PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

# ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอค

**จุฑามาศ ทะแกล้วพันธุ์* อัจฉรีย์ ภุมวรรณ บัญญัติ ศิริธนาวงศ์ และ ชลิดา ข้างแก้ว**

*สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย 76000*

**ข้อมูลบทความ**

Article history
รับ: 28 ตุลาคม 2566
แก้ไข: 17 มีนาคม 2567
ตอบรับการตีพิมพ์: 19 มิถุนายน 2567
ตีพิมพ์ออนไลน์: 23 กรกฎาคม 2567

**คำสำคัญ**
*น้ำหมักชีวภาพ*
*ปลานิล*
*ไบโอฟลอค*
*คุณภาพน้ำ*
*การเจริญเติบโต*

**บทคัดย่อ**

**งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพในสูตรต่างกันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลซึ่งเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบปกติ (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลระบบ ไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็ม ชุดการทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ สูตรจุลินทรีย์บาซิลลัส และชุดการทดลองที่ 4 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง เริ่มต้นเลี้ยงปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 7.68±0.48 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 6.52±0.40 กรัม ในตู้กระจกขนาด 24x12x15 นิ้ว (ปริมาตรน้ำ 54 ลิตร) อัตราความหนาแน่น 45 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารสำเร็จรูปวันละ 2 มื้อ ตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็มมีการเจริญเติบโตดีที่สุด อัตราการรอดตายสูง (100 %) อัตราการแลกเนื้อต่ำ (0.83) เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็มก่อให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ได้มาก เมื่อนำไปวิเคราะห์พบว่ามีโปรตีน 23.43 % ของน้ำหนักแห้ง โดยทุกชุดการทดลองมีคุณภาพน้ำที่ใกล้เคียงกัน อุณหภูมิน้ำ 28-30 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.7-8.3 ค่าอัลคาไลนิตี้ 68-119 มิลลิกรัม/ลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ไนไตรท์ 0-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียรวม 0-0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 4-5 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งคุณภาพน้ำของทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบแพลงก์ตอนสัตว์หลายชนิดในบ่อบำบัดน้ำทิ้งจากระบบ ได้แก่ ไรแดง (*Moina macrocopa*) และโรติเฟอร์ (*Brachionus* sp.) ซึ่งเป็นอาหารเสริมสำหรับปลานิลอีกด้วย ส่วนการเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็มสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดีทำให้เปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยทำให้ประหยัดต้นทุนการเลี้ยง**

## บทนำ

ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่าฟลอค เป็นระบบที่อาศัยการเปลี่ยนตะกอนของเสียอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบจำพวกไนโตรเจนเป็นหลักให้เกิดการเกาะตัวกันโดยอาศัยการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตลงไปเพื่อให้เป็นแหล่งคาร์บอน การควบคุมสมดุลไบโอฟลอคในระบบจึงต้องควบคุมสัดส่วน C/N Ratio ให้สมดุลกัน (Hmadhloo et al., 2013; Jitmanowan, 2020) เพื่อกระตุ้นให้ตะกอนจุลินทรีย์เหล่านั้นสามารถเปลี่ยนกลับเป็นอาหารสำหรับปลาได้โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ใหม่ให้มากขึ้น รวมถึงช่วยลดปริมาณของเสียในระบบให้ลดลงได้อีกด้วย จึงถือได้ว่าจุลินทรีย์ ไบโอฟลอคได้เปลี่ยนของเสียให้เป็นอาหารสำหรับปลาและควบคุมปริมาณของเสียแอมโมเนียให้อยู่รูปที่ไม่เป็นพิษในระบบ ปัจจุบันมีการแนะนำให้ใช้จุลินทรีย์หลายชนิดเพื่อสร้างไบโอฟลอคที่มีประสิทธิภาพรวมทั้งการเลือกแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม ระบบไบโอฟลอคช่วยแก้ปัญหามลพิษทางน้ำและปรับปรุงคุณภาพของทรัพยากรน้ำได้ นอกเหนือจากการรีไซเคิลสารอาหารที่พบในน้ำโดยเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิก ซึ่งอยู่ภายในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำภายในฟาร์ม (Castro-Nieto et al., 2012) ซึ่งสามารถเสริมการทำงานของระบบได้โดยเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เชิงพานิชย์ได้ร่วมกับการเสริมอาหารจากคาร์โบไฮเดรตลงไปในห่วงโซ่อาหาร (Azim & Little, 2008) การเสริมจุลินทรียที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganism หรือ EM) ซึ่งจุลินทรียเหลานี้ได้จากอากาศและติดมากับเศษสิ่งมีชีวิตที่นำมาทำน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ แบคทีเรียที่สังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria) แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ (Nitrogen-fixing bacteria) แอกทิโนมัยซิส (Actinomycetes) ยีสตราชนิดตาง ๆ และกลุมจุลินทรียสร่าง กรด เชน แบคทีเรียผลิตกรดแลกติก (Lactic acid bacteria) (Phonpisuttimas, 2012) ลักษณะของตะกอนไบโอฟลอคที่เกิดขึ้นจะเป็นสารประกอบที่เกิดจากจากอินทรียวัตถุ 60 ถึง 70 % ซึ่งมีส่วนผสมที่ต่างกันของจุลินทรีย์ (เชื้อรา สาหร่าย โปรโตซัว และโรติเฟอร์) และสารอนินทรีย์ประมาณ 30-40 % เช่น คอลลอยด์ โพลีเมอร์อินทรีย์ และเซลล์ที่ตายแล้วของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งตะกอนอาจมีขนาดใหญ่ได้ถึง 1,000 นาโนเมตร มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เต็มไปด้วยรูพรุนและของเหลวไหลผ่านได้ (Chu & Lee, 2004)

*Corresponding author
E-mail address: runchoo@gmail.com (C. Thaklaewphan)
Online print: 23 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2024.32

การสร้างตะกอนฟลอคทำให้ผลผลิตสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นได้โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่การเลี้ยง ในอนาคตระบบนี้จะมีความจำเป็นมากขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมสัตว์น้ำที่เติบโตมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรโลก อีกทั้งข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้ระบบไบโอฟลอคคือการลดต้นทุนการผลิตลง ซึ่งไม่เพียงเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตเท่านั้น แต่ยังเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคอีกด้วยในแง่ที่สามารถเข้าถึงแหล่งโปรตีนจากสัตว์น้ำได้มากขึ้น

สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมในระบบเลี้ยงต้องมีความสามารถที่จะทนทานอยู่ได้ในสภาพการเลี้ยงที่มีความหนาแน่นของประชากรสิ่งมีชีวิตในระบบหนาแน่นมากและจะต้องมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นได้ รวมถึงสามารถอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในระบบได้ ซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพภายในระบบเลี้ยง ทั้งนี้หากไม่ได้เสริมหัวเชื้อจุลินทรีย์เข้าไป ก็จะขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่พบในแหล่งน้ำในธรรมชาตินั้น บางส่วนจุลินทรีย์เหล่านั้นอาจ ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมทางชีวภาพ บางส่วนอาจทำหน้าที่เป็นสารควบคุมทางชีวภาพเพื่อต่อต้านเชื้อโรคผ่านการดำรงชีพแบบแข่งขันในระบบนิเวศ เนื่องจากความสามารถของโปรไบโอติกที่แตกต่างกัน (Ray et al., 2010a; Ray et al., 2010b) อย่างไรก็ตาม เพื่อให้บรรลุถึงการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิกในการเลี้ยงระบบไบโอฟลอค สิ่งจำเป็นที่จะต้องรักษาสมดุลเพื่อปรับความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ในแหล่งน้ำและต้องใช้คาร์บอนประมาณ 20 ยูนิตเพื่อดูดซับไนโตรเจน 1 หน่วย ซึ่งได้จากการเพิ่มอาหารที่มีโปรตีนต่ำลงไปเพื่อให้ได้สารคาร์โบไฮเดรต เช่น กากน้ำตาล ในปริมาณที่เพียงพอ (Emerenciano et al, 2011; Avnimelech, 2014) เมื่อเสริมคาร์โบไฮเดรตในอัตราที่เพียงพอ แบคทีเรียก็จะเจริญเติบโตได้ดีภายในระบบการเลี้ยง โดยเริ่มใช้สารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นพิษต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น คาร์บอนอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนโตรเจนไนเตรท ไนไตรท์ และฟอสเฟตเป็นแหล่งพลังงาน ด้วยการออกซิไดซ์ของสาหร่าย เชื้อรา และแบคทีเรียอื่น ๆ และจากการกรองของสิ่งมีชีวิตในมวลน้ำสามารถใช้สารเหล่านั้นเป็นอาหารได้ (Avnimelech, 2014) บทบาทการดูดกลืนไนโตรเจนเข้าสู่กระบวนการไนตริฟิเค-ชั่นเป็นกลไกการควบคุมระดับไนโตรเจนอนินทรีย์ในไบโอฟลอคของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีความสำคัญสำหรับการควบคุมไนโตรเจนอนินทรีย์ในระยะต่าง ๆ ของการทดลอง ในระยะแรกก่อนการเกิดขึ้นของกระบวนการไนตริฟิเคชั่นที่สมบูรณ์ การเติมสารคาร์บอนอินทรีย์จะช่วยให้การเปลี่ยนไนโตรเจนให้กลายเป็นก้อนจุลินทรีย์เกิดขึ้นต่อมาในระยะไนตริฟิเคชั่นอัตราการเกิดขึ้นของก้อนจุลินทรีย์ก็จะเกิดขึ้นในระดับที่น้อยลงตามลำดับ กระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ก็มีหน้าที่ในการควบคุมไนโตรเจนที่มีประสิทธิผลบนพื้นฐานของผลลัพธ์ที่แตกต่างกันจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุความสัมพันธ์ทางนิเวศวิทยาระหว่างแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิกกับปัจจัยต่าง ๆ ในระบบไบโอฟลอคต่อไป เบื้องต้นในแนวทางการปฏิบัติที่เติมสารคาร์บอนอินทรีย์ลงไปเสริมจนกระทั่งเกิดไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์หรือใช้เป็นกลยุทธ์ในการลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์อย่างรวดเร็วที่ได้ผลภายในฟาร์มทั่วไป ในด้านการใช้ระบบไบโอฟลอคในฟาร์มอัจฉริยะ Nootong (2011) ระบุว่าจำเป็นต้องมีเครื่องแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิผลหรือต้องมีการควบคุมปริมาณสารแขวนลอยในน้ำไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอคให้เกิดขึ้นได้ตลอดการเลี้ยง ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่จะช่วยรักษาสมดุลตะกอนฟลอคในระบบมีหลายกลุ่ม ในแง่ของการส่งเสริมความยั่งยืนให้เกิดขึ้นในการใช้ระบบไบโอฟลอคในการเลี้ยงสัตว์น้ำจึงจำเป็นจะต้องค้นหากลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งควรเป็นชนิดพันธุ์ในท้องถิ่นและสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการที่เกษตรกรสามารถดำเนินการได้ โดยคณะผู้วิจัยได้สำรวจปัญหาการวิจัยจากเกษตรกรที่เลี้ยงปลานิลและปลาสลิดแบบผสมผสานในพื้นที่ตำบลหนองปลาไหล ตำบลบางครก อำเภอเขาย้อย และตำบลบ้านแหลม ตำบลบางขุนไทร อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งได้รับการส่งเสริมการเลี้ยงปลาในระบบไบโอฟลอคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต แต่เกษตรกรขาดองค์ความรู้ในการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับระบบเลี้ยงที่ได้รับการส่งเสริมเทคโนโลยีไบโอฟลอค ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะหาสูตรน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมซึ่งได้จากกรรมวิธีการเตรียมและขยายหัวเชื้อจากการส่งเสริมและโครงการบริการวิชาการของศูนย์การเรียนรู้ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี (Klinngam & Thaklaewphan, 2022) สำหรับการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคแบบกึ่งพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางการใช้น้ำหมักชีวภาพเลี้ยงปลานิลให้มีประสิทธิภาพต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

*การวางแผนการทดลอง*

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design, CRD) ในการเลี้ยงปลานิล ชุดการทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมเลี้ยงปลานิลระบบปกติ ให้อาหารเม็ดอย่างเดียว

ชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคโดยใช้น้ำหมักชีวภาพอีเอ็ม

ชุดการทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคโดยใช้น้ำหมักชีวภาพหัวเชื้อบาซิลลัส

ชุดการทดลองที่ 4 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

*วิธีการดำเนินการวิจัย*

1. การเตรียมตัวอย่างพันธุ์ปลานิลพันธุ์ซุปเปอร์แบลค (Super black®) จากฟาร์มเพาะพันธุ์ปลาเอกชน หลังจากซื้อลูกพันธุ์ปลานิลมาแล้วนำเลี้ยงพักในถังเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ลูกปลาได้มีการปรับสภาพ และคัดขนาดลูกพันธุ์ปลานิลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีความยาวเฉลี่ย 6.52±0.40 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 7.68±0.48 กรัม มาสุ่มนับปลาทดลองใส่ตู้กระจก และเลี้ยงในตู้กระจกอีก 1 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพลูกพันธุ์ปลานิลให้เหมาะสมกับคุณภาพน้ำก่อนการทดลอง โดยใส่ลูกพันธุ์ปลานิลในอัตราความหนาแน่น 8 ตัวต่อตู้ (45 ตัวต่อตารางเมตร) ใช้ตู้กระจกขนาด 24x12x15 นิ้ว

การเตรียมน้ำ โดยสูบน้ำมาพักไว้และใส่ปูนขาวเพื่อปรับสภาพน้ำให้มีความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม จากนั้นนำไปผ่านถุงกรองผ้าอวนตาถี่เพื่อเติมน้ำลงไปให้ได้ระดับความลึกประมาณ 12 เซนติเมตร

เพื่อให้มีน้ำเลี้ยง 54 ลิตร และรักษาระดับน้ำให้คงที่ตลอดการเลี้ยง ส่วนการเตรียมระบบการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค เติมอากาศในตู้ทดลอง โดยใช้หัวทราย 2 หัวต่อตู้ เพื่อหมุนเวียนน้ำในตู้ทดลองของชุดการทดลองที่ 2 ถึง 4 เป็นระบบการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยี ไบโอฟลอค ร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ (Figure 1)

