

ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาดุกลูกผสม ที่เลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคในบ่อดิน

Correlation of Water Quality and Average Weight of Hybrid Catfish Cultured with Biofloc System in Earthen Ponds

สุภาวดี โกยดุลย์^{1*}, เจษฎา อิสหา¹, จันทร์สว่าง งามผ่องใส² และ รุ่งพทธี จงเจริญสุข³

Supavadee Koydon^{1*}, Jesada Is-haak¹, Chansawang Ngamphongsai² and Roongparit Jongjaraunsuk³

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย

² ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

อุทยานวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย

³ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย

¹ Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology, Suvarnabhumi, Ayuthaya, Thailand

² National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency,
Science Park, Thailand

³ Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Thailand

Received : 10 May 2024, Received in revised form : 10 July 2024, Accepted : 11 July 2024

Available online : 19 July 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ระบบการเลี้ยงปลาดุกของไทยได้พัฒนาสู่ระบบการเลี้ยงแบบหนาแน่น ซึ่งก่อให้เกิดของเสียปริมาณมากภายในบ่อ รวมทั้ง แอมโมเนีย และไนโตรที่ในบ่อเลี้ยงปลา และบีโอดีในน้ำที่มีค่าสูง หนึ่งในแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการใช้เทคโนโลยีไบโอฟลอค ซึ่งเป็นการใช้แบคทีเรียกลุ่มแฮโทรโทรฟิค (heterotrophic bacteria) ดึงแอมโมเนียมาสร้างโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ จึงเป็นการช่วยบำบัดคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคุณภาพน้ำกับน้ำหนักปลาเฉลี่ย และการเติมไบโอฟลอคของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในบ่อดิน เปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่เติมไบโอฟลอค

วิธีดำเนินการวิจัย : ทำการทดลองในบ่อดิน จำนวน 6 บ่อ บ่อมีขนาด 800 ตารางเมตร เติมระดับน้ำลึก 1.2 เมตร และมีปริมาตรน้ำ 960 ลูกบาศก์เมตร ปลาดุกลูกผสมที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.47 ± 0.8 กรัม และความยาวเฉลี่ย 7.17 ± 0.35 เซนติเมตร ถูกปล่อยที่ความหนาแน่น 25,000 ตัวต่อบ่อ เลี้ยงปลาด้วยเศษไก่สดบดละเอียดวันละ 1 มื้อ ระยะเวลาทดลอง 6 เดือน โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายของปลา ต้นทุนค่าอาหาร และค่าดัชนีคุณภาพน้ำ

ผลการวิจัย : ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมไบโอฟลอคส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (272.82 ± 3.04 กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (3.20 ± 0.01) และต้นทุนค่าอาหาร (19.26 ± 0.09 บาทต่อปลา 1 กิโลกรัม) มีประสิทธิภาพดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่มีการเติมไบโอฟลอค สามารถลด

ค่าอาหารปลาได้ 2.1 บาทต่อกิโลกรัม (9.86 เปอร์เซ็นต์) ในบ่อที่เติมไบโอฟล็อก ดัชนีคุณภาพน้ำที่มีความสัมพันธ์ระดับมากในเชิงบวกกับน้ำหนักรวมเฉลี่ยของปลา คือ ไนไตรท์ ($r = 0.893$) และไนเตรท ($r = 0.788$) แต่มีความสัมพันธ์ระดับมากในเชิงลบกับค่าความโปร่งใสของน้ำ ($r = -0.781$) ส่วนปริมาณของแข็งที่จมตัว ($r = 0.931$) มีความสัมพันธ์ระดับมากที่สุดในเชิงบวก นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงดัชนีคุณภาพน้ำตามระยะเวลาการเลี้ยงที่มีความสัมพันธ์กับการเติมไบโอฟล็อกในระดับมากในเชิงบวก คือ แอมโมเนีย ($r = 0.833$) ไนเตรท ($r = 0.898$) และบีโอดี ($r = 0.845$) และในระดับมากที่สุด คือ ไนไตรท์ ($r = 0.966$) และปริมาณของแข็งที่จมตัว (0.980) ในทางกลับกันค่าความโปร่งใสของน้ำ ($r = -0.911$) ความสัมพันธ์ในระดับมากที่สุด

ในเชิงลบ

สรุปผลการวิจัย : การเติมไบโอฟล็อกในบ่อเลี้ยงปลาดุกถูกผสมช่วยเพิ่มผลผลิตปลา ลดต้นทุนค่าอาหารและควบคุมระดับแอมโมเนียและบีโอดี ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่าง ดัชนีคุณภาพน้ำกับน้ำหนักรวมเฉลี่ยของปลา

คำสำคัญ : แอมโมเนีย ; ไบโอฟล็อก ; ความสัมพันธ์ ; ปลาดุกถูกผสม ; คุณภาพน้ำ

Abstract

Background and Objectives : Thailand's catfish farming system has evolved into an intensive farming system which produces substantial amounts of waste, including high levels of ammonia and nitrite in fish pond, and elevated BOD in effluent. One solution is the application of biofloc technology, which uses heterotrophic bacteria to assimilate ammonia and produce protein in microbial cells, thereby improving water quality to levels suitable for fish growth. This study aimed to determine the correlations between water quality, and average fish weight, and the addition of biofloc in hybrid catfish cultured in earthen ponds, compared to ponds without biofloc.

Methodology : The experiment was conducted in six earthen ponds, each measuring 800 m² with a water depth of 1.2 meters and a water volume of 960 m³. Hybrid catfish, with an average weight of 2.47±0.8 g and an average length of 7.17±0.35 cm, were stocked at a density of 25,000 fish per pond. The fish were fed finely ground fresh chicken by-product once a day. The trial period lasted for six months, during which data on fish growth, survival rate, feed cost and water quality were recorded.

Main Results : With the addition of biofloc, growth rate (final average fish weight = 272.82 ±3.04 g), FCR (3.20±0.01) and feed cost (19.26±0.09 Baht/ 1 kg fish) were statistically more efficient ($p < 0.05$) compared to the ponds without biofloc. Fish feed cost was reduced by 2.1 baht/kg (9.86%). In biofloc adding ponds, water quality parameters that had a high positive correlation with average fish weight included nitrite ($r = 0.893$) and nitrate ($r = 0.788$) but had a high negative correlation with transparency ($r = -0.781$); and a highly positive correlation with total settleable solids ($r = 0.931$). Additionally, water quality changes through rearing time which had a high positive correlation to biofloc adding were ammonia ($r = 0.833$), nitrate ($r = 0.898$) and BOD ($r = 0.845$); and a highly positive correlation with nitrite

($r = 0.966$) and total settleable solids ($r = 0.980$), in contrast, the transparency ($r = -0.911$) had a highly negative correlation.

Conclusions : Applying biofloc in hybrid catfish ponds increases fish yield, lowers the feed costs, and regulate ammonia and BOD levels, in accordance with the observed correlations between water quality and average fish weight.

