



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

บทความวิจัย

ผลของระบบการเพาะเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนต่อค่าโลหิตวิทยา คุณภาพน้ำและสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*)

นิพนธ์ ชูเกิด¹ พุทธพร พุ่มโรจน์¹ และ สุขสันต์ ชำคง^{1*}

¹สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150 ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 15 พฤศจิกายน 2567

แก้ไข: 12 มกราคม 2568

ตอบรับการตีพิมพ์: 11 เมษายน 2568

ตีพิมพ์ออนไลน์: 13 พฤษภาคม 2568

คำสำคัญ

ปลานิลแดง

ระบบน้ำหมุนเวียน

การเปลี่ยนถ่ายน้ำ

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงที่มีการถ่ายน้ำ (Change fish tank water; CFT) กับระบบการเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating aquaculture systems; RAS) จำนวน 6 บ่อต่อระบบการทดลองในปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) ที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 10.20 ± 0.05 g จำนวนตัว 12 ตัวต่อบ่อระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน ต่อการเจริญเติบโต (น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย; FBW, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน; ADG, อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ; SGR, อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก; FCR, และอัตราการรอด; SR) โลหิตวิทยา (ค่าเม็ดเลือดแดง; RBC, ฮีโมโกลบิน; Hb, ฮีมาโตคริต; Ht, กลูโคส; Glu, ไตรกลีเซอไรด์; TG, โปรตีนรวม; TP) คุณภาพน้ำ (แอมโมเนีย; NH_3 , ไนโตร; NO_2^- , ไนเตรต; NO_3^- , Total bacteria; *Vibrio* spp.; Yeast and fungi และ ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (The total suspended solids; TSS) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ระบบ RAS สามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต FBW ที่ระดับ 95.46 ± 4.72 g; ADG 1.59 ± 0.08 g/day; SGR 3.89 ± 0.07 %/day; FCR 1.56 ± 0.07 ; และ SR 97.5 ± 2.74 % ค่า Ht ที่ระดับ 26.26 ± 1.10 % และ TP 35.86 ± 1.38 g/L สูงกว่าระบบ CFT ($p < 0.05$) ที่มีค่า Ht และ TP อยู่ที 23.08 ± 1.22 % และ 32.57 ± 0.34 g/L ตามลำดับ ขณะที่ค่าคุณภาพน้ำ NO_3^- และ TSS ระบบ RAS ต่ำกว่าระบบ CFT ($p < 0.05$) โดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในน้ำทั้งระบบ CFT และ RAS ($p > 0.05$) ดังนั้นการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงแบบ RAS สามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการรอด โดยระบบการเพาะเลี้ยงแบบ RAS สามารถลดระดับ NO_3^- TSS และปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยไม่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยง

บทนำ

ระบบการเลี้ยงปลาแบบน้ำหมุนเวียน (Recirculation Aquaculture System; RAS) มีรายงานการเริ่มต้นเลี้ยงเมื่อช่วงตั้งแต่ประมาณคริสต์ศักราช 1950 ในระบบการเพาะเลี้ยงปลาแคร์ฟ (*Cyprinus carpio*) ปลาเทราต์ (*Oncorhynchus mykiss*) รวมถึงปลาคูเทต (*Clarias gariepinus*) (Dalsgaard et al., 2013) เป็นรูปแบบการจัดการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เน้นรูปแบบการจัดการ การเพาะเลี้ยงโดยการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ (Lal et al., 2024) การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำแบบฉับพลัน ลดการสูญเสียสารอาหาร สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารและควบคุมคุณภาพน้ำให้มีความเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Xue et al., 2022) ซึ่งรูปแบบการจัดการระบบการเพาะเลี้ยงขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของปลาที่เลี้ยง (Taufik et al., 2024; Zhao et al., 2022) โดยการจัดการระบบสามารถลดของเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงและการปนเปื้อนสำหรับบ่อเลี้ยงที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด เพิ่มกระบวนการกำจัดของเสียในระบบโดยการออกซิโดส์อนูมอลแอมโมเนียให้เป็นสารประกอบไนไตรต์หรือไนเตรต