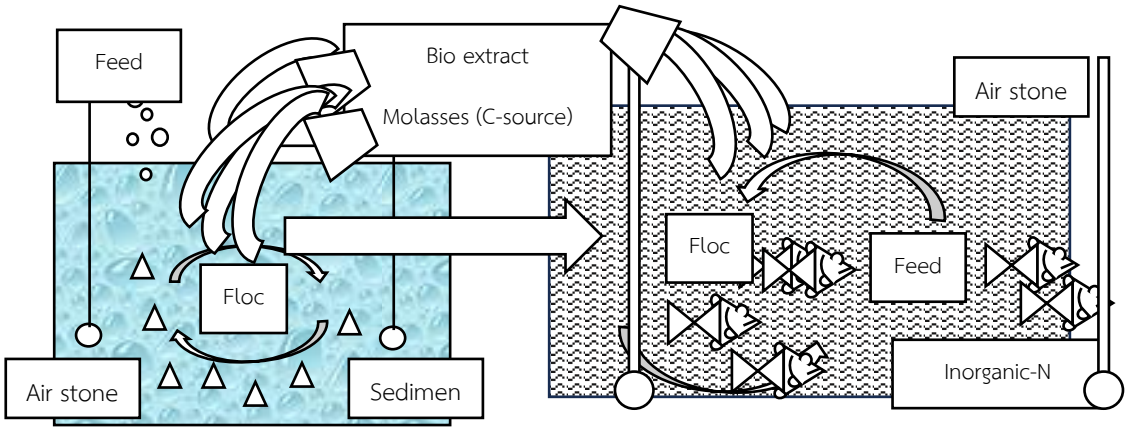



**Figure 1** A schematic of the process of biofloc system in Nile tilapia rearing tank.

2. การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

2.1 น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1 น้ำหมักอีเอ็มใช้ในชุดการทดลองที่ 2 ทำหัวเชื้อหมักเตรียมขึ้นเองจากส่วนประกอบ จากหัวเชื้อดินกอไผ่ ผลไม้สุก (กล้วยน้ำว้าและมะละกอ) 1 กิโลกรัม หมักจนได้น้ำหัวเชื้อสีน้ำตาล มีกลิ่นหอม เป็นเวลาประมาณ 2 เดือน จากนั้นนำมาขยายในอาหารเลี้ยง ได้แก่ หัวเชื้อ 10 ลิตร กากน้ำตาล 10 ลิตร รำละเอียด 5 กิโลกรัม ไส้ปลา หัวปลา 5 กิโลกรัม เติมน้ำเปล่าให้ครบ 150 ลิตร ปิดฝาภาชนะถังหมักไว้หลวม ๆ หมั่นคนเพื่อระบายแก๊ส หมักไว้ในที่ร่ม 1 เดือนขึ้นไป (Klinngam & Thaklaewphan, 2022)

2.2 น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2 ใช้ในชุดการทดลองที่ 3 นำหัวเชื้อบาซิลลัสเชิงพานิชย์ (ปม.1) หมักกับน้ำมะพร้าว 30 ลิตร หัวเชื้อ 20 กรัม เติมน้ำเปล่าให้ครบ 150 ลิตร ปิดฝาภาชนะถังหมักไว้หลวม ๆ หมั่นคนเพื่อระบายแก๊ส หมักไว้ในถังมีฝาปิดในที่ร่ม 1 เดือน (Klinngam & Thaklaewphan, 2022)

2.3 น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3 ใช้ในชุดการทดลองที่ 4 หัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงจากกรมวิชาการเกษตร (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรี) มาขยาย โดยเตรียมอาหารขยายเชื้อขึ้นจากส่วนประกอบได้แก่ ไข่ไก่ 2 ฟอง น้ำเปล่า 20 ลิตร ผงชูรส 1 ช้อนชา ใส่ขวดพลาสสติกใส วางไว้กลางแดดจนเชื้อเจริญเต็มขวดสังเกตว่ามีสีแดงอมชมพูทั่วทั้งขวด นำมาขยายลงในถัง ไข่ไก่ 4 ฟอง น้ำเปล่า 150 ลิตร ผงชูรส 1 ช้อนโต๊ะ ผสมกันลงในถังมีฝาปิดสีขาววางไว้ในที่มีแสง เป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์

3. การเตรียมตะกอนจุลินทรีย์เพื่อสร้างระบบไบโอฟลอคในชุดการทดลองที่ 2-4 ทำโดยเตรียมน้ำลงถัง PE ขนาด 100 ลิตร ละลายสารอาหารที่เตรียมจากอาหารปลาเชิงพานิชย์ 200 กรัม กากน้ำตาล 100 มิลลิลิตร และน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้ไม้คนให้เข้ากัน ส่วนชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมใช้อาหารปลาเชิงพานิชย์หมักกับกากน้ำตาล ไม่มีการเติมน้ำหมักชีวภาพ จากนั้นตรวจสอบตะกอนจุลินทรีย์ทุกวันเมื่อได้ระดับตะกอนจุลินทรีย์ที่ 40 มิลลิลิตรต่อลิตร จึงนำไปเติมลงในตู้ทดลองในอัตราส่วนตะกอน 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร และเติมลงไปทุก ๆ ครั้งที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ ใช้วาล์วปรับความแรงของอากาศในแต่ละตู้ ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ด้านบนตู้ปิดด้วยตาข่ายกรองแสง แหล่งคาร์บอนของระบบไบโอฟลอคในงานทดลองนี้จะใช้กากน้ำตาล โดยจะเติมกากน้ำตาลลงตู้ทดลอง 4 มิลลิลิตร และเติมน้ำหมักชีวภาพในชุดการทดลองที่ 2 ถึง 4 ในอัตราเฉลี่ย 0.53 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร (ประมาณ 28 มิลลิลิตรต่อตู้) ทุกสัปดาห์

4. การให้อาหาร จะให้อาหารปลานิลวันละ 2 มื้อต่อวัน ให้อาหารปลากินจนอิ่ม ในช่วงเช้าเวลา 8.00 น. และเย็นเวลา 16.00 น. โดยสัปดาห์แรกให้อาหารเชิงพานิชย์และหยุดให้อาหารในช่วงเช้าของวันที่ตรวจวัดการเจริญเติบโต ในทุกชุดการทดลองทำความสะอาดล้างตู้ช่วงเย็นของทุกวันและเปลี่ยนถ่ายน้ำ 80 % สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

5. สุ่มตัวอย่างน้ำที่มีอาหารและตะกอนจุลินทรีย์ไบโอฟลอคไปกรองเอาแต่ตะกอนเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ โปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl nitrogen method ด้วยเครื่องย่อย และเครื่องกลั่น ไขมันด้วยวิธี Ether extraction แบบ Soxhlet ความชื้นด้วยวิธี Drying method เถ้าด้วยวิธี Muffle furnace combustion เยื่อใยด้วยวิธี Classical method (AOAC, 1995) ส่วน Nitrogen free extract (NFE) (1) สามารถคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ NFE} = 100 - (\% \text{ โปรตีน} + \% \text{ ไขมัน} + \% \text{ เถ้า} + \% \text{ เยื่อใย} + \% \text{ ความชื้น}) \quad (1)$$

