

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไบโอฟล็อกและน้ำหมักชีวภาพ สำหรับการเลี้ยงปลานิลในที่ร่ม

Biofloc Technology and Bio-extract Applications for Indoor Culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

ศรัณย์ รักษาพรหมณ์*, วิจิตรา ตั้งชี และ ณัฐพล ราชภูมิณต์
Sarun Rucksapram*, Wijittra Tungse and Natthaphon Rachuphimon

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จ. สงขลา 90000
Agricultural Technology Program, Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkla 90000, Thailand

*Corresponding author: Email: sarun.ru@skru.ac.th

(Received: 21 June 2021; Accepted: 8 August 2021)

Abstract: This research aimed to study growth, survival rate and food conversion ratio of tilapia size 2.7 - 3 centimeter, and water quality analysis in various culture systems. The experimental arrangement was a completely randomized design with 4 treatments and 3 replications as follows: treatment I; cultured with normal system (control), treatment II; cultured with biofloc system, treatment III; cultured with bio - extract and treatment IIII; cultured with biofloc system + bio - extract. The cultivation period was 8 weeks. At the end of the experiment, the results showed that the tilapia culture with biofloc system (treatment II) was the best culture system. As a result, the tilapia showed good growth, high survival rate and low food conversion ratio; and we can treat ammonia without water changes therefore making cost savings. But we may need to control the number of suspended solids in the water, not exceeding 500 milligrams per liter. We should also control the pH levels, not to go below 6.5. We also found the flocs contained 21 % protein of the dry weight. There were many species of plankton: *Vorticella* sp., *Paramecium* sp., *Euchlanis* sp., *Rotaria* sp., *Amoeba* sp., *Arcella* sp., *Scenedesmus* sp., *Euglypha* sp., rotifers, *Brachionus* sp., *Centropysis* sp., *Prorodon* sp., *Trichocerca* sp. and *Bdelloidea* sp. all of which were living feed that the tilapia can eat any time.

Keywords: Biofloc technology, bio - extract, Nile tilapia

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราการแลกเนื้อของ ปลานิล ขนาด 2.7-3 เซนติเมตร และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงรูปแบบต่าง ๆ โดยวางแผนการทดลอง แบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ กำหนดเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 คือ การเลี้ยง ปลานิลด้วยระบบปกติ (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค ชุดการทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลานิลด้วยน้ำหมักชีวภาพ และชุดการทดลองที่ 4 การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมัก ชีวภาพ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอค (ชุดการทดลองที่ 2) เป็นระบบการเลี้ยงที่ดีที่สุด ส่งผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี อัตราการรอดตายสูง อัตราการแลกเนื้อต่ำ และสามารถบำบัดแอมโมเนียได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำให้ประหยัดต้นทุน แต่อาจจะต้องควบคุมปริมาณ สารแขวนลอยในน้ำไม่ควรเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุมระดับ pH ไม่ให้ต่ำกว่า 6.5 และพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ มีโปรตีน 21 % ของน้ำหนักแห้ง มีแพลงก์ตอนหลายชนิด ได้แก่ *Vorticella* sp., *Paramecium* sp., *Euchlanis* sp., *Rotaria* sp., *Amoeba* sp., *Arcella* sp., *Scenedesmus* sp., *Euglypha* sp., rotifers, *Brachionus* sp., *Centropysis* sp., *Prorodon* sp., *Trichocerca* sp. และ *Bdelloidea* sp. ซึ่งเป็นอาหารที่ปลานิลสามารถกินได้ตลอดเวลา

คำสำคัญ: เทคโนโลยีไบโอฟลอค น้ำหมักชีวภาพ ปลานิล

คำนำ

ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำปัจจุบันจะมีการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง เพื่อให้ได้ผลผลิต ที่มากขึ้น ส่งผลให้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำปริมาณมาก เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่ เหมาะสม โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียในบ่อเลี้ยง ซึ่งมักจะเกิดของเสียจากการให้อาหารในปริมาณที่ มากเกินไป หรืออาจจะมาจากการขับถ่ายของตัวสัตว์น้ำ เอง หรือขับถ่ายออกมาทางเหงือกของสัตว์น้ำ (Wood, 1993) ซึ่งแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อาจ ทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอ หรือทำให้สัตว์น้ำตายได้ หากมี ความเข้มข้นสูง และของเสียจากกิจกรรมเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำยังสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หากมี การปล่อยน้ำนั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นจึงมี ความจำเป็นอย่างยิ่งที่การเลี้ยงสัตว์น้ำในอนาคตต้อง ปรับเปลี่ยนวิธีการเลี้ยงให้เป็นระบบปิด เพื่อประหยัด ต้นทุนในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ พร้อมทั้งทำให้สัตว์น้ำมี การเจริญเติบโตที่ดี มีผลผลิตสูง และระหว่างการเลี้ยง สามารถบำบัดไนโตรเจนภายในบ่อเลี้ยงได้ ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการศึกษาเทคนิคการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยเทคโนโลยี ไบโอฟลอค (biofloc technology) หรือระบบตะกอน จุลินทรีย์ ซึ่งเป็นการใช้จุลินทรีย์ในน้ำมาจับกับแอมโมเนีย