(Malone & Pfeiffer, 2006; Emparanza, 2009) ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ระบบการเพาะเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนสามารถประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างแพร่หลาย (Aich et al., 2020) โดยเฉพาะสัตว์น้ำเศรษฐกิจกลุ่มกุ้งรวมทั้งปลาน้ำจืดและปลาทะเล เช่น กุ้ง (Shrimp), ปลาสเตอร์เจียน (Sturgeon), ปลาเก๋า (Grouper), ปลาเทราต์ (Trout), ปลาเทอร์บอต (Turbot), ปลาโซล (Sole), ปู (Crab), ปลาแซลมอน (Salmon), ปลากระพงขาว (Seabass), ปลาปักเป้า (Pufferfish), ปลิงทะเล (Sea cucumber) และ ปลานิล (Nile tilapia) (Mugwanya et al., 2020) โดยระบบการเพาะเลี้ยงแบบ RAS มีผลต่อการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำโดยการรักษาคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมีผลต่อการลดความเครียดของปลาระหว่างการเลี้ยงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์น้ำ (Li et al., 2019; Cacho et al., 2020) การศึกษาในปลาเทราต์ (Rain brow trout; *Oncorhynchus mykiss*) ที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียนสามารถควบคุมปริมาณผลผลิตให้คงที่ตามที่ต้องการได้มากกว่าระบบการเพาะเลี้ยงที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Roque d'Orbcastel et al., 2009; Docan et al., 2011) การศึกษาใน

*Corresponding author

E-mail address: suksankum@mcru.ac.th (S. Kumkhong)

Online print: 13 May 2025 Copyright © 2025. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2025.8>

ปลาซีบริม (Seabream; *Sparus aurata*) ปลาตุ๊กตากลม (Catfish; *C. macrocephalus* x *C. gariepinus*) การใช้ระบบน้ำหมุนเวียนสามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้คงที่และมีผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาตุ๊กตากลมและปลาซีบริม (Arechavala-Lopez et al., 2020; Atse et al., 2009) การศึกษาในปลานิล (Nile tilapia; *Oreochromis niloticus*) ระบบการเพาะเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลานิลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเพาะเลี้ยงแบบเดิม (Arredondo-Figueroa et al., 2015) ในขณะที่ปลาคาร์พระบบการเพาะเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนสามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้มีการตกตะกอนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ลดความเป็นพิษของแอมโมเนียและเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นสารประกอบกลุ่มไนไตรท์หรือไนเตรตในระบบการเลี้ยง (Jelkic et al., 2012; Nuwansi et al., 2017) อย่างไรก็ตามรูปแบบการจัดการระบบการเพาะเลี้ยงแบบ RAS ยังคงมีต้นทุนค่าใช้จ่ายของระบบในการจัดการให้มีความเหมาะสมกับสัตว์น้ำที่ทำการเพาะเลี้ยงแต่ละชนิด (Badiola et al., 2018) โดยเฉพาะเรื่องของการกำหนดปริมาณการผลิตให้มีระดับใกล้เคียงกับรูปแบบการเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิม ทำให้ต้นทุนของสัตว์น้ำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนยังคงมีราคาสูง แต่ยังสามารถจำหน่ายได้ในราคาที่เทียบเท่ากับรูปแบบการผลิตแบบดั้งเดิม (Hakuć-Blazowska et al., 2024) โดยเฉพาะช่วงการอนุบาลลูกปลาที่ต้องอาศัยการจัดการด้านอาหาร การควบคุมคุณภาพน้ำรวมถึงปริมาณผลผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการก่อนการเลี้ยงต่อเป็นปลาเนื้อที่ส่วนใหญ่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างแพร่หลาย (FAO, 2020)

ปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมบริโภค เนื่องจากเป็นปลาที่มีรสชาติดี สามารถประกอบเมนูอาหารบริโภคได้หลากหลาย (FAO, 2020) อีกทั้งยังมีสีสันที่ดึงดูดผู้บริโภค (Behrends et al., 1982) โดยรูปแบบการเลี้ยงปลานิลแดงส่วนใหญ่นิยมการเลี้ยงในระบบบ่อดิน การเลี้ยงแบบบ่อซีเมนต์ รวมถึงรูปแบบการเพาะเลี้ยงแบบกระชังลอยน้ำในแม่น้ำ เนื่องจากเป็นปลาที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีความต้านทานโรคสูง (Dey & Gupta, 2000) อย่างไรก็ตามระบบการเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิมยังมียieldต่อปริมาณผลผลิตไม่แน่นอน โดยในช่วงปี พ.ศ. 2564-2566 ปริมาณผลผลิตปี พ.ศ. 2564 เฉลี่ยอยู่ที่ 253,489 ตัน ปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณผลผลิตที่ 269,394 ตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.90 ในขณะที่ปี พ.ศ. 2566 ปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มลดลงเหลือเพียง 266,480 ตัน ลดลงร้อยละ 1.08 (Department of Fisheries, 2023) จากปัญหาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อปริมาณการผลิตปลานิลแดงเพื่อการค้า (Sakunphun et al., 2024) รูปแบบการจัดการระบบการเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียนสำหรับเลี้ยงปลานิลแดงสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการผลิตและการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงเชิงพาณิชย์และการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ในสาขาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่มีผลต่อรูปแบบการพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิลแดง (Zhao et al., 2022) เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิตปลานิลแดงให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบการเลี้ยงที่มีการถ่ายเทน้ำ (Change fish tank water; CFT) กับระบบการเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating aquaculture systems; RAS) ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต สุขภาพ และการ

เปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) ถูกออกแบบให้มีความเหมาะสมตามหลักจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลองมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง เลขที่อนุญาตใช้สัตว์ AS6611010 ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) เพื่อทดสอบความแตกต่างของผลการเลี้ยงปลานิลแดง 2 ระบบประกอบด้วย 1) ระบบการเลี้ยงที่มีการถ่ายเทน้ำ (Change fish tank water; CFT) 2) ระบบการเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating aquaculture systems; RAS) จำนวนชุดการทดลองละ 6 ชุด (ทั้งหมด 12 บ่อการทดลอง) เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำสำหรับปลาทุกชนิด (โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30%) ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง/วัน (เวลา 10.00 น. และ 16.00 น.) ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติที่ระดับการให้อาหาร 5% ของน้ำหนักตัว/มื้ออาหาร ทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาการเลี้ยงที่ 30 วัน (Timing-I) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลาการเลี้ยงที่ 60 วัน (Timing-II)

การเตรียมปลาทดลอง

นำปลานิลแดงจากฟาร์มปลาเอกชนเชิงพาณิชย์ในท้องถิ่น (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 8.08 ± 0.09 g) เลี้ยงเพื่อปรับสภาพปลาในบ่อขนาดความจุ น้ำ 800 L (กว้าง 1.0 m x ยาว 1.0 m x ลึก 0.8 m) เป็นระยะเวลา 14 วัน เพื่อปรับสภาพปลาให้คุ้นชินกับสภาพแวดล้อมของการเลี้ยงก่อนทำการสุ่มปลาเพื่อชั่งน้ำหนักจำนวน 12 ตัวต่อบ่อ (ปลาทั้งหมด 144 ตัว) น้ำหนักตัวปลาเริ่มต้นเฉลี่ย 10.20 ± 0.05 g เลี้ยงในถังวงกลมขนาดความจุ 100 L (กว้าง 0.58 m x ลึก 0.45 m) ที่มีระบบเติมน้ำเพื่อควบคุมระดับน้ำให้คงที่ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