Keywords : ammonia ; biofloc ; correlation ; hybrid catfish ; water quality

*Corresponding author. E-mail : supavadee.k@rmutsb.ac.th

บทนำ

เนื่องจากระบบการเลี้ยงปลาดุกของไทยได้ปรับเข้าสู่ระบบการเลี้ยงแบบหนาแน่น เป็นระบบที่มีการผลิตของเสียมาก รูปแบบการเลี้ยงส่วนใหญ่ใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปและอาหารสดเป็นอาหารหลักในการเลี้ยง ผลกระทบที่เกิดขึ้นตามมาจะก่อให้เกิดของเสียภายในบ่อปริมาณมาก โดยเฉพาะการใช้อาหารสด เกิดการสะสมของของเสียภายในบ่อเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจนในน้ำที่เลี้ยง (Avnimelech, 1999 ; Mo *et al.*, 2014) และบีโอดีในน้ำที่มีค่าสูง (Anyadike & Ugwuishiwu, 2013 ; Munguti *et al.*, 2020) และเมื่อปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก่อให้เกิดการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ของแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน ที่ดึงออกซิเจนในน้ำไปใช้อย่างรวดเร็ว และการเพิ่มของแพลงก์ตอนพืชเป็นปริมาณมาก เมื่อแบคทีเรียและแพลงก์ตอนเหล่านี้ตาย ออกซิเจนในน้ำลดลง แอมโมเนียมีค่าที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดมลภาวะในน้ำ (Ervik *et al.* 1997 ; Mo *et al.*, 2014 ; Munguti *et al.*, 2020) ทำให้น้ำในแหล่งน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์ ของแข็งที่ละลายน้ำ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนในน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อน้ำที่มีมลภาวะเหล่านี้มาใช้ในการเลี้ยงปลา ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา (Holmer & Kristensen, 1992 ; Piedrahita, 2003; Tom *et al.*, 2021)

หนึ่งในแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมคือ การใช้เทคโนโลยีไบโอฟล็อกในการบำบัดคุณภาพน้ำภายในบ่อ ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic bacteria) ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียที่มีในน้ำให้กลับมาเป็นโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ ช่วยลดแอมโมเนียในบ่อเลี้ยง และตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเป็นอาหารหรือแหล่งของโปรตีนให้กับสัตว์น้ำได้อีก (Jiménez-Ojeda *et al.*, 2018) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียกลุ่มไนโตรฟิกชันสูงถึง 10 เท่า มีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียได้มากกว่า (Browdy *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2019 ; Goswami *et al.*, 2023) ลดปริมาณของเสียในน้ำทั้งจากการเลี้ยงสัตว์น้ำลงสู่แหล่งน้ำ (Avnimelech, 2007)

จากการที่ศึกษาที่ผ่านมาได้มีการใช้เทคโนโลยีไบโอฟล็อกในการเลี้ยงปลาพบว่า สามารถลดปริมาณของเสียในบ่อ ลดแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้คุณภาพน้ำในบ่อมีค่าคงที่ ลดความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ลดความเครียด ลดอัตราการเกิดโรค ลดอัตราการตาย และเป็นแหล่งอาหารเสริม ลดอัตราการใช้อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลให้

ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น (Fauji *et al.*, 2018 ; Pratiwi *et al.*, 2020 ; Wijayanti *et al.*, 2021) และสามารถลดค่าอาหารลงได้ 10-20 เปอร์เซ็นต์ (Zaidy *et al.*, 2022) และเป็นระบบการผลิตสัตว์น้ำที่มีมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Fauji *et al.*, 2018)

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาดุกลูกผสมในบ่อที่ไม่เติมและมีการเติมไบโอฟล็อกในการเลี้ยงปลาดุกในบ่อดิน และความสัมพันธ์ของการไม่เติมและเติมไบโอฟล็อกต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีคุณภาพน้ำตามระยะเวลาการเลี้ยง และสามารถนำข้อมูลการใช้ในการจัดการการเลี้ยงปลาดุกให้มีผลผลิตปลาที่สูงขึ้น เนื่องจากไบโอฟล็อกลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำ และลดปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้ง ส่งผลให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

ปัจจัยที่ศึกษา

การทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง (treatment) คือ ชุดการทดลองที่ 1 ชุดทดลอง ไม่เติมไบโอฟล็อก และชุดการทดลองที่ 2 ชุดทดลอง เติมไบโอฟล็อก แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ (replication)

โดยการทดลองครั้งนี้เพื่อหาความสัมพันธ์ 2 รูปแบบ คือ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณภาพน้ำกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในบ่อที่ไม่เติมและเติมไบโอฟล็อก และ 2) ความสัมพันธ์ของการไม่เติมและเติมไบโอฟล็อกต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีคุณภาพน้ำตามระยะเวลาเลี้ยง

การเตรียมบ่อทดลอง

บ่อดินสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาด 800 ตารางเมตร จำนวน 6 บ่อ เติมน้ำลึก 1.2 เมตร ปริมาตรน้ำ 960 ลูกบาศก์เมตร เติมหากาศด้วยจานจ่ายอากาศ ($\varnothing$ 20 เซนติเมตร) จำนวน 5 จานต่อบ่อ

การเตรียมไบโอฟล็อก

การเพาะหัวเชื้อไบโอฟล็อกในบ่อที่มีน้ำปริมาตร 1,000 ลิตร โดยใช้กากน้ำตาล 2.0 ลิตร (2 มิลลิลิตร/น้ำ 1 ลิตร) และใส่รำละเอียด 2.0 กิโลกรัม (2 กรัม/น้ำ 1 ลิตร) นำหัวเชื้อไบโอฟล็อก 100 ลิตร เติมน้ำในบ่อซึ่งมีระบบให้อากาศด้วยจานจ่าย 1 จาน บ่มทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตเต็มที่ ก่อนนำไปเติมลงในบ่อทดลอง ต้นทุนการผลิตหัวเชื้อไบโอฟล็อก 1.32 บาท/ลิตร ตรวจสอบปริมาณไบโอฟล็อกในบ่อทดลอง โดยการวัดของแข็งที่จับตัว (total settleable solid) ด้วยกรวยอิมฮอฟ (Imhoff cone) ตามวิธีวิเคราะห์ของ Koydon (2018)

การเตรียมบ่อและการเตรียมน้ำ

การเตรียมบ่อ ดูดเลนพื้นก้นบ่อออก โรยปูนขาวอัตรา 20 กิโลกรัม/บ่อ ตากบ่อทิ้งไว้สามสัปดาห์ ดินตากแห้งก้นบ่อ และสูบน้ำจากคลองชลประทานเข้าบ่อ กรองด้วยถุงตาข่ายฟ้าที่มีขนาดตาจำนวน 20 ช่องตาต่อตารางนิ้ว ซ้อนถุงจำนวน 2 ชั้น เพื่อป้องกันศัตรูปลาเข้ามาในบ่อ เติมน้ำลึก 1.20 เมตร/บ่อ ส่วนชุดการทดลองเติมไบโอฟล็อก หลังจากเติมน้ำลงไปแล้วเติมหัวเชื้อไบโอฟล็อกเพิ่มลงในบ่อ จำนวน 2 ลูกบาศก์เมตร หลังจากใส่หัวเชื้อลงไป 3 วัน จึงเริ่มปล่อยปลาเพื่อทำการทดลอง