พลังงานที่ย่อยได้ที่ทำการคำนวณโดยสมการ (NRC, 1983) (2) ดังต่อไปนี้

$$\text{พลังงานที่ย่อยได้} = \frac{(\% \text{ โปรตีน} \times 4) + (\% \text{ ไขมัน} \times 8.5)}{(\% \text{ คาร์โบไฮเดรต} \times 2.5)} \quad (2)$$

6. การตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโต โดยนำปลานิลมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทั้งหมด (Total length) ในวันเริ่มต้นการทดลองและทุก ๆ สัปดาห์จนครบ 6 สัปดาห์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (3) น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (4) ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (5) ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (6) น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน (7) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (8) และอัตราการรอดตาย (9) ซึ่งสูตรการคำนวณมีดังต่อไปนี้

น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม) (Initial weight) = น้ำหนักวันแรกของการทดลอง/จำนวนตัว (3)
น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม) (Final weight) = น้ำหนักวันสุดท้ายของการทดลอง/จำนวนตัว (4)
ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร) (Initial length) = ความยาววันแรกของการทดลอง/จำนวนตัว (5)
ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (เซนติเมตร) (Final length) = ความยาววันสุดท้ายของการทดลอง/จำนวนตัว (6)
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน (กรัมต่อวัน) (Daily weight gain) = น้ำหนักที่เพิ่มเฉลี่ย/จำนวนวันที่เลี้ยง (7)
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR) = น้ำหนักของอาหารทั้งหมดที่ปลากิน/น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (8)
อัตราการรอดตาย (%) (Survival rate) = จำนวนวันที่เลี้ยง/จำนวนปลาที่ปล่อย × 100 (9)

7. ตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และใช้มิเตอร์วัดปริมาณตะกอนของแข็งแขวนลอย คุณภาพน้ำที่ใช้ชุดทดสอบ (Test kit) วัดค่า ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าอัลคาไลนิตี้ (มิลลิกรัม/ลิตร) ไนไตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร) ค่าแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)

*การบันทึกผลและวิเคราะห์ข้อมูล*

การติดตามการเจริญเติบโตโดยการชั่งน้ำหนัก วัดความยาว ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ตรวจนับจำนวนตัวปลานิล ที่เหลือรอดแล้วนำไปคำนวณหาอัตรารอด รวมระยะเวลาในการเลี้ยง 6 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต (4 6 และ 8) และอัตราการรอดตาย (9) โดยค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยโปรแกรมคำนวณสำเร็จรูป โปรแกรม R

*สถานที่ทำการทดลอง*

โรงเพาะฟัก สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ (คกส.) ของทางสถาบันแล้วก่อนดำเนินการทดลอง

## ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

*ผลการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลานิล*

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคในชุดการทดลองที่ 2 ทำให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลานิลมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 24.37±0.64 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4 มีค่าเท่ากับ 21.29±0.33 กรัม และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเท่ากับ 21.00±0.16 กรัม และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 20.67±0.12 กรัม (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าความยาวเฉลี่ยของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอ-ฟลอคในชุดการทดลองที่ 2 มีค่า 14.12±0.64 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 4 มีค่า 15.06±0.33 เซนติเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 มีค่า 11.35±0.91 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 3 มีค่า 12.11±0.85 เซนติเมตร องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนอาหารและจุลินทรีย์ไบโอฟลอคในแต่ละชุดการทดลอง มีองค์ประกอบโปรตีนรวม 13.61-23.44 % ไขมัน 1.95-6.46 % เยื่อใย 2.23-9.47 % เถ้า 2.72-11.17 % คาร์โบไฮเดรต 54.72-79.35 %และพลังงานที่ย่อยได้ 264.48-289.85 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัมอาหาร (Table และ Figure 2) ซึ่งพบว่า Emerenciano et al. (2011) อ้างถึงใน Castro-Nieto (2012) ตะกอนฟลอคมีองค์ประกอบโปรตีนรวมค่อนข้างสูง 30.40 % ไขมัน 0.47 % เยื่อใย 0.83 % เถ้า 39.20 % คาร์โบไฮเดรต 29.10 % ทำให้กุ้งที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีการเจริญเติบโตที่ดีจากการกินตะกอนฟลอคซึ่งเป็นโปรตีนจากจุลินทรีย์เป็นอาหารและของเสียไนโตรเจนต่ำ (Avnimelech, 2014) นอกจากนี้ Caipang et al. (2015) แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคซึ่งมีแหล่งคาร์บอนแตกต่างกันนั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงด้วย ซึ่งน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวันมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่น มีค่า 0.37±0.64 กรัม/ตัว/วัน รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4 มีค่า 0.31±0.64 กรัม/ตัว/วัน ชุดการทดลองที่ 3 มีค่า 0.30±0.12 กรัม/ตัว/วัน และชุดการทดลองที่ 1 มีค่า 0.28±0.12 กรัม/ตัว/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของชุดการทดลองที่ 2 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่า 0.78±0.01 รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 1 4 และ 3 ตามลำดับ มีค่า 0.84±0.03 0.87±0.03 และ 0.88±0.03 ตามลำดับ

ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ ซึ่งคิดต้นทุนจากค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าอาหาร ค่ากากน้ำตาล ค่าระบบชีวภาพและการกรองตะกอน ซึ่งเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีการเติมน้ำลงตู้กระจก มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในปริมาณ 104 ลิตรต่อตู้ มีการเติมกากน้ำตาล 4 มิลลิลิตรต่อตู้ โดยรักษาระดับน้ำภายในตู้ปริมาตร 54 ลิตร และ มีการเติมน้ำหมักชีวภาพ 1.3 มิลลิลิตรต่อตู้ (อัตราการเติม 0.53 มิลลิตรต่อลิตร) ซึ่งช่วยลดปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้ สอดคล้องกับ Rucksapram et al. (2021) พบว่า การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคสามารถประหยัดต้นทุนได้ดีกว่าการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนอาหารจากชนิดที่มีโปรตีน 30 % มาเป็น 20 % ซึ่งลดค่าใช้จ่ายค่าอาหารได้ประมาณ 7-8 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอค มีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมัน ที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ จึงสามารถช่วยลดค่าต้นทุนการผลิตด้านอาหารสัตว์น้ำได้ ประหยัดต้นทุนค่าน้ำ ค่าแรงงานในการสูบเปลี่ยนถ่ายน้ำ และช่วยลดปัญหามลพิษจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยน้ำจากระบบเลี้ยงปลานิลในการทดลองนี้เมื่อถ่ายเทออกจากระบบแล้วจะนำไปกักไว้ในบ่อพักน้ำทิ้งเพื่อบำบัดคุณภาพต่อไป และเมื่อตรวจหาสิ่งมีชีวิตในบ่อพักน้ำทิ้งจากระบบเลี้ยงภายใต้กล้องสเตอริโอ พบแพลงก์ตอนสัตว์หลายชนิด ได้แก่ ไรแดง (*Moina macrocopa*) และโรติเฟอร์ (*Brachionus* sp.) ซึ่งสามารถนำกลับมาเป็นอาหารเสริมสำหรับปลานิลในระบบเลี้ยงได้อีกด้วย