การเตรียมบ่อทดลอง

ระบบการเลี้ยงในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ระบบ (จำนวน 6 บ่อต่อระบบการเลี้ยง) โดยติดตั้งระบบเดิมอากาศในถังเลี้ยงปลาด้วยเครื่องเติมอากาศ (LP-100) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง โดยแบ่งระบบการเลี้ยงประกอบด้วย 1) ระบบ CFT โดยถ่ายน้ำทุก ๆ 7 วัน ปริมาตร 30 % ของน้ำทั้งหมดและทำการจดบันทึกปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยง 2) ระบบ RAS ที่มีการควบคุมอัตราการไหลแบบคงที่ (อัตราการไหล 10 LPM) ในระบบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง โดยมีการติดตั้งลูกลอยสำหรับเติมน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่ในระบบการเลี้ยง ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณน้ำในระบบการเลี้ยงเพื่อบันทึกปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบจากถังพักน้ำที่มีขนาดความจุ 2,000 L ติดตั้งจุดน้ำล้นและพันตาข่ายอวนมุ้งในลอนสีฟ้าขนาด 16 ตาต่อนิ้ว (ขนาด 10 cm x 10 cm) บุบริเวณจุดน้ำล้นเพื่อป้องกันอาหารล้นออกนอกถังเลี้ยง ระบบ RAS มีการรวมน้ำล้นจากถังเลี้ยงเพื่อกรองกับระบบชุดกรองน้ำที่ประกอบด้วย 1) ถังกรองตะกอน (Mechanical filtration tank) ที่มีการใส่ตาข่าย เม็ดพลาสติกขนาดเล็กที่ทำเป็นรูปแฉกเพื่อสร้างพื้นที่ให้แบคทีเรีย (Moving-bed bioreactor tank) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทและ 2) ถังกรองชีวภาพ (Biological filter tank) ก่อนเวียนน้ำเข้าสู่ระบบการเลี้ยงดัง Figure 1

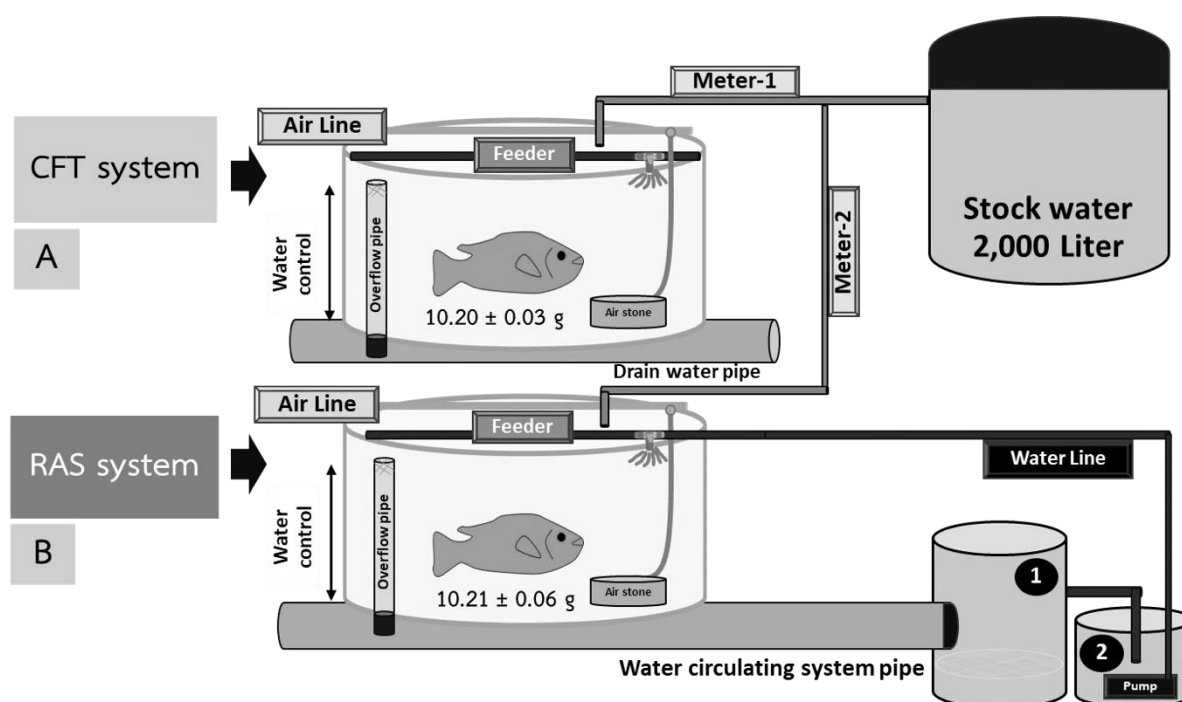


Figure 1 Schematic shows two different fish culture systems. System A is a system that changes water throughout (CFT system) the culture period by changing water every 7 days at a rate of 30% of the total volume. System B is a recirculating aquaculture system (RAS system) that recirculates water with two sedimentation tanks consisting of a biofilter and a water storage tank in the recirculating water system. The RAS system, tank no. 1, containing 200 L, has been filled with fish hapas and bio balls as a substrate for microbes, and filter to remove solids. Tank no. 2 is used to receive water from the first filter tank to pump back into the cultivation system.

