

เปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) แบบไบโอฟลอค

Comparision on culture system of Red tilapia

(*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) using biofloc system

อลิสรา ชันโท^{1*} จงกล พรमध्ये¹ ชนกันต์ จิตมนัส¹ และอุดมลักษณ์ สมพงษ์¹

Alissara Khantho^{1*} Jongkon Promya¹ Chanagun Chitmanat¹ Udomluk Sompong¹

¹คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiangmai 50290

*Corresponding author: K.Alissara@hotmail.com

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) ในระบบปิดแบบทั่วไปและระบบปิดแบบไบโอฟลอค โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ ระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ปล่อยปลาน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 45.00 ± 0.87 - 45.33 ± 0.76 กรัม/ตัว อัตราการปล่อย 68 ตัว/บ่อ ในบ่อซีเมนต์ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 0.7$ เมตร สุ่มเก็บข้อมูลชั่งน้ำหนักปลา 21 ตัว/บ่อ ทุกๆ 15 วัน เป็นเวลา 150 วัน ศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ต้นทุนการผลิต และคุณภาพน้ำ ผลการทดลองพบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและต้นทุนการผลิตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.10 ± 0.01 และต้นทุนการผลิต มีค่าเท่ากับ 64.72 ± 0.03 บาท/กิโลกรัม ดีกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีทั้ง 4 ชุดการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลองลดลง สรุปได้ว่าระบบไบโอฟลอคมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาและช่วยบำบัดแอมโมเนียในน้ำได้

คำสำคัญ: ปลานิลแดง ไบโอฟลอค การเจริญเติบโต คุณภาพน้ำ

Abstract

The objective of this experiment was to compare the culture system of red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) in the general closed system and the biofloc system. The experiment was divided into 4 treatments, 3 replications each including raising red tilapia in a closed system providing 3 percent of body weight feed compared with the biofloc system providing 1.5, 3 and 4.5 percent of body weight feeds. An average initial weight was 45.00 ± 0.87 - 45.33 ± 0.76

g/fish. The stocking rate was 68 fish/pond in a pond of 1.5 × 1.5 × 0.7 meters, 21 fish/pond of fish were randomly checked every 15 days for 150 days to investigate for growth performances, cost and water quality. The results showed that the red tilapia fed in the biofloc system providing feeds at 1.5, 3 and 4.5 percent of body weight had significantly better in final individual weight, weight gain, average daily growth, specific growth rate and survival rate than fish raised in the general closed system ($p < 0.05$). Feed conversion rate of fish fed 1.5 percent of body weight in the biofloc system was 1.10 ± 0.01 which was significantly reduced cost. The cost of production was 64.72 ± 0.03 Baht/kg which was less than other 3 treatments ($p < 0.05$). Physical and chemical water quality factors in all 4 experiments were in the appropriate criteria for aquaculture. From the results of this study, it can be concluded that the biofloc system affected fish growth and reduced ammonia in the water.