การเตรียมปลาทดลอง

ลูกปลาดุกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จากฟาร์มกฤษณะพันธุ์ปลา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา คัดลูกปลาดุกลูกผสมที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จำนวน 150,000 ตัว นำมาพักบนบ่อปูนในฟาร์มเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของลูกปลา และขนย้ายลงบ่อดินที่ทำการทดลองที่ ฟาร์มคลองเศรษฐีฟาร์ม อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยปล่อยลูกปลาดุกลูกผสมจำนวน 25,000 ตัวต่อบ่อ (อัตราความหนาแน่น 31.25 ตัว/ตารางเมตร) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะสุ่มลูกปลาเพียง 50 ตัวต่อบ่อเพื่อลดความบอบช้ำและลดความเครียดแก่ปลาในระหว่างการสุ่มจับปลา นำปลาที่สุ่มมาวัดความยาวด้วยเครื่องวัดความยาวเวอร์เนียรคาลิเปอร์แบบดิจิทัล (digital vernier caliper) และชั่งน้ำหนักลูกปลาด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำข้อมูลลูกปลาที่ชั่งวัดของทุกบ่อไปคำนวณพบว่า ลูกปลามีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 2.47 ± 0.08 กรัม และมีความยาวทั้งหมดเฉลี่ยเริ่มต้น 7.17 ± 0.35 เซนติเมตร ตามลำดับ

การทดลอง

ให้อาหารปลาทดลองวันละ 1 ครั้ง เวลา 9.00 นาฬิกา โดยให้ปลากินจนอิ่มในระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง อาหารที่ใช้ในการทดลอง คือ เศษไก่สด ซึ่งประกอบด้วยกระดูกโครงไก่ติดเนื้อกับขี้ไก่ อัตราส่วน 1 ต่อ 1 บดละเอียด เก็บตัวอย่างอาหารทุกเดือนมาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารตามวิธีของ AOAC (2000) พบว่ามีค่าโปรตีนเฉลี่ยของน้ำหนักรีด 15.03 $\pm$ 0.18 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 68.83 $\pm$ 1.03 เปอร์เซ็นต์ (โปรตีนของน้ำหนักรีด 43.24 $\pm$ 1.20 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 10.10 $\pm$ 0.16 เปอร์เซ็นต์) ตลอดจนการทดลองไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ถ้าปริมาตรน้ำลดลงจะเติมน้ำเพิ่มเข้าไปให้ได้ระดับ 1.20 เมตร ในชุดการทดลองที่เติมไบโอฟลอคจะเติมหัวเชื้อไบโอฟลอคสัปดาห์ละ 2 ครั้ง (ในวันจันทร์และพฤหัสบดี) มีปริมาตรรวม 1000 ลิตรต่อบ่อต่อสัปดาห์

ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละบ่อ เมื่อเริ่มทำการทดลองและทุก 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเวลา 8.30 นาฬิกา คุณภาพน้ำที่วัด ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ด้วยเครื่อง pH meter (pH Testr 30; Eutech) ปริมาตรของของแข็งที่จมตัวหรือปริมาตรของไบโอฟลอควัดด้วยกรวยอิมhoff (Imhoff cone) อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ด้วยเครื่อง oxygen meter (YSI model 550; YSI) ส่วน ความโปร่งใสของน้ำ ความเป็นด่าง แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรท และบีโอดี ใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม วิธีของ Koydon (2018) นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเก็บข้อมูลและการคำนวณข้อมูล

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต น้ำหนักและความยาวของปลาที่ใช้ในบ่อทดลอง เมื่อเริ่มต้น และหลังจากนั้นทุกๆ เดือนจนสิ้นสุดการทดลอง 6 เดือน โดยสุ่มตัวอย่างปลาบ่อละ 50 ตัว เพื่อชั่งน้ำหนักและวัดความยาว เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณดังสมการที่ 1-4 จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลการเติมไบโอฟลอคต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายของปลาดุกลูกผสมดังสมการที่ 5-6

$$\text{น้ำหนักเฉลี่ย (average weight; AW, กรัม)} = \frac{\text{ผลรวมของน้ำหนักปลาที่สุ่มมาซึ่งทั้งหมด}}{\text{จำนวนตัวปลาที่สุ่มมาซึ่งทั้งหมด}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{น้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ย (daily weight gain; DWg, กรัมต่อวัน)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) - น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม)}}{\text{ระยะเวลาทำการทดลอง (วัน)}} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (weight gain; Wg, กรัมต่อวัน)} \\ &= \text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) - น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม)} \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{อัตราการรอดตายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (survival rate; SR, เปอร์เซ็นต์)} \\ &= \frac{\text{จำนวนลูกปลาที่เหลือ(ตัว)} \times 100}{\text{จำนวนลูกปลาเมื่อเริ่มการทดลองทั้งหมด (ตัว)}} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}} \quad (5) \end{aligned}$$

ต้นทุนค่าอาหารต่อปลา 1 กิโลกรัม (feed cost, บาทต่อปลา 1 กิโลกรัม) ซึ่งราคาอาหารสดที่ใช้ในครั้งนี้มีราคา 6 บาทต่อกิโลกรัม

$$= \text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} \times \text{ราคาอาหารต่อ 1 กก.} \quad (6)$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และต้นทุนค่าอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงของปลาในระยะเวลา 6 เดือน ของ ทั้ง 2 ชุดการทดลอง มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี two independence sample t-test และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของ 1)ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณภาพน้ำกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในบ่อที่ไม่เติมและเติมไบโอฟิล्ट์ และ 2)ความสัมพันธ์ระหว่างการไม่เติมและเติมไบโอฟิล्ट์ต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีคุณภาพน้ำตามระยะเวลาเลี้ยง ตามวิธี Pearson product moment correlation coefficient

สถานที่และช่วงระยะเวลาทำการทดลอง

ฟาร์มเลี้ยงปลานิล ตำบลหนองไม้ซุง อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ระหว่างเดือน พฤษภาคม ถึง เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2566

ผลการวิจัย

เมื่อสิ้นสุดการทดลองการเจริญเติบโตของปลาดุกกลุ่มพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาในชุดการทดลองที่เติมไบโอฟล็อกมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองไม่เติมไบโอฟล็อกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยน้ำหนักเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 272.82 ± 3.04 กรัม ดัง Figure 1 และ 241.36 ± 7.50 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 270.36 ± 2.25 กรัม และ 238.88 ± 5.40 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวันมีค่าเท่ากับ 1.50 ± 0.01 กรัม/วัน และ 1.33 ± 0.28 กรัม/วัน ดัง Figure 1 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ตลอดการทดลองของชุดการทดลองเติมไบโอฟล็อกมีค่าต่ำกว่า และมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองไม่เติมไบโอฟล็อก ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 3.20 ± 0.01 และ 3.55 ± 0.04 และให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกับต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัมของชุดการทดลองเติมไบโอฟล็อกมีค่าต่ำกว่าเท่ากับ 19.26 ± 0.09 และ 21.30 ± 0.34 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และผลผลิตรวมของปลาของชุดการทดลองที่เติมไบโอฟล็อกมีค่ามากกว่าชุดที่ไม่เติมไบโอฟล็อก เท่ากับ 4942.00 ± 43.84 และ 4142.50 ± 31.82 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนอัตราการรอดตายของทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 68.27 ± 2.60 และ 72.41 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ดัง Table 1