แล้วให้เปลี่ยนรูปเป็นโปรตีน (Wanakanapol, 2013) ร่วมกับการใช้น้ำหมักชีวภาพ ส่งผลให้เป็นประโยชน์ ต่อสัตว์น้ำแทน ดังนั้น เทคโนโลยีไบโอฟลอคและการใช้ น้ำหมักชีวภาพ มีข้อดีหลายประการ เช่น สัตว์น้ำสามารถ เจริญเติบโตได้ดี ลดการใช้น้ำและสารเคมี ประหยัด ต้นทุนค่าอาหาร ประหยัดต้นทุนค่าเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำดี (Wang et al., 2015) ช่วยลดปัญหา มลพิษจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนั้น เทคโนโลยีไบโอฟลอค และการใช้น้ำหมัก ชีวภาพ ยังเป็นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบยั่งยืน (Mugwanya et al., 2021) และเป็นระบบเกษตรอินทรีย์ ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งได้มีผู้วิจัยทดลอง การใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอคในการเลี้ยงปลานิล พบว่า ส่งผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตที่ดี มีอัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นเนื้อต่ำ อัตราการอดสูง และสามารถช่วยควบคุม ความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไตรท์ได้ (Azim and Little, 2008; Sittplangkoon et al., 2012)

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการทดลอง เลี้ยงปลานิล 4 ระบบ คือ การเลี้ยงปลานิลด้วย เทคโนโลยีไบโอฟลอคร่วมกับการใช้น้ำหมักชีวภาพ การเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอคเพียงอย่าง เดียว และการเลี้ยงปลานิลด้วยการใช้น้ำหมักชีวภาพ เพียงอย่างเดียว โดยมีกลุ่มควบคุม (negative control)

ที่มีการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบปกติซึ่งไม่มีการใช้น้ำหมักชีวภาพและเทคโนโลยีไบโอฟลอค เพื่อเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงที่ทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี อัตรารอดสูง และมีคุณภาพน้ำที่เหมาะสม และศึกษาสิ่งมีชีวิตในตะกอนจุลินทรีย์ และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของตะกอนจุลินทรีย์ รวมทั้งวิเคราะห์ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) โดยกำหนดเป็น 4 ชุดการทดลอง ตามรูปแบบในการเลี้ยง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ (replication) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลานิลแบบปกติ (ชุดควบคุม) (T_1)

ชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค (T_2)

ชุดการทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลานิลด้วยน้ำหมักชีวภาพ (T_3)

ชุดการทดลองที่ 4 การเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ (T_4)

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมตู้และน้ำในการทดลอง: ใช้ตู้กระจกขนาด $18 \times 30 \times 18$ นิ้ว จำนวน 12 ตู้

- ระบบการเลี้ยงปลานิลแบบปกติ (ชุดควบคุม: T_1) และระบบการเลี้ยงด้วยน้ำหมักชีวภาพ (T_3) เติมน้ำในตู้ทดลองโดยใช้หัวทราย 1 หัว และใช้ชุดกรองตะกอน 1 ชุด

- ระบบการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค (T_2) และระบบการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ (T_4) เติมน้ำในตู้ทดลองโดยใช้หัวทราย 1 หัว และใช้ air lift 2 ตัว เพื่อให้ น้ำเกิดการเคลื่อนไหวทำให้จุลินทรีย์เกิดการฟุ้งกระจายทั้งตู้ การเตรียมตะกอนจุลินทรีย์ โดยการเตรียมน้ำลงถัง PE

ขนาด 1000 มิลลิลิตร ใช้ air lift 4 ตัว ละลายสารอาหารคนให้เข้ากัน (อาหารปลา 200 กรัม กากน้ำตาล 100 มิลลิลิตร และน้ำหมักชีวภาพ 100 มิลลิลิตร) ตรวจสอบตะกอนจุลินทรีย์ทุกวันด้วย Imhoff cone เมื่อได้ระดับตะกอนจุลินทรีย์ที่ 40 มิลลิลิตรต่อลิตร จึงนำไปเติมลงในตู้ทดลอง

ใช้วาล์วปรับความแรงของอากาศในแต่ละตู้ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ด้านบนตู้ปิดด้วยตาข่ายกรองแสง เติมน้ำ 130 ลิตร