Keywords: Red tilapia, Biofloc, Fish growth, Water quality

คำนำ

ปลานิลแดง หรือ Red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) เป็นปลาลูกผสมระหว่างปลานิลกับปลาหมอเทศ มีลักษณะของโครโมโซมใกล้เคียงกับปลาหมอเทศและปลานิล คือมีปากเฉียงขึ้นคล้ายปลาหมอเทศและลักษณะลำตัวคล้ายปลานิล (Pongthana, 2010) ปลานิลแดงถือเป็นปลาเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงมากทั้งในน้ำจืดและน้ำกร่อย เนื่องจากถือเป็นแหล่งโปรตีนจากปลาที่ราคาไม่แพงและสามารถจำหน่ายภายในประเทศได้อย่างแพร่หลาย (Betagro, 2014: online) ปัจจุบันเกษตรกรนิยมเลี้ยงปลานิลแดงในกระชังและมีการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูงเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น แต่มักจะประสบปัญหาเรื่องของคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะแอมโมเนียที่มักเกิดจากการให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไป หรือจากการขับถ่ายของปลา จึงได้มีการแก้ปัญหาด้วยการนำแนวคิดที่จะบำบัดแอมโมเนียมาปรับใช้ภายในบ่อเลี้ยงปลา ระบบปิดซึ่งหนึ่งในนั้นคือการใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค (Khanthong, 2016: online) เทคโนโลยีไบโอฟลอค (BFT) คือระบบที่พัฒนามาเพื่อจัดการการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่หนาแน่น ลดการเปลี่ยนถ่ายน้ำ มีความปลอดภัยทางชีวภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยลดปริมาณแอมโมเนียในบ่อ โดยการใช้แบคทีเรียจำพวกเฮเทอโรโทรฟิค (Heterotrophic bacteria) ตรึงไนโตรเจนจากของเสียและการขับถ่ายของปลามาสร้างเซลล์ใหม่เกิดเป็นมวลชีวภาพกลายเป็นแหล่งโปรตีนแก่สัตว์น้ำด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) (Avnimelech, 2015) การศึกษาเทคโนโลยีไบโอฟลอค (BFT) บ่อในที่ร่มโดยการเลี้ยงปลานิลในบ่อไบโอฟลอค 2 บ่อ ให้อาหารที่มีโปรตีน 35 และ 24 เปอร์เซ็นต์และบ่อชุดควบคุม 1 บ่อ ให้อาหารที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ พบว่าองค์ประกอบและสารอาหารที่พบในไบโอฟลอคมีความเหมาะสมต่อปลานิล ปลาในบ่อไบโอฟลอคมีอัตราการรอด 100 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อไบโอฟลอคสูงกว่าบ่อชุดควบคุม 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสรุปได้ว่าปลานิลใช้ประโยชน์จากไบโอฟลอคในการเจริญเติบโต (Azim and Little, 2008)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการศึกษาการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไป เปรียบเทียบกับระบบปิดแบบไบโอฟลอค โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต บำรุงคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่อเลี้ยงและต้นทุนในการผลิต เพื่อนำไปพัฒนาระบบการเลี้ยงปลานิลแดงที่ปลอดภัยมุ่งสู่อินทรีย์ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมพื้นที่ทดลอง

ใช้บ่อซีเมนต์ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 0.7$ เมตร จำนวน 12 บ่อ สถานที่ทดลอง ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง

ใช้ปลานิลแดงจากคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ น้ำหนักตัวเฉลี่ย 45.17 ± 0.79 กรัม/ตัว ปล่อยปลาลง 68 ตัว (ในอัตรา 30 ตัว/ตารางเมตร)

3. การเตรียมอาหารทดลอง

ใช้อาหารสูตรของ Promya (2015: online) โดยมีส่วนผสมดังนี้ ปลาขี้ขาว 20 เปอร์เซ็นต์ เปลือกถั่วดาวอินคา 27 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียด 28 เปอร์เซ็นต์ ปลาป่น 15 เปอร์เซ็นต์ สไปรูลินาบดผง 7 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 3 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้เข้ากัน นำมาอัดเม็ดแล้วผึ่งลมในที่ร่ม เก็บอาหารไว้ในถังพลาสติกที่บดแสง (ทำอาหารครั้งละ 20 กิโลกรัม) ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ปรับปริมาณอาหารที่ให้อาหารทุก ๆ 15 วัน สังเกตและจดบันทึกการกินอาหารของปลา วิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารโดยวิธีการตาม AOAC (1990) ปริมาณสารอาหารของอาหารที่ใช้ทดลองมีค่าดังแสดงใน Table 1

Table 1 Biochemical composition of the experimental diet (Mean \pm SD)

Biochemical composition (% DM)	Diet
Crude protein	36.16 \pm 0.07
Crude lipid	8.94 \pm 0.24
Crude fiber	9.33 \pm 0.03
Ash	15.19 \pm 0.09
Moisture	5.96 \pm 0.15