**Table 1** Chemical composition on dry matter basis of biofloc in treatments

| Chemical composition (% dry matter basis) | Treatment | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ash | 2.86 | 3.49 | 2.74 | 11.17 |
| Fiber | 2.23 | 2.98 | 2.89 | 9.47 |
| Fat | 1.95 | 3.48 | 2.67 | 6.46 |
| Total protein | 13.61 | 23.44 | 18.54 | 18.19 |
| Carbohydrates | 79.35 | 66.61 | 73.15 | 54.72 |

**Table 2** Growth performance of Nile tilapia fish in treatment tanks

| Treatment | Individual final weight (g) | Final length (g) | Average daily growth (g/d) | FCR | Survival rate (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20.67±0.12$^{a}$ | 11.35±0.91$^{a}$ | 0.28±0.12$^{a}$ | 0.84±0.03$^{b}$ | 100 |
| 2 | 24.37±0.64$^{b}$ | 14.12±0.64$^{b}$ | 0.37±0.64$^{b}$ | 0.78±0.01$^{a}$ | 100 |
| 3 | 21.00±0.16$^{a}$ | 12.11±0.85$^{a}$ | 0.30±0.12$^{a}$ | 0.88±0.03$^{b}$ | 83.88 |
| 4 | 21.29±0.33$^{a}$ | 15.06±0.33$^{b}$ | 0.31±0.64$^{a}$ | 0.87±0.03$^{b}$ | 100 |
| P-Value | 0.008$^{*}$ | 0.001$^{*}$ | 0.014$^{*}$ | 0.006$^{*}$ | 0.095$^{ns}$ |

$^{ns}$ Non significant difference at $p \geq 0.05$.

$^{*}$ Significant difference at $p < 0.05$.

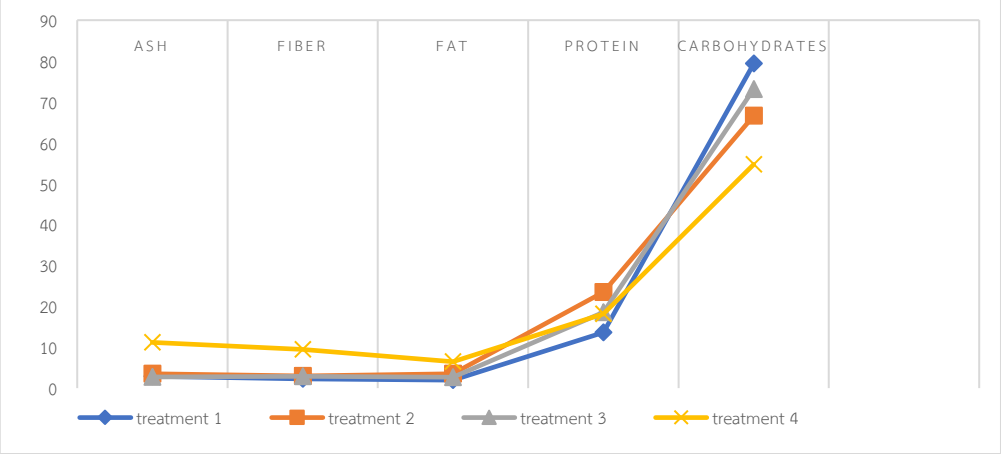



**Figure 2** Chemical composition on dry matter basis of biofloc in treatments.

*อัตรารอดของปลานิล คุณภาพน้ำ และต้นทุนของน้ำที่ใช้เลี้ยง*

อัตรารอดของชุดการทดลองที่ 1 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 4 มีแนวโน้มที่จะสูงกว่าชุดการทดลองที่ 3 มีอัตรารอด 83.88 % โดยชุดการทดลองที่ 1 2 และ 4 มีอัตรารอด 100 % ตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณไนไตรท์ แอมโมเนีย ที่มีค่าไม่สูงมากจึงส่งผลให้มีตะกอนไบโอฟลอคที่ไม่หนาแน่นจนเกินไป ทั้งนี้การใช้น้ำหมักชีวภาพในระบบไบโอฟลอคต้องควบคุมปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเลี้ยงไม่ควรเกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าไม่ให้ต่ำกว่า 6.5 (Rucksapram et al., 2021) ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับ Sittplangkoon et al. (2012) ให้เหตุผลว่าการควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนียโดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดของตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ให้ต่ำ Hmadhloo et al. (2013) ให้เหตุผลว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิล โดยมีปริมาณไนไตรท์และ แอมโมเนียเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) Nurhatijah et al. (2016) ปริมาณตะกอนฟลอคไม่ได้ส่งผลต่อความเค็มของน้ำ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ส่งผลต่อต่อค่าอัลคาไลนิตี้อย่างมีนัยสำคัญ โดยปกติแล้วคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นจะต้องควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมอยู่แล้วแต่ในแง่ของการเลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคส่งผลให้คุณภาพน้ำโดยรวมมีค่าที่ดีกว่าการเลี้ยงในระบบปกติเนื่องจากปริมาณของเสียไนโตรเจนในระบบต่ำ Thanakitpairin et al. (2016) เลี้ยงปลานิลที่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้น 3.0 กก./ลบ.ม. โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอนจากบ่อเลี้ยงเป็นเวลา 60 วันแล้ว พบว่าการควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพให้อยู่ในช่วง 200-800 มิลลิกรัมของแข็งแขวนลอยต่อลิตร ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของเสียไนโตรเจนในช่วง 2.9-9.6 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรต่อวัน จะสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำให้ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าการรักษาระดับตะกอนแขวนลอยในระบบจะช่วยลดปริมาณของเสียประเภทแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ดี สอดคล้องกับงานทดลองนี้พบว่าคุณสมบัติของน้ำทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ปกติและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (Table 3) โดยทุกชุดการทดลองมีคุณภาพน้ำที่ใกล้เคียงกัน (Figure 3) อุณหภูมิน้ำตลอดการเลี้ยงอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.7-8.3 ค่าอัลคาไลนิตี้ 68-119 มิลลิกรัม/ลิตรของแคลเซียม

คอร์บอเนต ไนไตรท์ 0-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียรวม 0-0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 4-5 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร (Table 3) ทำให้ในงานทดลองนี้มีต้นทุนการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3.12 2.30 2.00 และ 3.02 บาท/วัน ตามลำดับ