2.2 การเตรียมตัวอย่างปลา: รวบรวมปลานิลแปลงเพศมาจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เขต 12 (สงขลา) จำนวน 1,200 ตัว ขนาดประมาณ 0.5 กรัม นำมาพักไว้ 1 สัปดาห์ในถัง PE ขนาด 500 ลิตร และนำมาทำการทดลอง โดยใช้ปลานิลจำนวน 50 ตัวต่อตู้

2.3 การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ: เตรียมน้ำหมักชีวภาพ 200 มิลลิลิตร โดยใช้อาหารปลา 1 กรัม กากน้ำตาล 2 กรัม จุลินทรีย์ ปม 1.2 กรัม และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร หมักทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง และนำไปเติมในตู้ทดลอง T_3 และ T_4 ทุก ๆ 3 วัน ปริมาณ 4 มิลลิลิตรต่อตู้

2.4 กากน้ำตาล: เติมน้ำตาลลงในตู้ทดลอง T_2 และ T_4 ทุก ๆ 3 วัน ครั้งละ 1.3 มิลลิลิตรต่อตู้

2.5 การให้อาหารและการจัดการการเลี้ยง: ให้อาหารปลานิลวันละ 2 มื้อต่อวัน ให้อาหารแบบ *ad libitum* ในช่วงเช้าเวลา 8.00 น. และเย็นเวลา 16.00 น. โดยสัปดาห์แรกให้อาหารกบ (โปรตีนไม่น้อยกว่า 40 %) หลังจากนั้นให้อาหารปลาเม็ดเล็ก (โปรตีน 30 %) และหยุดให้อาหารในช่วงเช้าของวันที่ตรวจวัดการเจริญเติบโต ในชุดการทดลอง T_1 และ T_3 ทำความสะอาดถังเลี้ยงในในระบบกรองในช่วงเย็นของทุกวัน และเปลี่ยนถ่ายน้ำ 80 % สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

2.6 การตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของปลา: โดยการนำปลาทุกตัวมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทั้งหมด (total length) ในวันเริ่มต้นการทดลอง และทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 8 สัปดาห์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย ซึ่งสูตรการคำนวณมีดังต่อไปนี้

น้ำหนักเริ่มต้น เฉลี่ย (กรัม) (Initial weight)	=	$\frac{\text{น้ำหนักปลาวันแรกของการทดลอง}}{\text{จำนวนตัวปลา}}$
น้ำหนักสุดท้าย เฉลี่ย (กรัม) (Final weight)	=	$\frac{\text{น้ำหนักปลาวันสุดท้ายของการทดลอง}}{\text{จำนวนตัวปลา}}$
ความยาวเริ่มต้น เฉลี่ย (เซนติเมตร) (Initial length)	=	$\frac{\text{ความยาวปลาวันแรกของการทดลอง}}{\text{จำนวนตัวปลา}}$
ความยาวสุดท้าย เฉลี่ย (เซนติเมตร) (Initial length)	=	$\frac{\text{ความยาวปลาวันสุดท้ายของการทดลอง}}{\text{จำนวนตัวปลา}}$
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่ม ต่อวัน (กรัมต่อวัน) (Daily weight gain)	=	$\frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มเฉลี่ย}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$
อัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นเนื้อ (FCR) (Feed conversion ratio)	=	$\frac{\text{น้ำหนักของอาหารทั้งหมดที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลา}}$
อัตราการรอดตาย (%) (Survival rate)	=	$\frac{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}{\text{จำนวนปลาที่ปล่อย}} \times 100$

2.7 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ: ตรวจวัดคุณภาพน้ำพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน สารแขวนลอย แอมโมเนีย และไนไตรท์ทุก 2 สัปดาห์ (Coastal aquaculture department of fisheries, 2008) และตรวจสอบอุณหภูมิทุกวัน เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ pH meter, DO meter, EC meter และ Thermometer

2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี: โดย ประมาณของตะกอนจุลินทรีย์ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า (Association of Official Analytical Chemists, 1999)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ด้วยความแปรปรวน (analysis of variance) ในการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรม R (R-language and environment for statistical computing and graphics) version 2.14.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ผลการเจริญเติบโต อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดของปลานิล ในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ

จากการเลี้ยงปลานิลในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ผลการเจริญเติบโตทั้งด้านน้ำหนักเฉลี่ย ความยาวเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นต่อวัน อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายของปลานิล ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (Table 1) ซึ่งผลการเจริญเติบโตในชุดการทดลองที่ 2 และ 4 มีแนวโน้มสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ รวมทั้งอัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีแนวโน้มต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ในระบบไบโอฟิลต์มีสารอาหารจำพวกแพลงก์ตอน และสารอินทรีย์ที่มีความจำเป็นต่อตัวสัตว์น้ำ ทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี มีอัตราการรอดตายสูง และอัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ ซึ่งมีความสอดคล้องกับ Faizullah *et al.* (2015) พบว่าการเลี้ยงปลาทองเป็นเวลา 95 วัน ในระบบไบโอฟิลต์มีการเจริญเติบโตดีกว่าเลี้ยงในระบบปกติ (ไม่มีตะกอนจุลินทรีย์) ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 16.97 และ 11.10 กรัมตามลำดับ และ Comesat *et al.* (2018) กล่าวว่าอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟิลต์ขึ้นกับระดับของกากน้ำตาลที่เติมลงไปด้วย โดยทำการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟิลต์ ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0, 125 และ 250 กรัมต่อน้ำ 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ โดยเติมแหล่งคาร์บอนสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเลี้ยง