4. การเตรียมระบบทดลอง

ระบบปิดแบบทั่วไป เตรียมน้ำประปาในบ่อซีเมนต์จำนวน 3 บ่อ ให้อากาศโดยใช้หัวทราย และระบบปิดแบบไบโอฟลอค เตรียมน้ำประปาในบ่อซีเมนต์จำนวน 9 บ่อ เติมส่วนผสมทำตะกอนไบโอ-ฟลอค โดยเติมกากน้ำตาลปริมาณ 0.4 กรัม/ลิตร รำละเอียดปริมาณ 0.2 กรัม/ลิตร อาหารเม็ดสำเร็จรูปบดผงปริมาณ 0.2 กรัม/ลิตร โดโลไมท์ปริมาณ 0.1 กรัม/ลิตร และตะกอนดิน 0.1 กรัม/ลิตร ให้อากาศโดยใช้หัวทราย แต่ละชุดการ

ทดลองควบคุมสัดส่วนของ C:N=16:1 ควบคุมปริมาณไบโอฟลอค 10 มิลลิกรัม/ลิตร (ดัดแปลงจาก Avnimelech, 2015)

5. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่1 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไป (Control) ให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T1)

ชุดการทดลองที่2 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T2)

ชุดการทดลองที่3 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T3)

ชุดการทดลองที่4 ระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอค ให้อาหาร 4.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (T4)

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล

6.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลา สุ่มตัวอย่างปลา 21 ตัว/บ่อ ซึ่งน้ำหนักปลาทุกๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 150 วัน ซึ่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งทศนิยมสองตำแหน่ง และนับจำนวนปลาที่รอดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าต่างๆ ดังนี้

ก. น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Weight gain (WG) : กรัม/ตัว)

= น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

ข. อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily gain (ADG) : กรัม/ตัว/วัน)

=
$$\frac{\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{ระยะเวลาในการทดลอง}}$$

ค. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate (SGR) : เปอร์เซ็นต์/วัน)

=
$$\frac{(\ln \text{ น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{ น้ำหนักปลาเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100}{\text{ระยะเวลาในการทดลอง}}$$

ง. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Rate (FCR) : หน่วย)

=
$$\frac{\text{จำนวนน้ำหนักรักษาที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น}}$$

จ. อัตราการรอดตาย (Survival Rate : เปอร์เซ็นต์)

=
$$\frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้นการทดลอง}}$$

6.2 ต้นทุนการผลิต = ค่าอาหารปลา+ค่าพันธุ์ปลา+ค่าไฟ+ค่าส่วนผสมไบโอฟลอค

6.3 ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี เก็บตัวอย่างน้ำจากแต่ละชุดการทดลองทุก ๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 150 วัน ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ได้แก่ อุณหภูมิ (Water temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia nitrogen) ไนไตรท์ไนโตรเจน (Nitrite nitrogen) ไนเตรทไนโตรเจน (Nitrate nitrogen) และออร์โธฟอสเฟสฟอสฟอรัส (Orthophosphate phosphorus) ตามวิธีของ Traichaiyaporn (1999)

6.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละชุดการทดลองและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์โดยวิธี Tukey's test ที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$

ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลแดง

จากการเปรียบเทียบการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ ระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

1.1 น้ำหนักเฉลี่ย เมื่อเริ่มต้นทดลองปลานิลแดงมีน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 45.00 ± 0.87 , 45.33 ± 0.76 , 45.17 ± 0.76 และ 45.17 ± 0.76 กรัม/ตัว ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 346.00 ± 0.01 , 328.00 ± 1.00 และ 349.50 ± 0.50 กรัม/ตัว ตามลำดับ สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 306.00 ± 2.00 กรัม/ตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

1.2 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 304.33 ± 1.04 กรัม/ตัว ซึ่งมีค่ามากกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

1.3 อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.01 ± 0.01 , 1.89 ± 0.01 และ 2.03 ± 0.01 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.74 ± 0.01 กรัม/ตัว/วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

1.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.35 ± 0.01 , 1.32 ± 0.01 และ 1.36 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.28 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์/วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