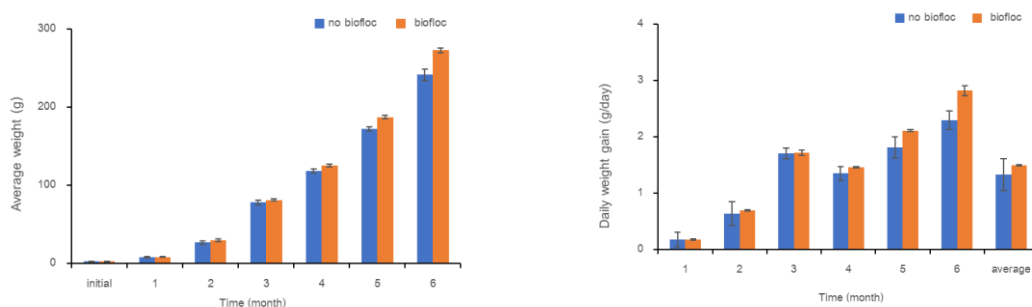


Figure 1 Average weight and daily weight gain of fish in with and without biofloc treatment

Table 1 Growth performance, survival rate, feed conversion ratio and feed cost of fish in with and without biofloc treatments (mean±sd).

	treatments	
	no biofloc	biofloc
initial weight (g)	2.48±0.04 ^a	2.46±0.12 ^a
final weight (g)	241.36±7.50 ^b	272.82±3.04 ^a
weight gain (g)	238.88±5.40 ^b	270.36±2.25 ^a
daily weight gain (g/day)	1.33±0.28 ^b	1.50±0.01 ^a
survival rate (percentage)	68.27±2.60 ^a	72.41±0.01 ^a
FCR	3.55±0.04 ^b	3.20±0.01 ^a
feed cost (baht/kg fish)	21.30±0.34 ^b	19.26±0.09 ^a
Yield (kg)	4142.50± 31.82 ^b	4942.00 ±43.84 ^a

Note : The superscript letters compare means within the same row. Values with the same superscripts are not significantly different ($p<0.05$).

ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ศึกษา (Figure 2) ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นด่าง ไนเตรท และบีโอดี ในแต่ละเดือน จนถึงตลอดระยะเวลาทำการทดลอง เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับค่าคุณภาพน้ำเกณฑ์มาตรฐานพบว่า มีค่าเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดการทดลองของชุดการทดลองไม่เติมไบโอฟลอค มีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร ตลอดการทดลอง ส่วนชุดการทดลองเติมไบโอฟลอคตั้งแต่เดือนที่ 2 เป็นต้นไป ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Figure 2) มีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ (≥ 5 มิลลิกรัม/ลิตร) ค่าแอมโมเนียในน้ำของชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟลอค ตั้งแต่เดือนที่ 2 เป็นต้นไปจะมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม (< 1 มิลลิกรัม/ลิตร) ขณะที่ชุดการทดลองที่เติมไบโอฟลอคจะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ตลอดการทดลอง ตั้งแต่เดือน 4 เป็นต้นไป ค่าไนโตรทของชุดการทดลองไม่เติมไบโอฟลอค มีค่ามากกว่าเกณฑ์และมีค่าเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ ส่วนชุดการทดลองที่เติมไบโอฟลอคพบว่า ค่าไนโตรทต่ำกว่าเกณฑ์ตลอดการทดลอง ค่าความโปร่งใสของน้ำของชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟลอคมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ตั้งแต่เดือนที่ 2 เป็นต้นไป ส่วนชุดการทดลองที่เติมไบโอฟลอค ค่าความโปร่งใสของน้ำของเดือนที่ 4-6 มีค่าต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม และค่าปริมาณของแข็งที่จมตัว (ไบโอฟลอค) ของชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟลอคมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม และค่าของชุดการทดลองที่เติมไบโอฟลอค ในช่วงเดือนเริ่มต้น-เดือนที่ 2 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ แต่เมื่อเข้าสู่ระยะการเลี้ยงของเดือนที่ 3 เป็นต้นไป พบว่ามีค่าปริมาณของแข็งที่จมตัว (ไบโอฟลอค) อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดัง Table 2 และ Figure 2

**Table 2** Water quality parameters (minimum-maximum) in hybrid catfish ponds, with and without biofloc treatments (mean $\pm$ sd).

parameters	treatments		optimal range	
	no biofloc	biofloc	reference1/ reference2/	
temperature ($^{\circ}\text{C}$)	31.50 $\pm$ 0.35-34.70 $\pm$ 0.45	32.10 $\pm$ 0.54-34.30 $\pm$ 0.04	28-35 $^{\circ}\text{C}$	25-32 $^{\circ}\text{C}$
pH	6.45 $\pm$ 0.12-7.13 $\pm$ 0.13	6.52 $\pm$ 0.11-7.20 $\pm$ 0.10	6.5-9.0	6.5-8.5
dissolved oxygen (mg/L)	2.60 $\pm$ 1.05-4.75 $\pm$ 0.12	4.28 $\pm$ 0.21-6.50 $\pm$ 0.13	> 5 mg/L	> 4 mg/L
alkalinity (mg/L)	73.40 $\pm$ 3.14-87.10 $\pm$ 4.24	78.10 $\pm$ 2.15- 81.70 $\pm$ 3.45	100-200 mg/L	50-200 mg/L
total ammonia nitrogen (TAN, mg/L)	0.12 $\pm$ 0.03-2.86 $\pm$ 0.05	0.14 $\pm$ 0.03-1.03 $\pm$ 0.12	< 1.0mg/L	
nitrite (mg/L)	0.80 $\pm$ 0.05-4.20 $\pm$ 0.05	0.76 $\pm$ 0.01-3.75 $\pm$ 0.31	< 0.1 mg/L	
nitrate (mg/L)	0.25 $\pm$ 0.04-4.12 $\pm$ 0.31	0.31 $\pm$ 0.12-5.63 $\pm$ 0.51	< 30 mg/L	
BOD (mg/L)	0.00 $\pm$ 0.00-8.70 $\pm$ 1.34	0.00 $\pm$ 0.00-9.30 $\pm$ 1.34	$\leq$ 20 mg/L	$\leq$ 20 mg/L
total settleable solids (ml/L as biofloc)	0.51 $\pm$ 0.00-4.10 $\pm$ 1.15	0.56 $\pm$ 0.13-26.47 $\pm$ 2.64	-	-
Transparency (cm)	18.50 $\pm$ 0.10-52.50 $\pm$ 1.15	25.40 $\pm$ 0.21- 54.30 $\pm$ 3.72		

Note : reference: 1/Koydon (2018), 2/National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards ([ACFS], 2016)

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำกับน้ำหนักรวมของปลาในชุดการทดลองไม่เติมไบโอฟล็อกพบว่า ดัชนีคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากกับน้ำหนักรวมของปลา ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ($r = 0.799^*$) แอมโมเนียรวมในน้ำ ($r = 0.928^{**}$) และค่าบีโอดี ($r = 0.892^{**}$, ระดับมาก) มีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับมากกับค่าความเป็นด่างของน้ำ ($r = -0.780^*$) ส่วนค่าปริมาณไนโตรเจน ($r = 0.949^{**}$) และค่าปริมาณของแข็งที่จมตัว ($r = 0.976^{**}$) มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักรวมของปลาเชิงบวกในระดับมากที่สุด ดัง Table 3