Table 1. Growth, feed conversion ratio and survival rate of Nile tilapia in different culture systems

Parameters	Treatment				P - value
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
Initial weight (g)	0.57 ± 0.12 ^a	0.56 ± 0.10 ^a	0.54 ± 0.11 ^a	0.56 ± 0.11 ^a	0.364
Final weight (g)	27.60 ± 9.15 ^a	28.87 ± 9.60 ^a	29.69 ± 9.72 ^a	32.22 ± 9.64 ^a	0.806
Initial length (cm)	2.90 ± 0.10	2.90 ± 0.10	2.90 ± 0.10	2.90 ± 0.10	-
Final length (cm)	10.76 ± 1.34 ^a	10.04 ± 1.29 ^a	10.46 ± 1.40 ^a	10.27 ± 1.43 ^a	0.376
Daily weight gain (g/day)	0.48 ± 0.07 ^a	0.51 ± 0.01 ^a	0.52 ± 0.11 ^a	0.57 ± 0.17 ^a	0.806
Feed conversion ratio	0.98 ± 0.08 ^a	0.86 ± 0.06 ^a	0.94 ± 0.09 ^a	0.86 ± 0.16 ^a	0.508
Survival rate (%)	97.33 ± 4.62 ^a	93.33 ± 9.87 ^a	90.67 ± 14.47 ^a	94.00 ± 6.00 ^a	0.861

Note: In each row, not different superscript letters indicate no significant difference ($P > 0.05$)

T1: cultured with normal system (control)

T2: cultured with biofloc system

T3: cultured with bio - extract and

T4: cultured with biofloc system with bio - extract

ปลานิลในระบบไบโอฟล็อกโดยการเติมกากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนที่ 125 กรัมต่อน้ำ 500 ลิตร ทำให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย ความยาวเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลมากที่สุด แต่ในการทดลองครั้งนี้ใช้กากน้ำตาลเพียง 5 กรัมต่อน้ำ 500 ลิตร เติมทุก 3 วัน จึงอาจทำให้ปลานิลเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับระบบการเลี้ยงแบบปกติ (ชุดควบคุม) ดังนั้น จึงควรคำนึงถึงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งระดับที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลอยู่ที่ 16 : 1 (Hmadhloo *et al.*, 2013) และการเลี้ยงปลานิลด้วยน้ำหมักชีวภาพ มีแนวโน้มอัตราการรอดต่ำที่สุด เนื่องจากการเติมจุลินทรีย์ ไม่ได้เติมแหล่งคาร์บอนลงไป จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญและบำบัดน้ำได้ดีเท่ากับระบบไบโอฟล็อก อีกทั้งต้องมีการเติมอากาศที่เพียงพอต่อการหายใจของจุลินทรีย์และสัตว์ทดลอง

2. ผลของคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลานิลในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ

ตลอดการเลี้ยงปลานิลในระบบต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิของน้ำ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่พบว่า ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สารแขวนลอย และค่าการนำไฟฟ้า ในชุด

การทดลองที่ 2 และ 4 มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ส่วนความเป็นกรด - ด่าง และแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 2 และ 4 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (Table 2) ซึ่งตลอดการทดลอง 8 สัปดาห์ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ค่าแอมโมเนียสูงขึ้นผันแปรตามระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากปลาที่มีขนาดโตขึ้น ทำให้มีของเสียเยอะขึ้น แต่ปริมาณแอมโมเนียยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของปลานิลค่อนข้างต่ำ (0.19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาดปลานิล 0.5 กรัม) ในขณะที่งานทดลองของ Azim and Little (2008) เลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟล็อกที่ระดับความหนาแน่น 12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาดปลานิล 80 - 120 กรัม ส่วนการเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อกสามารถบำบัดน้ำได้ โดยเห็นจากค่าแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 2 และ 4 (Figure 1) โดยจุลินทรีย์จะเป็นตัวที่คอยควบคุมคุณภาพน้ำภายในบ่อโดยอัตโนมัติ จึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ๆ แต่ข้อเสียของระบบนี้ คือ มักพบว่ามีกลิ่นและตะกอนมากกว่าปกติ การแก้ไขก็คือ ให้มีการสูบลมที่ก้นบ่อทั้งสัปดาห์ละครั้งหรือบ่อยกว่านั้นก็เป็นผลดีต่อสัตว์น้ำในระยะยาว (Wanapanapol, 2013) ซึ่งจากรายงาน