1.5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่าปลาที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.10 ± 0.01 ดีกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

1.6 อัตราการรอดตาย พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 81.19 ± 1.00 , 86.99 ± 0.32 และ 85.01 ± 0.60 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ สูงกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 51.23 ± 1.18 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

1.7 ต้นทุนและผลผลิต โดยคิดต้นทุนจากค่าพันธุ์ปลา ค่าอาหาร ค่าไฟ และค่าส่วนผสมตะกอนไบโอฟลอค พบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 64.72 ± 0.03 บาท/กิโลกรัม มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2) ส่วนผลผลิตที่ได้เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ได้ผลผลิตทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 23.53 ± 0.01 , 22.30 ± 0.07 และ 23.77 ± 0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ สูงกว่าชุดการทดลองระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 20.81 ± 0.14 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

Table 2 Growth performances of Red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) experimental period for 150 days ทำไม่แยกตาราง

Parameters	Culture system treatment			
	T1 (Control without biofloc + 3% feeding)	T2 (BFT treatments + 1.5% feeding)	T3 (BFT treatments + 3% feeding)	T4 (BFT treatments + 4.5% feeding)
Initial individual weight (g)	45.00 ± 0.87^a	45.33 ± 0.76^a	45.17 ± 0.76^a	45.17 ± 0.76^a
Final individual weight (g)	306.00 ± 2.00^a	346.00 ± 0.01^c	328.00 ± 1.00^b	349.50 ± 0.50^d
Weight gain (g)	261.00 ± 1.32^a	300.67 ± 0.76^c	282.83 ± 0.76^b	304.33 ± 1.04^d
Average daily growth (g/fish/day)	1.74 ± 0.01^a	2.01 ± 0.01^c	1.89 ± 0.01^b	2.03 ± 0.01^d
Specific growth rate (%/day)	1.28 ± 0.01^a	1.35 ± 0.01^c	1.32 ± 0.01^b	1.36 ± 0.01^c

Parameters	Culture system treatment			
	T1 (Control without biofloc + 3% feeding)	T2 (BFT treatments + 1.5% feeding)	T3 (BFT treatments + 3% feeding)	T4 (BFT treatments + 4.5% feeding)
Feed conversion rate (Unit)	2.35 ± 0.02^c	1.10 ± 0.01^a	2.27 ± 0.02^b	3.37 ± 0.01^d
Survival rate (%)	51.23 ± 1.18^a	81.19 ± 1.00^b	86.99 ± 0.32^c	85.01 ± 0.60^c
Production costs (baht/kg)	94.76 ± 0.71^c	64.72 ± 0.03^a	91.75 ± 0.38^b	112.65 ± 0.21^d
Production (kg)	20.81 ± 0.14^a	23.53 ± 0.01^c	22.30 ± 0.07^b	23.77 ± 0.03^d

Each value represents mean \pm SD in the same row with different superscripts were significantly different ($p < 0.05$).

2. คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมีในบ่อเลี้ยงปลานิลแดง

2.1 อุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 23.33 ± 0.01 - 24.33 ± 0.01 องศาเซลเซียส ซึ่งทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (Table 3)

2.2 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) พบว่า pH ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.63 ± 0.01 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 75 - 150 ของการทดลอง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ pH ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.25 ± 0.01 , 8.25 ± 0.01 และ 8.22 ± 0.01 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 75 - 150 ของการทดลอง (Table 3)

2.3 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าระหว่าง 6.90 ± 0.01 - 6.97 ± 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (Table 3)

2.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 3) และในวันที่ 30 - 150 ของการทดลองพบว่า ปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Figure 1)

2.5 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 3) ส่วนปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 3)

2.6 ปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 3)

Table 3 Comparison of water quality parameters in ponds of Red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) experimental period for 150 days