คุณภาพน้ำที่ดีจากการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอคยังช่วยให้ผลผลิตปลานิลมีคุณภาพเนื้อที่ดี (Fisheries department, 2008a; Fisheries department, 2008b; Wangwibulkit, 2009) แม้ว่าการผลิตปลานิลด้วยระบบไบโอ-ฟลอค ซึ่งเป็นการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง มุ่งเน้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นแต่การเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงในระบบหนาแน่นสูงมักพบปัญหากลิ่นโคลนที่มาจากสารจีออสมิน Jitmanowan (2020) ควบคุมคุณภาพน้ำให้มีระดับคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) 14:1 และ 10:1 ทดลองในบ่อขนาด 2 ตัน เป็นเวลา 90 วันพบว่าทำให้มีปริมาณฟลอคที่ตกตะกอน ค่าเฉลี่ย 52.64±1.84 มิลลิกรัม/ลิตร และ 34.73±13.9 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ทั้งนี้ปลานิลยังสามารถอาศัยอยู่ได้ มีกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงปลานิล 0.10 ไมโครกรัม/ลิตร โดยทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีและอัตรารอดต่างกัน เมื่อเทียบต้นทุนค่าอาหารพบว่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 14:1 มีต้นทุนต่ำกว่า 10:1 ดังนั้น การเติมแหล่งคาร์บอนในการทดลองนี้ได้ใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำก็ยังคงต้องมีการเติมกากน้ำตาลในอัตรา 0.53 มิลลิลิตร/ลิตร อย่างสม่ำเสมอเพื่อควบคุมสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน นอกเหนือจากการรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลและผลต่ออัตรารอดของปลานิลได้อย่างชัดเจน

**Table 3** The values of water temperature, pH, alkalinity, nitrite, total ammonia nitrogen, dissolved oxygen concentrations and TSS in respective treatments

| Parameters | Treatment 1 | Treatment 2 | Treatment 3 | Treatment 4 |
|---|---|---|---|---|
| Temperature (°C) | 28-30 | 28-30 | 28-30 | 28-30 |
| pH | 6.7-8.3 | 7.4-8 | 6.7-8.3 | 7.4-8 |
| Alkalinity (mg/L $CaCO_3$) | 68-102 | 85-119 | 68-119 | 68-102 |
| Nitrite (mg/L $NO^{2-}$-N) | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 |
| Total ammonia nitrogen (mg/L $NH^{-}_3$-N) | 0-1 | 0-2 | 0-0.5 | 0-2 |
| Dissolved oxygen (mg/L) | 4 | 4-5 | 4 | 4-5 |
| Total suspended solids (TSS) (mg/L) | 100-200 | 200-500 | 200-300 | 200-300 |

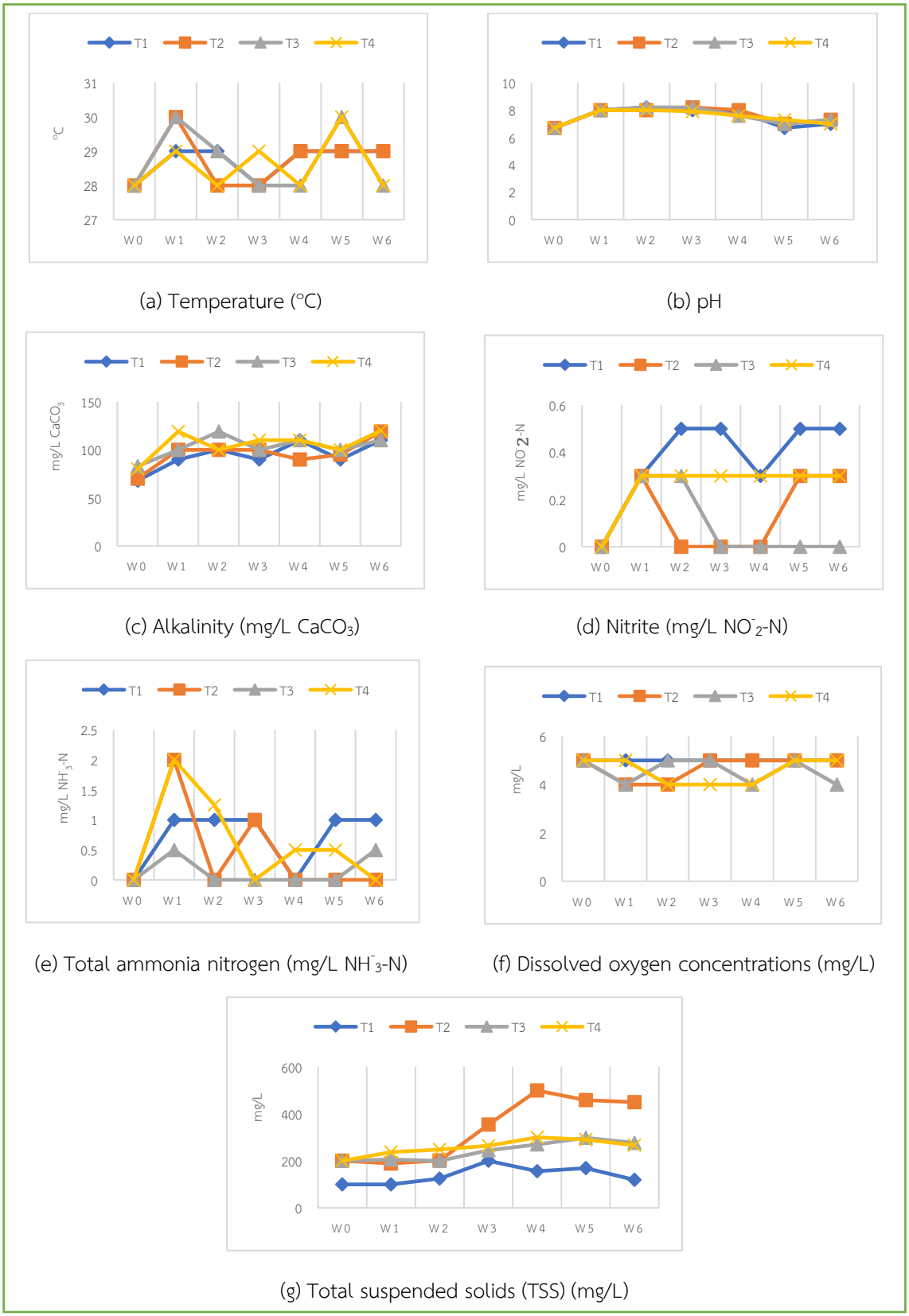



**Figure 3** Levels of water temperature (a), pH (b), alkalinity (c), nitrite (d), total ammonia (e), dissolved oxygen concentrations (f) and TSS (g) in respective treatments from week 1 to 6.

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคในชุดการทดลองที่ 2 ทำให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของปลานิลดีที่สุด แต่ชุดการทดลองที่ 3 มีต้นทุนการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่ำที่สุด ต้นทุนการผลิตน้ำหมักชีวภาพและกากน้ำตาลของชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมเลี้ยงปลานิลน้ำใสปกติ ใส่กากน้ำตาล และการเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำหมักชีวภาพอีเอ็ม ชุดการทดลองที่ 3 ใช้น้ำหมักชีวภาพหัวเชื้อบาซิลลัส และชุดการทดลองที่ 4 ใช้น้ำหมักชีวภาพจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 0.35 2.20 2.45