ของ Azim and Little (2008) แนะนำให้คงปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบไบโอฟลอคได้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม ของแข็งแขวนลอยต่อลิตร เนื่องจากปริมาณตะกอนที่มากเกินไปอุดตันเหงือกของสัตว์น้ำทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง และเนื่องจากในระบบไบโอฟลอคมีการเติมกากน้ำตาลลงไป ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอน

ทำให้เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ จึงทำให้น้ำเป็นกรด ดังนั้นควรมีการเติมวัสดุปูนลงไปเพื่อเพิ่มความเป็นด่าง ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลง โดยงานทดลองของ Faizullah *et al.* (2015) รายงานว่าการเลี้ยงปลาทองในระบบไบโอฟลอคทำให้ความเป็นกรด - ด่างลดลง จึงใช้ dolomite เพื่อเพิ่มความ

Table 2. Water quality parameters from raising Nile tilapia in different culture systems

Parameters	Treatment				P - value
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
Water temperature (°C)	28.00 ± 0.00	28.00 ± 0.00	28.00 ± 0.00	28.00 ± 0.00	-
pH	6.35 ± 0.19 ^a	5.26 ± 0.23 ^b	6.64 ± 0.19 ^a	5.04 ± 0.01 ^b	0
Dissolved oxygen (mg/l)	4.72 ± 0.30 ^{ab}	4.61 ± 0.12 ^{ab}	4.14 ± 0.36 ^b	5.16 ± 0.71 ^a	0.104
Total suspended solids (mg/l)	33.00 ± 14.74 ^b	577.00 ± 151.49 ^a	23.00 ± 17.04 ^b	603.00 ± 166.30 ^a	0
Electrical conductivity (µs/cm)	481.33 ± 32.88 ^b	1811.67 ± 126.27 ^a	499.00 ± 41.48 ^b	1776.67 ± 171.97 ^a	0
Total ammonium nitrogen (mg-N/l)	0.0046 ± 0.0025 ^a	0.0005 ± 0.0002 ^b	0.0052 ± 0.0026 ^a	0.0001 ± 0.0001 ^b	0.015
Nitrite (mg-N/l)	0.2176 ± 0.0596 ^a	0.3179 ± 0.0731 ^a	0.2156 ± 0.1399 ^a	0.2980 ± 0.0647 ^a	0.423
Total nitrogen (mg-N/l)	11.61 ± 0.72 ^{ab}	11.84 ± 0.61 ^{ab}	12.24 ± 0.81 ^a	10.46 ± 0.81 ^b	0.083
Total phosphate (mg-P/l)	0.3749 ± 0.0350 ^a	0.3267 ± 0.0249 ^a	0.3835 ± 0.0542 ^a	0.3947 ± 0.0583 ^a	0.339

Note: In each row, different superscript letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

T1: cultured with normal system (control)

T2: cultured with biofloc system

T3: cultured with bio - extract and

T4: cultured with biofloc system with bio - extract

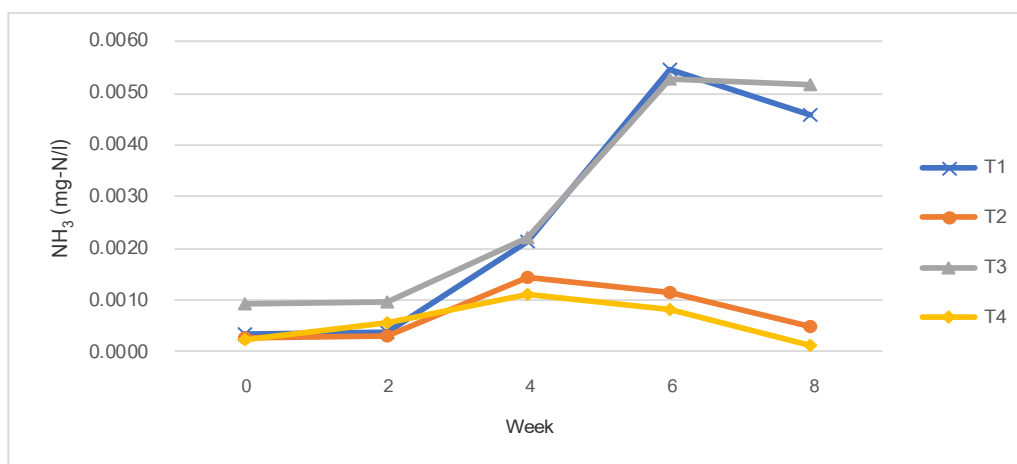


Figure 1. Changes of total ammonia nitrogen in 4 treatments (T1 - T4) Nile tilapia cultures for 8 weeks