Parameters	Culture system treatment			
	T1 (Control without biofloc + 3% feeding)	T2 (BFT treatments + 1.5% feeding)	T3 (BFT treatments + 3% feeding)	T4 (BFT treatments + 4.5% feeding)
Water temperature (°C)	23.33±0.01 ^a	23.67±0.01 ^a	24.33±0.01 ^a	24.33±0.01 ^a
pH	8.63±0.01 ^c	8.25±0.01 ^b	8.25±0.01 ^b	8.22±0.01 ^a
Dissolved oxygen (mg/L)	6.93±0.06 ^a	6.97±0.06 ^a	6.90±0.01 ^a	6.97±0.06 ^a
Ammonia-N (mg/L)	0.38±0.01 ^a	0.39±0.01 ^b	0.42±0.01 ^c	0.40±0.01 ^b
Nitrite-N (mg/L)	0.20±0.01 ^a	0.46±0.01 ^b	0.46±0.03 ^b	0.47±0.01 ^c
Nitrate-N (mg/L)	0.85±0.02 ^c	0.45±0.02 ^b	0.45±0.04 ^b	0.41±0.01 ^a
Phosphate-P (mg/L)	0.40±0.05 ^a	0.98±0.04 ^c	0.82±0.01 ^b	0.99±0.01 ^c

Each value represents mean ± SD in the same row with different superscripts were significantly different ($p < 0.05$).

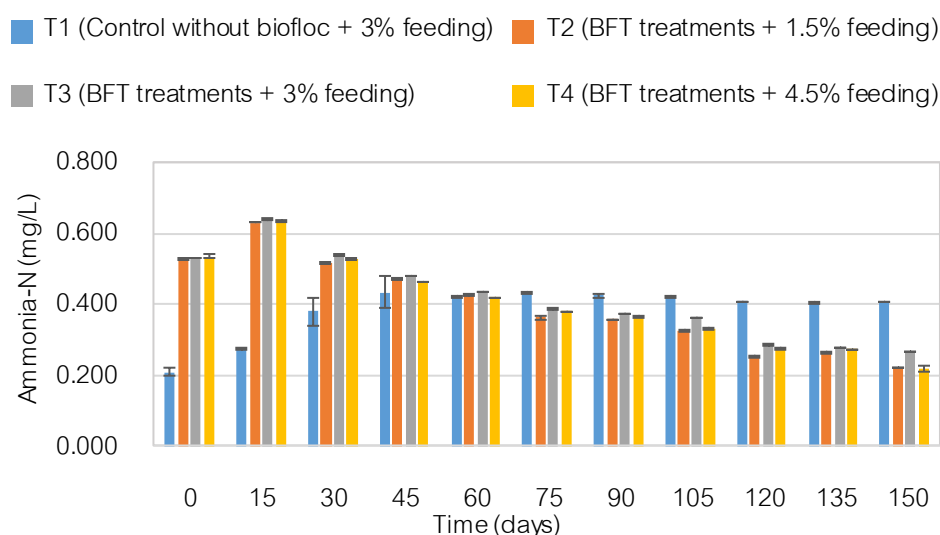


Figure 1 Ammonia-N (mg/L) in ponds of Red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) experimental period for 150 days