และ 0.83 บาท/ลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thanakitpairin et al. (2016) ศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิตไบโอฟลอคในบ่อเลี้ยงปลานิลและปลาดุกบิ๊กอุยที่ความหนาแน่น 30 และ 50 ตัวต่อตารางเมตร โดยแหล่งคาร์บอน คือ กากน้ำตาล รำละเอียด ขนมปังและข้าวโพดป่น ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้แหล่งคาร์บอนทั้ง 4 ชนิด ไม่มีผลต่ออัตราการรอดตาย การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการแลกเนื้อและ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลและปลาดุกบิ๊กอุย แต่จะมีผลต่อตะกอนแขวนลอยรวม (TSS) หรือไบโอฟลอคของบ่อปลาดุกบิ๊กอุยมากกว่าบ่อเลี้ยงปลานิล ดังนั้นแม้จะเพิ่มแหล่งคาร์บอนอื่น ๆ นอกเหนือจากกากน้ำตาลไม่มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลและปลาดุกบิ๊กอุย แตกต่างกัน Khumsat et al. (2018) และ Sittplangkoon et al. (2012) ได้ศึกษาการควบคุมความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนียโดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย 9 และไนไตรท์ให้ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อของแข็งแขวนลอยมีปริมาณอยู่ในช่วง 200-500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่สูงที่สุดเท่ากับ 60.6±7.8 มิลลิกรัม/กรัม ของแข็งแขวนลอยต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อมีปริมาณตะกอนชีวภาพต่ำกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าเมื่อมีปริมาณตะกอนชีวภาพสูงกว่า 400 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 2-3 เท่า ตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นสามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ให้ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ได้เมื่อระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 200 ถึง 800 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.007 ถึง 0.023 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน โดยมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น สุขภาพของสัตว์น้ำ ความสามารถในการคงปริมาณออกซิเจนในน้ำ สอดคล้อง กับ Azim & Little (2008); Sittplangkoon et al. (2012) โดยการใช้จุลินทรีย์ในน้ำมาจับกับสารอินทรีย์แล้วให้เปลี่ยนรูปเป็นโปรตีน การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอคเป็นระบบการเลี้ยงที่ดีที่สุดในการเปรียบเทียบการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอคร่วมการใช้น้ำหมักชีวภาพ โดยส่งผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี อัตราการรอดตายสูง อัตราการแลกเนื้อต่ำ และสามารถบำบัดแอมโมเนียได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำทำให้ประหยัดต้นทุน แต่อาจจะต้องควบคุมปริมาณสารแขวนลอยในน้ำไม่ควรเกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร และควบคุมระดับความเป็นกรดเป็นด่างไม่ให้ต่ำกว่า 6.5 และพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์มีโปรตีน 21 % ของน้ำหนักแห้ง ส่วน Rucksapram et al. (2021) ศึกษาผลการใช้ไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโตและการควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืดโดยใช้รำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio = 20:1) พบว่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ไนไตรท์ และไนเตรทไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ค่า pH ปริมาณสารแขวนลอยและความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในชุดการทดลองที่ใช้ไบโอฟลอคมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ($p<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ใช้ไบโอฟลอคมีค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณแอมโมเนียรวมต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดการเลี้ยง ชุดการทดลองที่ใช้ไบโอฟลอคสามารถลดแอมโมเนียรวมได้ 15.15-75.13 % เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ไบโอฟลอคสามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำได้และเป็นการควบคุมคุณภาพน้ำไม่ให้เป็นอันตรายต่อปลากะพงขาวได้อีกด้วย ทั้งนี้รูปแบบการเติมอากาศเข้าไปในระบบไบโอฟลอคเพื่อให้ตะกอนสามารถบำบัดของเสียไนไตรเจนก็มีส่วนสำคัญ Yankay (2022) พบว่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 5:1 เป็นอัตราส่วนที่เพียงพอต่อการสร้างตะกอนไบโอฟลอคที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ทั้งในรูปแอมโมเนียและไนไตรท์ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันในเวลา 30 วัน ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์เติมอากาศแบบหัวทรายและแบบเวนจูรี่ดัดแปลง โดยพบว่าอุปกรณ์เติมอากาศแบบเวนจูรี่ดัดแปลงมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบหัวทราย ซึ่งในงานทดลองนี้ได้ใช้การหมุนเวียนน้ำแบบหัวทรายแต่ใช้การเปิดอากาศให้มีความแรงและวางรูปแบบการไหลเวียนของหัวทรายเป็นวงกลมก็พบว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน การเลือกใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ การเสริมแหล่งคาร์บอนที่ดีและการออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำที่สอดรับกันจะทำให้สามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไตรท์ได้ดี หากแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำมีค่าเกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำหรือส่งผลต่ออัตรารอดได้ (Timmons et al., 2002) เนื่องจากปริมาณของเสียที่สะสมจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมของแบคทีเรียในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน และเกิดจากอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันระหว่างแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia oxidizing bacteria (AOB) และ Nitrite oxidizing bacteria (NOB) (Vadivelu et al., 2007) ซึ่ง Nootong et al. (2011) พบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเป็นปัจจัยสำคัญร่วมด้วย

**สรุปผลการวิจัย**

เมื่อพิจารณาการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็มในชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอค มีข้อดีหลายประการ เช่น สัตว์น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดี ประหยัดต้นทุนค่าอาหาร ประหยัดต้นทุนค่าเปลี่ยนถ่ายน้ำ ปลานิลมีการเจริญเติบโตที่ดี มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ อัตรารอดสูง และสามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไตรท์ได้ดี หากแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำมีค่าเกินกว่าที่สัตว์น้ำจะทนได้ก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำหรือส่งผลต่ออัตรารอดได้ การสะสมของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนพบได้ในระบบไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายของโปรตีนให้เป็นแอมโมเนียด้วยกิจกรรมของแบคทีเรียในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและระบบนิเวศของกลุ่มแบคทีเรียหลายกลุ่มทำงานร่วมกันในน้ำซึ่งมีปริมาณตะกอนอยู่ในระบบระหว่าง 200 ถึง 800 มิลลิกรัม/ลิตร แต่หากมีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในระบบอย่างต่อเนื่องอาจเป็นการบ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบมาจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำและจากการย่อยสลายของตะกอนมีค่ามากกว่าความสามารถของระบบที่จะรองรับได้ ปริมาณตะกอนแขวนลอยภายใต้ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน ในการควบคุมความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ดังนั้น น้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็มใช้ในชุดการทดลองที่ 2 จึงมีประสิทธิภาพที่ดีโดยส่งผลทำให้ปลา

นิลมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด ทั้งนี้การใช้น้ำหมักชีวภาพให้มีประสิทธิภาพดีต่อการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอคจำเป็นที่จะต้องควบคุมสมดุลของเสียในระบบกับปริมาณตะกอนฟลอคให้เหมาะสมกันจึงจะทำให้การเลี้ยงประสบความสำเร็จได้ การใช้น้ำหมักชีวภาพเสริมในการเลี้ยงระบบไบโอฟลอคช่วยสร้างสมดุลให้เกิดขึ้นในระบบการเลี้ยงซึ่งสามารถเลี้ยงได้ทั้งชุมชนเมืองที่มีพื้นที่น้อย และสามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบพระคุณ โครงการการพัฒนาศูนย์เรียนรู้การเกษตรตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปีที่ 3 ปีงบประมาณ 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยอุปกรณ์และสถานที่การดำเนินการวิจัย

## References

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995). *Official methods of analysis* (16th ed.). Washington D. C., United States: Association of Official Analytical Chemists.

Avnimelech, Y. (2014). *Biofloc technology*: *a practical guide book* (3rd ed.). Baton Rouge, Louisiana, United States: The World Aquaculture Society.