T1: cultured with normal system (control)

T2: cultured with biofloc system

T3: cultured with bio - extract and

T4: cultured with biofloc system with bio - extract

3. ผลของการศึกษาสิ่งมีชีวิตในตะกอนจุลินทรีย์ และองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของตะกอนจุลินทรีย์

จากการทดลอง พบว่า ในระบบการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อกเมื่อเริ่มต้นการทดลองก่อนเลี้ยงปลานิล ในตะกอนจุลินทรีย์มีแพลงก์ตอนที่มีชีวิตอาศัยอยู่ ได้แก่ *Paramecium* sp., *Vorticella* sp., *Euchlanis* sp., *Rotaria* sp. *Amoeba* sp., *Prorodon* sp., *Trichocerca* sp. และ *Bdelloidea* sp. เมื่อสิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ 2 พบแพลงก์ตอนจำพวก *Planarian* sp., *Arcella* sp., *Vorticella* sp., *Rotaria* sp. และ *Scenedesmus* sp. และชุดการทดลองที่ 4 พบแพลงก์ตอนจำพวก rotifers, *Rotaria* sp., *Brachionus* sp., *Arcella* sp. *Euglypha* sp., *Centropysis* sp. และ

Bdelloidea sp. (Table 3) สอดคล้องกับ Promya (2015) ซึ่งพบแพลงก์ตอนชนิดต่าง ๆ ในการเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อกที่เชียงใหม่ โดยรายงานพบว่าพบ *Pediastrum* sp., *Scenedesmus* sp., *Desmodesmus* sp., *Dictyosphaerium* sp., หนอนแดง และโปรโตซัว และสอดคล้องกับ Azim and Little (2008) ที่รายงานการพบกลุ่มโปรโตซัว โรติเฟอร์ และกลุ่ม Oligochaeta ได้แก่ *Paramecium*, *Tetrahymena*, *Petalomonas*, *Lecane*, *Trichocerca*, *Polyarthra*, *Asplanchna* และ *Tubifex* ในการเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อก

จากการทดลองนำตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการเลี้ยงปลานิลระหว่างชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 4 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชุด

Table 3. Types of organisms in biofloc

Types of organisms	Before raising fish	8 weeks after raising fish	
		T ₂	T ₄
1. <i>Scenedesmus</i> sp.	-	+	-
2. <i>Paramecium</i> sp.	+++	-	-
3. <i>Euchlanis</i> sp.	+	-	-
4. <i>Rotaria</i> sp.	+	+	+
5. <i>Amoeba</i> sp.	+	-	-
6. <i>Arcella</i> sp.	-	+++	+++
7. <i>Vorticella</i> sp.	+++	+++	-
8. <i>Euglypha</i> sp.	-	+++	+++
9. Rotifers	-	-	+++
10. <i>Brachionus</i> sp.	-	-	++
11. <i>Centropysis</i> sp.	-	-	+
12. <i>Prorodon</i> sp.	+	-	-
13. <i>Trichocerca</i> sp.	+	-	-
14. <i>Bdelloidea</i> sp.	+	-	+

Note: - = not found (0 cell/ml)

++ = moderate found (11 - 30 cells/ml)

T2: cultured with biofloc system

+ = rarely found (≤ 10 cells/ml)

+++ = found a lot (> 30 cells/ml)

T4: cultured with biofloc system with bio - extract

การทดลอง มีปริมาณความชื้น ไขมัน เยื่อใย และ โปรตีน ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ปริมาณเถ้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เนื่องจากความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นมีความแตกต่างกัน และพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์มีปริมาณโปรตีนประมาณ 21 % โดยน้ำหนักแห้ง (Table 4) ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Wongphonprateep *et al.* (2017) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการใช้อาหารกุ้งเป็นแหล่งไนโตรเจน และใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่า มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย เท่ากับ 0, 13, 35, 0, และ 0 % ตามลำดับ และ Madyod *et al.* (2017) พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอค มีค่าปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย เท่ากับ 11.16, 13.42, 12.28, 11.88 และ 3.35 % ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าในการทดลองครั้งนี้ ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับแหล่งของไนโตรเจน แหล่งของคาร์บอน ชนิดสัตว์น้ำที่เลี้ยง และชนิดของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในตะกอนจุลินทรีย์

4. ผลของการศึกษาด้านทุนการเลี้ยงปลานิลในระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ ซึ่งคิดต้นทุนจากค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าอาหาร ค่ากักน้ำตาล ค่าน้ำหมักชีวภาพ ค่า air lift และค่าชุดกรองตะกอน ซึ่งเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีการเติมน้ำลงตู้กระจก 130 ลิตร ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในปริมาณ 104 ลิตรต่อตู้ (จำนวน 7 ครั้ง) และล้างกรองทุก ๆ วัน ใช้น้ำในการล้าง

