็นเนื่องจากกระบวนการแอมโมเนียฟิเคชัน แบคทีเรียและจุลินทรีย์ในระบบสามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ในไนโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนียได้ (Boyd and Tucker, 1998) แต่หลังจากเติมกากน้ำตาลลงไป ปริมาณแอมโมเนียในระบบไบโอฟลอคจะมีค่าลดลงมาก ซึ่งไบโอฟลอคคือแอมโมเนียมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่เพิ่มมากขึ้น (Avnimelech, 2015) ส่วนไนโตรท-ไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง  $0.33 \pm 0.01$  มิลลิกรัม/ลิตร น้ำจากฟาร์มปลาตุ๊กอยู่ในช่วง  $1.63 \pm 0.01$  มิลลิกรัม/ลิตร และน้ำจากน้ำประปา  $1.67 \pm 0.01$  มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงจะอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติซึ่งปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน เป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบหนึ่ง จากการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนีย ไนโตรเจน และสามารถเปลี่ยนรูปให้เป็นไนเตรท ไนโตรเจน ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ถ้าน้ำมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ ไนโตรทจะออกซิไดส์ (Oxidation) ไปเป็นไนเตรทได้รวดเร็ว แต่ถ้าขาดน้ำออกซิเจนพวกจุลินทรีย์จะรีดิวซ์ (Reduced) ไนเตรทไปเป็นไนโตรท ทำให้เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (อุตมลักษณ์, 2558 และ Avnimelech, 2015) ซึ่งในงานวิจัยการควบคุมความเป็นพิษของแอมโมเนียและไนโตรท ไนโตรเจน ทำได้โดยการเติมแหล่งน้ำตาลลงไปและควบคุมปริมาณออกซิเจนให้เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร

ปริมาณไบโอฟลอคมีอัตราการลดลงในชุดที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอค ส่วนในชุดควบคุมมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ (ปริมาณแพลงก์ตอนพืชสูง ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นประจำทุกสัปดาห์) ในส่วนระบบไบโอฟลอค

ปลานิลแดงได้กินไบโอฟลอคเป็นอาหารด้วย ซึ่งเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างฟลอคในระบบ BFT มีค่าสูงเกือบ 30% ส่งผลให้อัตรการเจริญเติบโต รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการของปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคสูงกว่าชุดควบคุม โดยพบว่าระบบที่เลี้ยงโดยใช้น้ำเขียวจากฟาร์มปลาตุ๊กส่งผลให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด รวมทั้งเนื้อปลาก็มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการที่ปลานิลแดงได้กินไบโอฟลอคเป็นอาหาร ทำให้ปริมาณฟลอคในแต่ละวันมีค่าไม่สูงเกิน 10 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าจุลินทรีย์ในฟลอคมีมากมายหลายชนิด ทั้ง ยีสต์ รา และแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพสำหรับปลานิลแดง และไบโอฟลอคยังสามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ไบโอฟลอคสามารถดูดซับไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายเศษอาหารเพื่อช่วยลดปริมาณแอมโมเนียที่เป็นพิษได้ ซึ่งยืนยันได้จากงานวิจัยของ Martinez-Cordova et al. (2014) กล่าวว่า การควบคุมสัดส่วน C:N ในระบบให้อาหารในช่วง 15-20 จะช่วยเปลี่ยนรูปแอมโมเนียและสารประกอบอินทรีย์ในไนโตรเจนให้เป็นมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น และการเติมแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณแอมโมเนียลงได้ภายในเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมง (ภายหลังจากการเติมแหล่งคาร์บอนในอัตราที่เหมาะสมลงไปแล้ว) และยังสามารถควบคุมโรคได้อีกด้วยเนื่องจากตะกอนไบโอฟลอคมีสารบางชนิดที่สร้างสารยับยั้งเชื้อโรคทั้งไวรัสและแบคทีเรีย เป็นต้น (Avnimelech, 2015)