Azim, M. E., & 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*(1-4), 29-35. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.06.036

Caipang, C. M, A., Choo, H. X., Bai, Z., Huang, H., & Lay-yag, C. M. (2015). Viability of sweet potato flour as carbon source for the production of biofloc in freshwater culture of tilapia, *Oreochromis* sp. *International Aquatic Research*, *7*(4), 329-336. doi: 10.1007/s40071-015-0117-7

Castro-Nieto, L. M., Castro–Barrera, T., De Lara-Andrade, R., Castro-Mejía, J., & Castro-Mejía, G. (2012). Biofloc systems in aquaculture biofloc systems: a technological breakthrough in aquaculture. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, *1*(1), 1-5.

Chu, C. P., & Lee, D. J. (2004). Multiscale structures of biological flocs. *Chemical Engineering Science, 59*(8-9), 1875-1883. doi: 10.1016/j.ces.2004.01.040

Emerenciano, M., Ballester, E. L. C., Cavalli, R. O., & Wasielesky, W. (2011). Biofloc technology application as a food resource in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture research*, *43*(3), 447-457. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x

Fisheries department. (2008a). *Nile Tilapia culture*. Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Fisheries department. (2008b). *Hormonal Sex-reversed Nile Tilapia culture*. Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Hmadhloo, S., Tanyaros, S., & Phumee, P. (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)

Jitmanowan, S. (2020). *Effect of carbon/nitrogen ratio (C:N) on geosmin in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) under biofloc system* (Master's thesis). Chiangmai, Thailand: Maejo University. (in Thai)

Khumsat, U., Lopbamrung, Y., & Buaban, T. (2018). Culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) with biofloc technology (Special problem). Nakhonsawan, Thailand: Nakhonsawan Rajabhat University. (in Thai)

Klinngam, S., & Thaklaewphan, C. ( 2022). *Driving AIC Phetchaburi Province towards a high performance AIC center* (AIC Phetchaburi Province annual report). Phetchaburi, Thailand: Phetchaburi Rajabhat University. (in Thai)

Nootong K., Pavasant, P., & Powtongsook, S. (2011). Effects of organic carbon addition in controlling inorganic nitrogen concentrations in a biofloc system. *Journal of the World Aquaculture Society*, *42*(3), 339-346. doi: 10.1111/j.1749-7345.2011.00472.x

Nurhatijah, N., Muchlisin, Z. A., Sarong, M. A., & Supriatna, A. (2016). Application of biofloc to maintain the water quality in culture system of the tiger prawn (*Penaeus monodon*). *AACL Bioflux, 9*(4), 923-928.

National Research Council (NRC). (1983). *Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes*. Washington D. C., United States: National Academy Press.

Phonpisuttimas, S. (2012). Fermented bio-extracts and agricultures. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, *3*(1), 59-65. (in Thai)

Ray, A. J., Lewis, B. L., Browdy, C. L., & Leffler, J. W. (2010a). Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 299 (1-4), 89-98. doi:

10.1016/j.aquaculture.2009.11.021

Ray, A. J., Seaborn, G., Leffler, J. W., Wilde, S. B., Lawson, A., & Browdy, C. L. (2010b). Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture, 310*(1-2), 130-138. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.10.019

Rucksapram, S., Tungse, W., & Rachuphimon, N. (2021). Biofloc technology and bio-extract applications for indoor culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Agriculture*, *37*(3), 243-253. (in Thai)

Sittplangkoon, P., Pungrasmi, W., & Noothong, K. (2012). Control of inorganic nitrogen concentrations and ammonium removal rates by biological sludge from closed aquaculture cultivating system. *Proceeding of the 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference* (pp. 317-323). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)

Thanakitpairin, A., Noothong, K., & Pungrasmi, W. (2016). The Effects of biological flocculation from recirculating aquaculture system on controlling the inorganic nitrogen concentrations. *Burapha Science Journal*, *21*(3), 50-57. (in Thai)

Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., & Vinci, B. J. (2002). *Recirculating aquaculture systems* (2nd ed.). New York, United States: Cayuga Aqua Ventures Llc.

Vadivelu, V. M., Keller, J., & Yuan, Z. (2007). Effect of free ammonia on the respiration and growth processes of an enriched *Nitrobacter* culture. *Water Research*, *41*(4), 826-834. doi: 10.1016/j.watres.2006.11.030

Wangwibulkit, S. (2009). *Water quality for fisheries*. Bangkok, Thailand: Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)

Yankay, S. (2022). *Effects of different aeration systems on ammonia removal efficiency of biofloc in closed aquaculture system for Litopenaeus vannamei* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University. (in Thai)

**Research article**

# Effects of different bio-extract formulas on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in biofloc system

Chuthamat Thaklaewphan* Autcharee Phoomawan Bunyat Sirithanawong and Chalida Changklaew

*Department of Aquaculture, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Muang District, Phetchaburi Province, Thailand 76000*

**ARTICLE INFO**

**Article history**
Received: 28 October 2023
Revised: 17 March 2024
Accepted: 19 June 2024
Online published: 23 July 2024

**Keyword**
*Bio extract*
*Nile tilapia*
*Biofloc system*
*Water quality*
*Growth performance*

**ABSTRACT**

This research aimed to investigate the growth and survival rates of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using biofloc technology with various groups of microorganisms. The study employed a completely randomized design comprising four sets of experiments, with each experiment repeated three times. The four sets of experiments consisted of the following: In experiment set 1, tilapias were raised under normal conditions (control group); experiment set 2 utilized biofloc technology for tilapia cultivation with naturally fermented effective microorganisms (EM); experiment set 3 utilized biofloc technology for tilapia cultivation with bacillus bacteria; and experiment set 4 utilized biofloc technology for tilapia cultivation with photosynthetic bacteria (PSB). The tilapia, with an average size of 7.68±0.48 g and 6.52±0.40 cm, were raised at a density of 45 fish per square meter in 24x12x15 inch (54 L) tanks. Ready-made food was given to feed them twice a day. Consecutive water quality monitoring was done in different raising forms for a period of six weeks. The results at the end of the experiment showed that raising the tilapia with naturally fermented EM in experiment set 2 yielded the best results. It affected the good growth rate and had a high survival rate (100 %). Additionally, it resulted in a low feed conversion ratio due to the microbial sludge, which comprised 23.43 % protein of dry unit weight. Temperature ranged from 28 to 32 °C, pH from 6.7 to 8.3, alkalinity from 68 to 119 mg/L $CaCO_3$, nitrite from 0 to 0.5 mg/L $NO_2$-N, ammonia from 0 to 0.2 mg/L $NH_3$-N, dissolved oxygen concentrations from 4.0 to 5.0 mg/L, and total suspended solids concentrations from 100 to 500 mg/L, respectively, with no significant differences between the mean values calculated for the control culture. Finally, various kinds of zooplankton, e.g., *Moina macrocopa* and *Brachionus* sp., were found in wastewater treatment systems, which can be used as supplementary food for the tilapia. Furthermore, using photosynthetic bacteria (PSB) with naturally fermented EM affected ammonia treatment and helped reduce the frequency of changing the water in the fish tank, thus reducing costs.

*Corresponding author
E–mail address: runchoo@gmail.com (C. Thaklaewphan)
Online print: 23 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2024.32