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 346.00 ± 0.01 , 328.00 ± 1.00 และ 349.50 ± 0.50 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (WG) มีค่าเท่ากับ 300.67 ± 0.76 , 282.83 ± 0.76 และ 304.33 ± 1.04 กรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ekasari *et al.* (2015) ซึ่งตรวจสอบผลของการเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ในระบบไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโต พบว่าปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าระบบควบคุมที่เลี้ยงในน้ำประปาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) มีค่าเท่ากับ 2.01 ± 0.01 , 1.89 ± 0.01 และ 2.03 ± 0.01 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) มีค่าเท่ากับ 1.35 ± 0.01 , 1.32 ± 0.01 และ 1.36 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Rumrui *et al.* (2011) ได้ผสมควิ.พี.โปรไบโอติกในอาหารสำเร็จรูปให้ปลานิล ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.01 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.10 ± 0.01 และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 81.19 ± 1.00 , 86.99 ± 0.32 และ 85.01 ± 0.61 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen *et al.* (2020) ได้ทำการศึกษาผลของการเติมคาร์โบไฮเดรตในระบบไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโตของปลาดุกแอฟริกา (*Clarias gariepinus*) พบว่าการเติมคาร์โบไฮเดรตในระบบไบโอฟลอคมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในบ่อ อัตราการรอดตายของปลาดุกแอฟริกาอยู่ในช่วง 89 – 97 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ในช่วง 1.17 – 1.43 คุณค่าทางโภชนาการในระบบไบโอฟลอคมีค่าเหมาะสมต่อปลานิล โดยที่ปลาใช้ประโยชน์จากตะกอนฟลอค และอาหารที่ได้รับ (Azim and Little, 2008) เนื่องจากไบโอฟลอคมีการดัดไนโตรเจนมาใช้เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งเนื้อเซลล์ใหม่คือสารจำพวกพวกโปรตีน เมื่อสัตว์น้ำกินกลุ่มฟลอคที่เป็นโปรตีนจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (Khanthong, 2016: online) ต้นทุนการผลิตปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 64.72 ± 0.03 บาท ซึ่งต่ำกว่าทั้ง 3 ชุดการทดลอง ส่วนผลผลิตจากการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 23.53 ± 0.01 , 22.30 ± 0.07 และ 23.77 ± 0.03 กิโลกรัม ดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 20.81 ± 0.14 กิโลกรัม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Promya (2015: online) ได้ทำการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และต้นทุนการผลิต พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ระหว่าง 0.59 – 1.63 ได้ผลผลิตประมาณ 19.64 – 27.30 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ปัจจัยทางคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมีในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแต่ละชุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 8.22 ± 0.01 - 8.63 ± 0.01 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมคืออยู่ในช่วงระหว่าง 6.5 - 9 (Sangrungruang, 2007: online) ค่า pH ในบ่อปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอ-ฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มลดลงในวันที่ 75 - 150 ของการทดลอง เนื่องจากการเติมกากน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนทำให้ค่า pH ลดลง (Wuttitam *et al.*, 2018) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลาและสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าไม่น้อยกว่า 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร (Sangrungruang, 2007: online) จากการทดลองพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าระหว่าง 6.90 ± 0.01 - 6.97 ± 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนรูปสารประกอบแอมโมเนียเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) จึงทำให้ปริมาณ ไนไตรท์-ไนโตรเจนสูงขึ้น ซึ่งไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ในที่สุด (Kutako, 2016) การเติมแหล่งคาร์บอนลงไปบ่อเช่น แبنัง หรือน้ำตาล เมื่อเติมคาร์บอนลงไปจุลินทรีย์ก็จะดึงคาร์บอนมาเป็นแหล่งพลังงาน แล้วก็ดึงเอาไนโตรเจนซึ่งเป็นสารประกอบของแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำมาเป็นตัวสร้างเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นถ้ามีการเติมคาร์บอนในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเป็นการส่งเสริมให้จุลินทรีย์มีการดึงไนโตรเจนมาใช้มากขึ้นตามไปด้วย ผลก็คือปริมาณแอมโมเนียในน้ำก็จะลดลง ขณะเดียวกันปริมาณของจุลินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเท่ากับว่าประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำในบ่อจะดีขึ้นตามลำดับ (Khanthong, 2016: online) ปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทำให้พืชน้ำเจริญเติบโต หากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงเกิดภาวะขาดออกซิเจนในน้ำได้ ซึ่งในบ่อปลาไม่ควรจะมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.6 มิลลิกรัม/ลิตร (Sangrungruang, 2007: online) จากการทดลอง พบว่าในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.82 ± 0.01 - 0.99 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากปริมาณแพลงก์ตอนและแบคทีเรียที่อยู่ในตะกอนไบโอฟลอคมีจำนวนมาก (Avnimelech, 2015)