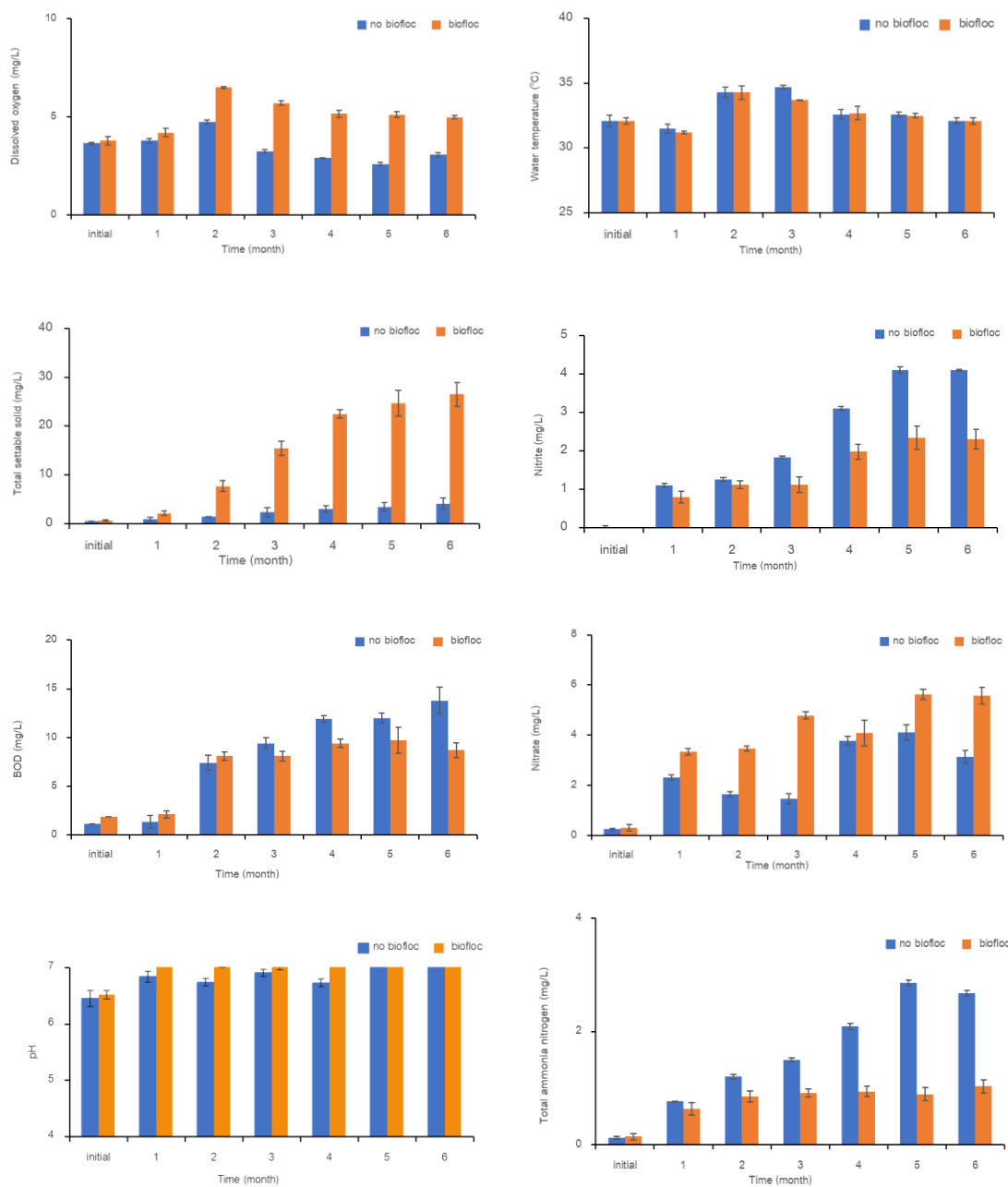


Figure 2 Water quality parameters (mean $\pm$ sd) in hybrid catfish pond, with and without biofloc treatments.

การศึกษาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในชุดการทดลองเดิมไบโอฟล็อก พบว่า ดัชนีคุณภาพน้ำที่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในชุดการทดลองนี้ มีอยู่ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากกับปริมาณไนโตรเจน (r=0.893**) และปริมาณไนเตรท (r=0.788*) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากที่สุดกับปริมาณของแข็งที่จมตัว (r=0.931**) ส่วนค่าความโปร่งใสของน้ำ (r = -0.781*) มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาเชิงลบในระดับมาก ดังTable 3 การศึกษาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างการไม่เติมและการเติมไบโอฟล็อกต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีคุณภาพน้ำตามระยะเวลาการเลี้ยงของชุดการทดลองไม่เติมไบโอฟล็อกพบว่า ดัชนีคุณภาพน้ำ 8 พารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเลี้ยง ได้แก่ มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากกับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (r = 0.838*) และปริมาณไนเตรท (r = 0.804*) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากที่สุดกับค่าปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ (r = 0.980**) ปริมาณไนโตรเจน (r = 0.980**) ค่าบีโอดี (r = 0.958**) และค่าปริมาณของแข็งที่จมตัว (r=0.994**) ส่วนค่าความเป็นด่างของน้ำ (r = -0.802*) และค่าความโปร่งใสของน้ำ (r = -0.857*) มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเลี้ยงเชิงลบในระดับมาก ดังTable 4 การศึกษาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างการเติมไบโอฟล็อกต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีคุณภาพน้ำตามระยะเวลาการเลี้ยงของชุดการทดลองเติมไบโอฟล็อกพบว่า ดัชนีคุณภาพน้ำ 6 พารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากกับระยะเวลาการเลี้ยง ได้แก่ ค่าปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ (r = 0.833*) ปริมาณไนเตรท (r = 0.898**) และค่าบีโอดี (r = 0.845*) มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากที่สุดกับปริมาณไนโตรเจน (r = 0.966**) และค่าปริมาณของแข็งที่จมตัว (r=0.980**) ส่วนค่าความโปร่งใสของน้ำ (r = -0.911**) มีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับมากที่สุดกับระยะเวลาการเลี้ยง ดังTable 4

Table 3 Correlation coefficient of water quality parameters and average weight of fish

parameter	correlation coefficient	
	no biofloc	biofloc
pH	0.799*	-
alkalinity (mg/L)	-0.780*	-
total ammonia nitrogen (TAN, mg/L)	0.982**	-
nitrite (mg/L)	0.949**	0.893**
nitrate (mg/L)	-	0.788*
BOD (mg/L)	0.892**	-
total settleable solids (ml/Las biofloc)	0.976**	0.931**
Transparency (cm)	-	-0.781*

Table 4 Correlation coefficient of water quality parameters and cultured time

parameter	correlation coefficient	
	no biofloc	biofloc
pH	0.838*	-
alkalinity (mg/L)	-0.802*	-
total ammonia nitrogen (TAN, mg/L)	0.980**	0.833*
nitrite (mg/L)	0.980**	0.966**
nitrate (mg/L)	0.804*	0.898**
BOD (mg/L)	0.958**	0.845*
total settleable solids (ml/Las biofloc)	0.994**	0.980**
Transparency (cm)	-0.857*	-0.911**