กรอง วันละ 5 ลิตรต่อตู้ (จำนวน 55 วัน) ในชุดการทดลองที่ 2 และ 4 มีการเติมน้ำตาล 1.3 มิลลิลิตรต่อตู้ทุก ๆ 3 วัน และชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เติมน้ำหมักชีวภาพ 4 มิลลิลิตรต่อตู้ ทุก ๆ 3 วัน ซึ่งสามารถคิดต้นทุนดังแสดงใน Table 5 พบว่า การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค สามารถประหยัดต้นทุนได้ดีกว่าการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบอื่น ๆ ซึ่ง Nootong (2008) กล่าวว่า ระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคได้มีการทดลองใช้งานในต่างประเทศโดยมีการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคทำให้สามารถเปลี่ยนอาหารจากชนิดที่มีโปรตีน 30 % มาเป็น 20 % ซึ่งลดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าอาหารได้ประมาณ 7 - 8 บาทต่อกิโลกรัม Ogello *et al.* (2014) กล่าวว่า ระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอค มีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมันที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ สามารถช่วยลดค่าต้นทุนการผลิตด้านอาหารสัตว์น้ำได้ คิดเป็น 50 % จากค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ ที่การเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค ที่มีต้นทุนในการเลี้ยงต่ำกว่าการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบอื่น ๆ อีกทั้งในระบบไบโอฟลอคไม่ต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำให้ประหยัดต้นทุนค่าน้ำ ค่าแรงงานในการสูบน้ำได้ และช่วยลดปัญหามลพิษจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (Mugwanya *et al.*, 2021) ทั้งนี้มีต้นทุนในการเลี้ยงปลานิลค่อนข้างสูง เนื่องจากคิดค่าไฟจากกำลังไฟ 100 วัตต์ ของปั๊มลม ไม่ได้คิดจากการใช้งานจริง จึงทำให้ต้นทุนค่าไฟค่อนข้างสูง และเป็นการทดลองเบื้องต้นเพียง 8 สัปดาห์ หากเลี้ยงจนถึงจับขาย น้ำหนักผลผลิตและค่าน้ำจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำและล้างกรองจะมีค่าเยอะกว่านี้

Table 4. Proximate composition of biofloc (dry matter percentage)

Treatment	Moisture	Ash	Crude lipid	Crude fiber	Crude protein
T ₂	4.46 ± 0.30 ^a	16.22 ± 0.30 ^a	0.41 ± 0.02 ^a	23.07 ± 4.12 ^a	21.54 ± 0.50 ^a
T ₄	4.08 ± 0.06 ^a	13.76 ± 0.33 ^b	0.62 ± 0.30 ^a	24.50 ± 2.83 ^a	21.05 ± 0.95 ^a

Note: In each column, different superscript letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

T2: cultured with biofloc system

T4: cultured with biofloc system with bio - extract

Table 5. Cost of raising Nile tilapia in different culture systems per 1 glass tank for 8 weeks

Treat - ment	Water fee (Baht)			Electricity charge (Baht)	Filter set / air lift (Baht)	Fish food costs (Baht)	Molasses cost (Baht)	Bio - fermented water cost (Baht)	Total cost (Baht)	Incidence of Cost (Baht/Kg)
	Water fill in the first time	Water change	Clean the filter							
T ₁	2.6	14.56	5.5	32.47	37.85	49.22	-	-	142.20	106.32
T ₂	2.6	-	-	48.70	34.58	43.53	0.39	-	129.80	96.35
T ₃	2.6	14.56	5.5	32.47	37.85	46.70	-	1.16	140.84	106.70
T ₄	2.6	-	-	48.70	34.58	39.29	0.39	1.16	126.72	102.11

Note: Water fee, price 2 satang/liter (0.02 baht/liter)

Molasses, price 300 baht/20 liters

Frog food, price 180 baht/10 kg

T1: cultured with normal system (control)