## สรุป

ผลการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงวัยอ่อนโดยเพาะเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยประเมินอัตราการรอด การเจริญเติบโต และการจัดการคุณภาพน้ำ ผลการศึกษาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคมีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยไบโอฟลอคด้วยน้ำจากฟาร์มปลาตุ๊กมีน้ำหนักเฉลี่ย



ค่าน้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (ADG) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) สูงที่สุด คือ  $54.80 \pm 1.19$  กรัม,  $10.25 \pm 0.02$  กรัม/วัน และ  $3.32 \pm 0.03$  %/วัน ตามลำดับ ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เนื้อปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีปริมาณโปรตีนมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) พบว่าระบบไบโอฟลอคสามารถควบคุมระดับคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นเทคโนโลยีไบโอฟลอคสามารถช่วยให้ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำได้ผลผลิตที่คุ้มค่า อีกทั้งเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาวะที่ปริมาณน้ำมีจำกัดได้อีกด้วย

### เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2558. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535: กฎ ประกาศ และระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 6. โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ
- วิลาวัณย์ รุ่งมรวัช, สุรวัฒน์ ชะลอสันติสกุล, สมฤดี ศิลากุติ และจารุณี เกษรพิกุล. 2554. ผลของคิว.พี. โปรไบโอติกส์ต่อการเจริญเติบโตของปลานิล. วารสารคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร เพชรบุรี. 2: 7.
- วีระ ตั้งชวาล. 2545. เคมีของน้ำและการบำบัดน้ำเสีย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- อุดมลักษณ์ สมพงษ์. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิชา พล 312 คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.
- APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. United Book Press, Inc. Washington DC, USA.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the AOAC, 15th ed. Association of official analytical chemists. Arlington, VA, USA.
- Avnimelech, Y. 2015. Biofloc Technology-A Practical Guidebook, 3rd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Azim, M.E. and D.C. Little. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture. 283: 29-35.
- Boyd, C.E. and C.S., Tucker. 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer Science Business Media, New York, USA.
- Boyd, C.E. and C.S. Tucker. 2014. Handbook for Aquaculture Water Quality. Craftmaster Printers, Inc. Auburn, Alabama, USA
- Correia, E.S., J.S. Wilkenfeld, T.C. Morris, L. Wei, D.I. Prangnell, and T.M. Samoch. 2014. Intensive nursery production of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using two commercial feeds with high and low protein content in a biofloc-dominated system. Aquacultural Engineering. 59: 48-54.
- Crab, R., T. Defoirdt, P. Bossier, and W. Verstraete. 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effect and future challenges. Aquaculture. 356-357: 351-356.

- El-Sayed, A.E.M. 2006. Tilapia Culture. CAB International, Oxfordshire, UK.
- Gaona C. A. P., F. da P. Serra, P. S. Furtado, L. H. Poersch, and W. Jr. Wasielesky. 2016. Effect of different total suspended solids concentrations on the growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a BFT system. Aquacultural Engineering. 72–73: 65–69.
- ISO 10260. 1992. Water quality-measurement of biochemical parameters-spectrometric determination of the chlorophyll-a concentration. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Martinez-Cordova L.R., M. Emerenciano, A. Miranda-Baeza, and M. Martinez-Porchas. 2014. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. Reviews in Aquaculture. 6: 1–18.
- Rodrigo, S., A. Rafael, F.B. Manecas, F.S.C. Patricia, V.A. Luis, Q.S. Walter, and R. A Edemar. 2013. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (biofloc system) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. Aquacultural Engineering. 1676: 1-11.
- Zhao, Z., Q. Xu, L. Luo, C. Wang, J. Li, and L. Wang. 2014. Effect of feed C/N ratio promoted bioflocs on water quality and production performance of bottom and filter feeder carp in minimum-water exchanged pond polyculture system. Aquaculture. 434: 442–448.