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับระบบปิดแบบไบโอฟลอคให้อาหาร 1.5, 3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลองดีกว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลมาจากที่ปลาใช้ประโยชน์จากตะกอนไบโอฟลอคในการเจริญเติบโตส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและต้นทุนการผลิตของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบปิดแบบทั่วไปให้อาหาร 1.5 เปอร์เซ็นต์ ดีที่สุด ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีพบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลองมีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ระบบไบโอฟลอคสามารถช่วยในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในบ่อได้ แต่ปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัสสูงในบ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดแบบไบโอฟลอคทั้ง 3 ชุดการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณแพลงก์ตอนและแบคทีเรียจำนวนมากจึงควรมีการดูดตะกอนไบโอ

โอฟลอคส์ปดาร์ลจะครั้งเพื่อลดปริมาณออร์โธฟอสเฟส-ฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามโอฟลอคจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อมีการเติมแหล่งคาร์บอนในระบบที่เหมาะสม และควรมีการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานชีวภาพในตะกอนโอฟลอคเพื่อหามวลชีวภาพในแต่ละบ่อเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อยืนยันว่าปลาสามารถใช้ประโยชน์จากตะกอนโอฟลอคในการเจริญเติบโตได้มากน้อยเพียงใด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ และความร่วมมือจากหลายฝ่าย ซึ่งทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ “ทุนศิษย์ก้นกุฏิ” ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่คอยแนะนำ และให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งอนุเคราะห์สถานที่ทำงานวิจัยในครั้งนี้ให้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the AOAC. Association of official analytical chemists. Arlington. VA. USA.
- Avnimelech, Y. 2015. Biofloc Technology. The World Aquaculture Society. Baton Rouge. Louisiana, USA. 258 p.
- Azim, M.E., and Little, D.C. 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.
- Betagro, 2014. Guide to raising tilapia and red tilapia. [Online]. Available from <https://bit.ly/2D8r5xU> [2019, February 6] [in Thai]
- Chen, X., Luo, G., Tan, J., Tan, H., Yao, M. 2020. Effects of carbohydrate supply strategies and biofloc concentrations on the growth performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in biofloc systems. Aquaculture. 517:143-159.
- Ekasari, J., Rivandi, D.R., Firdausi, A.P., Surawidjaja, E.H., Jr, M.Z., Bossier, P., Schryver, P.D. 2015. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. Aquaculture, 441:72-77.
- Khanthong, A. 2016. Biofloc and aquaculture. National institute of coastal aquaculture. [Online]. Available from http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=642:biofloc&catid=42:2012-02-20-03-00-29&Itemid=124 [2019, February 6] [in Thai]
- Kutako, M. 2016. The rate of ammonia treatment of biofluff produced from saltwater microorganisms. Journal of Agriculture. 44(3):731-737. [in Thai]

- Pongthana, N. 2010. Successful cultivation of tilapia and red tilapia. Aquatic Animal Genetics Research and Development Institute. Pathumthani. 43 p. [in Thai]
- Promya, J. 2015. Biofloc system and organic tilapia production prototype for community enterprises Chiangmai Province. [Online]. Available from file:///C:/Users/ASUS/Downloads/erp256205152036080fb582b8f7aa446189395accf1066b34.pdf [2019, April 5] [in Thai]
- Rumrui, V., Chalosuntisakol, S., Silarudee, S., Kasatpikol, J. 2011. Effect of Probiotics on Growth Performance and Survival Rate in *Anabas testudineus*. Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University. 19:82-89. [in Thai]
- Sangrungruang, C. 2007. Biological monitoring. [Online]. Available from http://www.virtual.cmru.ac.th/multim_link/etheses/391484/C2_391484.pdf [2019, February 6] [in Thai]
- Traichaiyaporn, S. 1999. Water quality analysis. Chiang Mai University. Chiang Mai. 125 p. [in Thai]
- Wuttitam, S., Mueangkan, N., Lerdsutichawan, T., Jirapongsatontakul, N., Utanatun, K. 2018. Effect of Biofloc Produced from Different Carbon Sources on Immune Response of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Science and Technology Journal Ubon Ratchathani University. 20(2):1-13. [in Thai]