T3: cultured with bio - extract and

Electricity charge, price 3.6237 bath/unit

Small catfish food, price 280 baht/10 kg

T2: cultured with biofloc system

T4: cultured with biofloc system with bio - extract

สรุป

จากการศึกษาการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่า การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบปกติ เลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อก เลี้ยงปลานิลด้วยน้ำหมักชีวภาพ และเลี้ยงปลานิลด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อกร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ ส่งผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตที่ดี มีอัตราการรอดสูง ไม่แตกต่างกัน แต่ในระบบไบโอฟล็อกมีตะกอนจุลินทรีย์ที่ปลานิลสามารถกินได้ตลอดเวลา ซึ่งในตะกอนจุลินทรีย์ประกอบไปด้วยสิ่งมีชีวิตหลายชนิดจำพวกแพลงก์ตอน โปรโตซัว เป็นต้น และตะกอนจุลินทรีย์มีโปรตีน 21 % ของน้ำหนักแห้ง ทำให้ประหยัดต้นทุนค่าอาหาร อีกทั้งตลอดการเลี้ยงไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ สามารถช่วยบำบัดแอมโมเนียได้ ทำให้ลดต้นทุนค่าน้ำ และช่วยรักษาสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย แต่มีค่า pH ต่ำ อาจต้องแก้ไขโดยการเติมปูน และควบคุมตะกอนแขวนลอยไม่ควรเกิน 500 มิลลิกรัมของแข็งแขวนลอยต่อลิตร ดังนั้นจึงควรเลี้ยงปลานิลในทรีมให้มีประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีไบโอฟล็อก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินบำรุงการศึกษา) คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 และขอขอบคุณ นางสาวพาริดา หมันลิ๊ะ นางสาวพิมพ์พิลัย แสงจันทร์ นางสาวนุรฮัฎฐา อาแว และ นางสาวรอฮานี มะริ๊ะ ที่ช่วยให้งานวิจัยในครั้งนี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Analytical Chemists. 1999. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- 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.

- Coastal Aquaculture Department of Fisheries. 2008. Methods for analyzing water quality for coastal aquaculture. (2nd printing). Agricultural Co-Operative Federation of Thailand Ltd. 233 p. (in Thai)
- Comesat, A., Y. Lobbumrung and T. Buabarn. 2018. Culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) with biofloc technology. B.S. Special problem. Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan. (in Thai)
- Faizullah, M., C.B.T. Rajagopalsamy, B. Ahilan and T. Francis. 2015. Impact of biofloc technology on the growth of goldfish young ones. Indian Journal of Science and Technology 8(13), doi: 10.17845/ijst/2015/v8i13/54060.
- Hmadhloo, S., S. Tanyaros and P. Phumee. 2013. Effect of C:N ratio in integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) using biofloc technology. Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal 5(1): 96-106. (in Thai)
- Madyod, S., S. Madyod, S. Wuthisuthimethavee, D. Chumthong, G. Jantasila, O. Nuanlaong, S. HnuChu and S. Bunrod. 2017. Application supplementation of immunostimulant in dried bio-flocs on survival rate of Nile tilapia infected with *Streptococcus agalactiae*, DMST 17129. pp. 18-26. In: Proceeding of the 9th Rajamangala University of Technology National Conference: Creative RMUT and Sustainable Innovation for Thailand 4.0. RMUT, Bangkok. (in Thai)
- Mugwanya, M., M.A.O. Dawood, F. Kimera and H. Sewilam. 2021. Biofloc systems for sustainable production of economically Important aquatic species: A review. Sustainability 13(13): 7255, doi: 10.3390/su13137255
- Nootong, K. 2008. Nitrogen treatment in closed-system aquaculture. King Mongkut's Agricultural Journal 16(1): 11-20. (in Thai)
- Ogello, E.O., S.M. Musa, C.M. Aura, J.O. Abwao and J.M. Munguti. 2014. An appraisal of the feasibility of tilapia production in ponds using biofloc technology: A review. International Journal of Aquatic Science 5(1): 21-39.
- Promya, J. 2015. Biofloc system and the prototype organic Nile tilapia production for community enterprises Chiang Mai province. Research report. Maejo University, Chiang Mai. (in Thai)
- Sittplangkoon, P., W. Pungrasmi and K. Noothong, 2012. Control of Inorganic Nitrogen Concentrations and Ammonium Removal Rates by Biological Sludge from Closed Aquaculture Cultivating System. pp. 317-323. In: Proceeding of the 9th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference: "Follow the King's Footsteps, Kasetsart Kamphaeng Saen", Bangkok. (in Thai)
- Wang, G., E. Yu, J. Xie, D. Yu, Z. Li, W. Luo, L. Qiu and Z. Zheng. 2015. Effect of C/N ratio on water quality in zero-water exchange tanks and the biofloc supplementation in feed on the growth performance of crucian carp, *Carassius auratus*. Aquaculture 443: 98-104.
- Wanakanapol, A. 2013. The investigation of carbon sources for produce biofloc in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and hybrid catfish (*Clarias gariepinus* x *Clarias macrocephalus*) culture. Research report,

- Maejo University, Chiang Mai. 18 p. (in Thai)
- Wongphonprateep, S., T. Nganwisuthiphan and K. Suntudkam. 2017. Application of biofloc in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. Prawarun Agricultural Journal 14(2): 231-237. (in Thai)
- Wood, C.M. 1993. Ammonia and urea metabolism and excretion. pp. 379-425. *In*: D.H. Evans (ed.). The Physiology of Fishes. CRC Press, Boca Raton.
-