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดลองเลี้ยงปลาตู้ลูกผสมในบ่อดินของชุดการทดลองไม่เติมและชุดการทดลองเติมไบโอฟล็อกเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ชุดการทดลองเติมไบโอฟล็อก มีอัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน และผลผลิตรวมสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟล็อก ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัมที่ต่ำกว่าชุดการทดลองไม่เติมไบโอฟล็อก ผลจากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเติมไบโอฟล็อกสามารถลดต้นทุนค่าอาหารลงประมาณ 2.1 บาท หรือประมาณ 9.86 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Zaidy *et al.* (2022) พบว่าสามารถลดค่าอาหารลงได้ 10-20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไบโอฟล็อกที่เป็นแหล่งอาหารเสริมสำหรับปลา (Kuhn *et al.*, 2009 ; Emerenciano *et al.*, 2013 ; Fauji *et al.*, 2018 ; Sompong *et al.*, 2018 ; Liu *et al.*, 2019) การศึกษาการใช้ไบโอฟล็อกในการเลี้ยงปลานิลพบว่า ค่าอาหารปลาลดลง 7-8 บาท/กิโลกรัม (Nootong; 2008) และในการศึกษาของ Ochieng Ogello *et al.* (2014) พบว่าการใช้ไบโอฟล็อก สามารถลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์น้ำได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนในกระบวนการผลิตทั้งหมด

ดัชนีคุณภาพน้ำของทั้งสองชุดการทดลองด้าน อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นด่าง และไนเตรท พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Koydon, 2018; Koydon *et al.*, 2019) และสำหรับค่าบีโอดีที่ตรวจวัดได้ทั้งสองชุดการทดลองในการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร ; Koydon, 2019) แต่อย่างไรก็ตามค่าบีโอดีของชุดการทดลองที่ใช้ไบโอฟล็อกมีแนวโน้มต่ำกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟล็อกเสมอ

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการเติมไบโอฟล็อกลงในบ่อเลี้ยงปลาตู้ลูกผสมในบ่อดินพบว่า เมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในชุดการทดลองที่เติมไบโอฟล็อกมีแนวโน้มที่สูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติม

ไบโอฟล็อก และเมื่อพิจารณาดัชนีด้านแอมโมเนียในน้ำ และไนโตรเจนในชุดการทดลองที่เติมฟล็อกสามารถลดแอมโมเนียและไนโตรเจน ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Nie *et al.*, 2017; Koydon, 2018) ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟล็อก เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกในไบโอฟล็อกและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำแอมโมเนียนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Browdy *et al.*, 2001; Ebeling *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2019; Goswami *et al.*, 2023) และแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) นำไปใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียและไนโตรเจนที่มีพิษสูง เป็นไนเตรทที่มีพิษต่ำลง (Ebeling *et al.*, 2006; Koydon, 2014) ส่งผลให้ค่าแอมโมเนียลดลง

ในขณะเดียวกันค่าความโปร่งใสของน้ำในชุดการทดลองที่เติมไบโอฟล็อกมีแนวโน้มที่สูงกว่าชุดที่ไม่ใช้ไบโอฟล็อก แสดงให้เห็นว่าไบโอฟล็อกสามารถควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนได้ดีกว่า เนื่องจากไบโอฟล็อกสามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำ ซึ่งเป็นสารอาหารที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Ebeling *et al.*, 2006) ส่งผลให้ค่าความโปร่งใสของน้ำมีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟล็อก (Farooqi & Qureshi, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาของ Nie *et al.* (2017) ที่รายงานการใช้ไบโอฟล็อกเพิ่มความโปร่งใสของน้ำและปรับให้ชนิดของแพลงก์ตอนที่เกิดขึ้นในบ่อเป็นกลุ่มที่ดี ลดปริมาณของแบคทีเรียไซยาโนแบคทีเรีย ส่วนค่าปริมาณของแข็งที่จมตัวเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของไบโอฟล็อกในน้ำ พบว่า ค่าของชุดการทดลองที่เติมไบโอฟล็อกมีค่าที่สูงกว่าและอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าการเติมหัวเชื้อไบโอฟล็อกลงไป ในบ่อดิน เป็นการกระตุ้นให้เกิดไบโอฟล็อกในบ่อได้ดีกว่าชุดที่ไม่เติมหัวเชื้อไบโอฟล็อก

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำด้านค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรท ค่าความโปร่งใสของน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและ ค่าความเป็นด่าง กับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาและระยะเวลาในการเลี้ยงของชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟล็อก พบว่า ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั้ง 6 ดัชนีมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับมากที่สุดกับค่าแอมโมเนียมีค่า $r = 0.982^{**}$ และ 0.980^{**} (ระดับมากที่สุด) ค่าไนโตรเจน มีค่า $r = 0.949^{**}$ และ 0.980^{**} (ระดับมากที่สุด) และค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่า $r = 0.799^{*}$ และ 0.838^{*} (ระดับมาก) ส่วนค่าความโปร่งใส ค่า $r = -0.781^{*}$ และ -0.857^{*} (ระดับมาก) และค่าความเป็นด่างของน้ำ มีค่า $r = -0.780^{*}$ และ -0.802^{*} (ระดับมาก) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาและระยะเวลาในการเลี้ยง และค่าไนเตรทของชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟล็อก มีความสัมพันธ์กับเชิงลบกับระยะเวลาในการเลี้ยง มีค่า $r = 0.804^{*}$ (ระดับมาก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเลี้ยงยาวนานขึ้น ปลาน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น การให้อาหารสดเพื่อเลี้ยงปลามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดการสะสมของของเสีย เช่น แอมโมเนียและไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และของเสียเหล่านี้เป็นอาหารที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตทำให้เกิดแพลงก์ตอนพืชจำนวนมากขึ้นในบ่อ ส่งผลให้ค่าความโปร่งใสของน้ำมีค่าลดลง จนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม (30-60 เซนติเมตร) ปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่มากเกินไป ในช่วงที่มีแสงจะดึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการสังเคราะห์แสง ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำเพิ่มสูงขึ้น (Boyd, 2015) และเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำหมด แพลงก์ตอนพืชเหล่านี้จะดึงออกซิเจนของความเป็นด่างของน้ำ เช่น คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต มาใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์สำรองในการสังเคราะห์แสง จึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำลดลง

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำด้านค่าแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ค่าความโปร่งใสของน้ำ ปริมาณของแข็งที่จมตัว กับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาและระยะเวลาในการเลี้ยงของชุดการทดลองที่เติมไบโอฟล็อก พบว่า ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั้ง 5 ดัชนีมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ โดยค่าแอมโมเนียมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักเฉลี่ย ค่า $r = 0.833^*$ (ระดับมาก) ค่าไนโตรท์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักเฉลี่ยและระยะเวลาในการเลี้ยง มีค่า $r = 0.893^{**}$ (ระดับมาก) และ $r = 0.966^{**}$ (ระดับมากที่สุด) ไนเตรท มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักเฉลี่ยและระยะเวลาการเลี้ยง ค่า $r = 0.788^*$ และ $r = 0.898^{**}$ (ระดับมาก) และ ปริมาณของแข็งที่จมตัว มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักเฉลี่ยและระยะเวลาการเลี้ยง ค่า $r = 0.931^{**}$ และ 0.980^{**} (ระดับมากที่สุด) ส่วนค่าความโปร่งใส มีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักเฉลี่ยและระยะเวลาการเลี้ยง มีค่า $r = -0.781^*$ (ระดับมาก) และ -0.911^{**} (ระดับมากที่สุด) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเลี้ยงยาวนานขึ้น ปลามีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น การให้อาหารสดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการสะสมของของเสีย เช่น แอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรท ที่เพิ่มมากขึ้น แต่พบว่าปริมาณแอมโมเนียของชุดการทดลองนี้มีปริมาณที่น้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมไบโอฟล็อก เนื่องจากแบคทีเรียในไบโอฟล็อกจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และแบคทีเรียกลุ่มไนโตรฟายอิงจะเปลี่ยนแอมโมเนียไปอยู่ในรูปของไนโตรท์และไนเตรทเพิ่มสูงขึ้น และไนเตรทซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำที่ต่ำกว่าแอมโมเนียและไนโตรท์ (น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร; Koydon, 2014;) ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียรวมที่มีในน้ำมีค่าลดลง อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาตลอดการทดลอง (น้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร ; Faizullah *et al.*, 2015 ; Green & McEntire, 2017 ; Sun *et al.*, 2020 ; Suwanpakdee *et al.*, 2022) รวมทั้งแพลงก์ตอนพืชในน้ำนำแอมโมเนียไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้แอมโมเนียในน้ำมีค่าลดลง (Ebeling *et al.*, 2006) และค่าปริมาณของแข็งที่จมตัว (ปริมาณไบโอฟล็อก) มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความโปร่งใสของน้ำมีค่าต่ำลง (Nie *et al.*, 2017)และอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ (30-60 เซนติเมตร) จากข้อมูลคุณภาพน้ำแสดงให้เห็นได้ว่า การเติมไบโอฟล็อกจะส่งผลให้ระบบบัพเฟอร์ในน้ำมีความเสถียรมากกว่า (Furtado *et al.*, 2014) จะเห็นได้จากค่าความเป็นด่างและค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยจนไม่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของปลาตามระยะเวลาที่เลี้ยง

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพน้ำด้านค่าบีโอดี กับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาและการไม่เติมไบโอฟล็อก และด้านค่าบีโอดี กับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาและระยะเวลาการเลี้ยง พบว่า ค่าบีโอดีมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักเฉลี่ยมีค่า $r = 0.892^{**}$ (ระดับมาก) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะเวลาการเลี้ยง 0.958^{**} (ระดับมากที่สุด) และค่าบีโอดีมีความสัมพันธ์ของการเติมไบโอฟล็อกกับระยะเวลาในการเลี้ยงในเชิงบวก ค่า $r = 0.845^*$ (ระดับมาก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำหนักปลามีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าบีโอดีจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเลี้ยงปลาที่หนาแน่น ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและมีการให้อาหารสดในการเลี้ยง ซึ่งในอาหารสดมีความชื้นสูงถึง 68.83 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นย่อมมีการสูญเสียลงในน้ำสูง ส่งผลให้ของเสียสะสมในน้ำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง และของเสียเหล่านี้แสดงในรูปของข้อมูลบีโอดีที่เป็นการวัดความต้องการออกซิเจนที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายของเสียที่มีในน้ำ แต่อย่างไรก็ตามในบ่อที่เติมไบโอฟล็อก แบคทีเรียในไบโอฟล็อกทำให้แอมโมเนียในน้ำลดลง ส่งผลให้ค่าบีโอดีที่สะสมในน้ำต่ำกว่าชุดไม่เติมไบโอฟล็อก แสดงให้เห็นว่า น้ำในบ่อที่เติมไบโอฟล็อก แบคทีเรียในน้ำมีความต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยของเสียน้อยกว่า เป็นการบ่งบอกให้รู้ว่ามีของเสียที่มีในน้ำมี

ปริมาณน้อยกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Deswati *et al.* (2023) ที่ใช้เทคโนโลยีไบโอฟล็อกในการเลี้ยงปลาตู้ก้าน และ Ghimire *et al.* (2023) ในการเลี้ยงปลาคาร์พ

จากการศึกษาในครั้งนี้ บ่อที่เติมไบโอฟล็อกมีแนวโน้มปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลง อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำมีค่าสูงสุด 1.03 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในการทดลองครั้งนี้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำไม่ได้ลดลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Is-haak *et al.*, (2024) ที่ทดลองใช้ไบโอฟล็อกในการเลี้ยงปลาดุกผสมในบ่อผ้าใบในโรงเรือน พบว่าปริมาณแอมโมเนียในน้ำตลอดการทดลองลดลงมากกว่าการศึกษานี้ โดยมีค่าแอมโมเนียรวมตลอดการทดลองมีค่าสูงสุดเพียง 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจาก ในการศึกษานี้ปริมาณการเติมไบโอฟล็อกมีสัดส่วนที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับมวลน้ำภายในบ่อ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของไบโอฟล็อกในการลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำ ควรจะเพิ่มปริมาณไบโอฟล็อกหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการเติมไบโอฟล็อกให้มากขึ้นเช่น ทุกๆ 2 วัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เกิดขึ้นจากการใช้อาหารสด ให้ต่ำกว่าระดับที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (น้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร; Koydon, 2018)

สรุปผลการวิจัย

การเติมไบโอฟล็อกลงในบ่อเลี้ยงปลาดุกผสมในบ่อดิน ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตปลา 1 กิโลกรัมของปลาดุกผสม มีประสิทธิภาพดีกว่าบ่อที่ไม่มีการเติมไบโอฟล็อก การเติมไบโอฟล็อกสามารถลดค่าอาหารปลาได้ 2.1 บาท/กิโลกรัม (9.86 เปอร์เซ็นต์) และไบโอฟล็อกมีประสิทธิภาพลดแอมโมเนียและปัสสาวะ สอดคล้องกับข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงดัชนีคุณภาพน้ำกับน้ำหนักเฉลี่ย

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

เอกสารอ้างอิง

Anyadike, C. C., & Ugwuishiwu, B. O. (2013). Investigation of water quality in waste fed (poultry droppings) catfish production. *Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 3(10), 48-52.

AOAC. (2000). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 17th ed.

Association of Official Analytical Chemists & Association of Official Agricultural Chemists. USA: Association of Official Analytical Chemists.



- Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(3-4), 227-235.
- Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264(1-4), 140-147.
- Boyd, C. E. (2015). *pH, carbon dioxide, and alkalinity. Water Quality: An Introduction*. (pp.153-178). New York: Springer Cham.
- Browdy, C. L., Bratvold, D., Stokes, A. D., & McIntosh, R. P. (2001). Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001* (pp. 20-34). The World Aquaculture Society Baton Rouge, USA.
- Deswati, D., Zein, R., Suparno, S., & Pardi, H. (2023). Modified biofloc technology and its effects on water quality and growth of catfish. *Separation Science and Technology*, 58(5), 944-960.
- Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1-4), 346-358.
- Emerenciano, M., Gaxiola, G., & Cuzon, G. (2013). Biofloc technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass now-cultivation and utilization*, 12, 301-328.
- Ervik, A., Hansen, P. K., Aure, J., Stigebrandt, A., Johannessen, P., & Jahnsen, T. (1997). Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming I. The concept of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring). *Aquaculture*, 158(1-2), 85-94.
- Faizullah, M., Rajagopalsamy, C. B. T., Ahilan, B., & Francis, T. (2015). Impact of biofloc technology on the growth of goldfish young ones. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(12), 1-8.
- Farooqi, F. S., & Qureshi, W. U. H. (2018). Biofloc technology in aquaculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 1905-1909.



- Fauji, H., Budiardi, T. & Ekasari, J., (2018). Growth performance and robustness of African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) in biofloc-based nursery production with different stocking densities. *Aquaculture Research*, 49(3), 1339-1346.
- Furtado, P. S., Gaona, C. A., Poersch, L. H., & Wasielesky, W. (2014). Application of different doses of calcium hydroxide in the farming shrimp *Litopenaeus vannamei* with the biofloc technology (BFT). *Aquaculture international*, 22, 1009-1023.
- Ghimire, R. R., Ghimire, A., Karki, D., Basyal, D., & Rai, K. B. (2023). Determination of ammonia level and its protein conversion in the water of biofloc fish farming technology. *Prithvi Academic Journal*, 10.
- Green, B. W., & McEntire, M. E. (2017). Comparative water quality and channel catfish production in earthen ponds and a biofloc technology production system. *Journal of applied aquaculture*, 29(1), 1-15.
- Goswami, M., Trudeau, V. L., & Lakra, W. S. (2023). Biotechnology in modern aquaculture: Innovations, advancements, and challenges. In *Frontiers in Aquaculture Biotechnology* (pp. 1-13). Academic Press.
- Holmer, M., & Kristensen, E. (1992). Impact of marine fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 80(2), 191-201.
- Is-haak, J., Kijabandhit, T., Koydon, S., Ngamphongsai, C., Prasertkulsak, S., & Sinpho, P. (2024). Efficiency of biofloc application on growth, survival rate and water quality change in intensive hybrid catfish culture in indoor pond. *RMUTSB Academic Journal*, 12(1), 66–79.
- Jiménez-Ojeda, Y. K., Collazos-Lasso, L. F., & Arias-Castellanos, J. A. (2018). Dynamics and use of nitrogen in Biofloc Technology-BFT. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 11(4), 1107-1129.
- Koydon, S. (2014). Nitrogen elimination in zero waste aquaculture system. *RMUTSB Academic Journal*, 2(1), 66-80. (in Thai)
- Koydon, S. (2018). *Water quality analysis for aquaculture*. Pra Nakorn Si Ayutthaya, Huntra: Fisheries Science section, Faculty of Agricultural and Argo-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)



- Koydon, S. (2019). *Analysis of effluent water quality of aquaculture ponds (based on the Royal Ordinance on Fisheries B.E. 2558 (2015) and related laws)*. Pra Nakorn Si Ayutthaya, Huntra: Fisheries Science section, Faculty of Agricultural and Argo-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)
- Koydon, S., Charoenpol, A., Is-haak, J. ,& Sreejariya, P. (2019). Effect of different stocking densities on lionhead goldfish (*Carasius auratus*) nuresy. *RMUTSB Academic Journal*, 7(2),156-165. (in Thai)
- Kuhn, D. D., Boardman, G. D., Lawrence, A. L., Marsh, L., & Flick Jr, G. J. (2009). Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquaculture*, 296 (1-2), 51-57.
- Liu, H., Li, H., Wei, H., Zhu, X., Han, D., Jin, J., & Xie, S. (2019). Biofloc formation improves water quality and fish yield in a freshwater pond aquaculture system. *Aquaculture*, 506, 256-269.
- Mo, W. Y., Cheng, Z., Choi, W. M., Man, Y. B., Liu, Y., & Wong, M. H. (2014). Application of food waste based diets in polyculture of low trophic level fish: Effects on fish growth, water quality and plankton density. *Marine pollution bulletin*, 85(2), 803-809.
- Munguti, J. M., Kirimi, J. G., Obiero, K. O., Ogello, E. O., Kyule, D. N., Liti, D. M., & Musalia, L. M. (2020). Aqua-feed wastes: Impact on natural systems and practical mitigations—A review. *Journal of Agricultural Science*, 13(1), 111.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS). (2016). *Good aquaculture practices for freshwater animal farm. Thai Agricultural Standard TAS 7417 (G)-2016*. Bangkok: National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (in Thai)
- Nie, W., Lui, W., Liu, L. H., Yu, D. H., Liu, J., & Zhou, Z. (2017). Effects of biofloc on plankton abundance in the water. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 1386, 11 p.
- Nootong, K. (2008). Nitrogen treatment in closed system aquaculture. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 16(1), 11-20. (in Thai)



- Ochieng Ogello, E., Musa, S. M., Mulanda Aura, C., Abwao, J. O., & Mbonge Munguti, J. (2014). An appraisal of the feasibility of tilapia production in ponds using biofloc technology: A review. *Int. J. of Aquatic Science*, 5(1), 21-39.
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), 35-44.
- Pratiwi, R., Hidayat, K. W., & Sumitro. (2020). Production performance of catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell, 1822) cultured with added probiotic *Bacillus* sp. on biofloc technology.
- Sompong, U., Inkam, M., Promya, J., & Whangchai, N. (2018). Effect of biofloc technology (BFT) on red tilapia larvae aquaculture. *Khon Kaen AGR. J.*, 46 (5), 833-842. (in Thai)
- Sun, J., Li, N., Yang, P., Zhang, Y., Yuan, Y., Lu, X., & Zhang, H. (2020). Simultaneous antibiotic degradation, nitrogen removal and power generation in a microalgae-bacteria powered biofuel cell designed for aquaculture wastewater treatment and energy recovery. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(18), 10871-10881.
- Suwanpakdee, S., Sriyasak, P., Chumnanka, N., & Pimolrat, P. (2022). Result of using biofloc on growth and water quality control in *Lates calcarifer* culture in freshwater. *Burapha Science Journal*, 26(1), 413-424. (in Thai)
- Tom, A. P., Jayakumar, J. S., Biju, M., Somarajan, J., & Ibrahim, M. A. (2021). Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review. *Energy Nexus*, 4, 100022.
- Wijayanti, M., Amin, M., Tanbiyaskur, Jubaedah, D., Jaya, K., Ziyad, M. A., & Marsi. (2021). Aquaponic biofloc technology by swamp bacteria probiotic for *Clarias* catfish rearing. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 10(3), 258-270.
- Zaidy, A. B., Eliyani, Y., & Ruchimat, T. (2022). Effects of feed reduction on growth performance, water quality, and hematology status of African catfish, *Clarias gariepinus* reared in biofloc pond system. *Indonesian Aquaculture Journal*, 17(1), 37-43.