การจัดการการทดลอง

เลี้ยงปลานิลแดงเป็นระยะเวลา 60 วัน ให้อาหารปลาทุกวัน โดยใช้เครื่องให้อาหารแบบตั้งเวลาการให้อาหาร ทำการบันทึกปริมาณอาหาร จำนวนปลาในแต่ละบ่อทุกวันเพื่อประเมินอัตราการรอด สุ่มเก็บตัวอย่างปลานิลแดงจำนวนบ่อละ 5 ตัว เมื่อถึงระยะเวลา 30 วัน (Timing-I) และ 60 วัน (Timing-II) ของการเลี้ยง ทำการสุ่มชั่งน้ำหนักของปลาโดยการสลับปลาด้วยน้ำมันกานพลู (10% Clove oil) ที่ระดับความเข้มข้น 40 mg/L (Kumkhong et al., 2021) เพื่อเก็บข้อมูลสมรรถนะการเจริญเติบโตโดยการชั่งน้ำหนักตัวปลา (Body weight; BW) เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (Final body weight; FBW) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (Average daily weight gain; ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (Feed conversion ratio; FCR) และอัตราการรอด (Survival rate; SR) ดังแสดงในสมการ

$$^1\text{FBW} = \text{Final body weight} - \text{Initial body weight}$$

$$^2\text{ADG} = (\text{Final body weight} - \text{Initial body weight}) / \text{Experimental days}$$

$$^3\text{SGR} = 100 \times [(\ln \text{Final body weight} - \ln \text{Initial body weight}) / \text{Experimental days}]$$

$$^4\text{FCR} = \text{Dry feed fed} / \text{Wet weight gain}$$

$$^5\text{SR} = (\text{Number of fish at the end of rearing} / \text{Number of initial fish stocked}) \times 100$$

ทำการสุ่มปลาจำนวน 2 ตัวต่อบ่อ เพื่อเก็บตัวอย่างเลือดจากบริเวณเส้นเลือดดำ (Caudal vein) โดยใส่สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (5% K₂EDTA ละลายใน 0.85% NaCl) เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา (Hematology) ประกอบด้วย 1) ปริมาณเม็ดเลือดแดง

(Red blood cell) 2) ระดับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) และ 3) ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hematocrit) ค่าเคมีในพลาสมา (Plasma chemical) ประกอบด้วย 1) ค่าพลาสมากลูโคส (Glucose) 2) พลาสมาไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) และ 3) พลาสมาโปรตีน (Total protein)

การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ

เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำตลอดช่วงระยะเวลาการเลี้ยง ได้แก่ 1) อุณหภูมิอากาศ 2) อุณหภูมิน้ำ 3) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen; DO) 4) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ทุกวัน ตลอดการเลี้ยงโดยใช้เครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำ (Hanna HI98194) และตรวจวัดคุณภาพน้ำรายสัปดาห์ประกอบด้วย 1) ค่าแอมโมเนีย (NH₃) 2) ค่าไนไตรท์ (NO₂) ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำ (Monitor test kit) และค่าไนเตรท (NO₃) ด้วยชุดทดสอบคุณภาพน้ำ (Tetra Test NO₃) ทำการสุ่มวิเคราะห์ปริมาณประชากรจุลินทรีย์ในน้ำ ในระบบการเพาะเลี้ยงทั้ง 2 ระบบ ประกอบด้วย 1) จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria; plate count agar (PCA)) 2) แบคทีเรียในสกุลวิบริโอ (*Vibrio* spp.; thiosulphate citrate bile salt sucrose (TCBS)) 3) จุลินทรีย์จำพวกเชื้อรา (Yeast and fungi; sabouraud dextrose agar (SDA)) ด้วยอาหารที่มีความจำเพาะต่อเชื้อแบคทีเรีย และจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยระหว่างการทดลองค่าอุณหภูมิอากาศ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงอยู่ระหว่าง 32.00 - 38.00 °C อุณหภูมิน้ำ อยู่ระหว่าง 26.80 - 29.00 °C ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 3.44 - 3.50 mg/L ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 7.50 - 8.50 แอมโมเนียอยู่ระหว่าง 0.00 - 0.50 mg/L ไนไตรท์อยู่ระหว่าง 0.00 - 0.50 mg/L และค่าไนเตรทอยู่ระหว่าง 0.00 - 50.00 mg/L ตามลำดับ โดยตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษาค่า

คุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่ไม่จัดว่าเป็นอันตรายสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Taufik et al., 2024)

วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ทำการวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของอาหารทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีการของ AOAC (2010) ดังนี้ การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโปรตีน (Crude protein; CP) โดยวิธีเจลดาร์ล

(Kjeldahl method), ปริมาณไขมัน (Ether extract; EE) โดยวิธี Ether-extraction, ปริมาณความชื้น (Moisture) โดยวิธี Oven-drying, ปริมาณเถ้าโดยวิธี Muffle furnace combustion และปริมาณเยื่อโดยวิธี Acid-alkali digestion ในอาหารทางการค้าชนิดเม็ดลอยน้ำสำหรับปลาตะบิม (Table 1)

Table 1 Commercial items utilized in the study's nutritional value

Components	g/kg (dry matter basis)
Dry matter	955.91
Crude protein	321.24
Crude lipid	38.67
Crude fiber	46.49
Ash	106.95

การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา 1) การวิเคราะห์ปริมาณเม็ดเลือดแดง (Red blood cell; RBC) 2) ปริมาตรเม็ดเลือดแดง อัดแน่น (Hematocrit; Htc) และ 3) ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) การวิเคราะห์ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นใช้วิธีการของ Neubauer hemocytometer โดยการเจือจางตัวอย่างเลือดกับน้ำยาที่ช่วยป้องกันไม่ให้เลือดแข็งตัว (Grower's solution, (Voight 2000)) เจือจางเลือดตัวอย่างกับน้ำยาในอัตราส่วน 1:200 นับจำนวนเม็ดเลือดแดง โดยใช้ฮีมาไซโตมิเตอร์ (Counting chamber) ที่มีพื้นที่ $1 \times 1 \text{ mm}^2$ และ chamber มีความลึก 0.1 mm^3 และนับจำนวนเม็ดเลือดแดงภายใต้กล้องจุลทรรศน์และคำนวณหาค่าเฉลี่ยปริมาณเม็ดเลือดแดง ปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ทำการดูดเลือดตัวอย่างเข้าไป 75% ของความยาวหลอด Capillary tube ทำการปิดปลายข้างหนึ่งของหลอดด้วยดินน้ำมัน ทำการปั่นหลอดบรรจุเลือดด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Microhematocrit centrifuge) ที่อัตราเร็ว 12,000 rpm เป็นระยะเวลานาน 5 นาที และทำการอ่านค่าปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่นจากปริมาตรทั้งหมดเปรียบเทียบกับปริมาตรเม็ดเลือดแดงหลังปั่นเหวี่ยง คำนวณหาค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงและค่าเฉลี่ยของปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ดังที่แสดงในสมการคำนวณ

$$^6\text{RBC (mm}^3\text{)} = (\text{RBC count} \times \text{dilution factor}) / \text{Volume}$$

$$^7\text{Htc (\%)} = (\text{Height of red blood cell layer (mm)} / \text{Height of total blood (mm)}) \times 100$$

ฮีโมโกลบิน ทำการศึกษาโดยใช้กระบวนการตามวิธีการของ Photometrical cyanohemoglobin method ด้วยวิธีเทียบสี (Colorimetric method) โดยการใส่น้ำยา Drabkin's ลงในหลอดทดลองปริมาตร 1,000 μl ดูดตัวอย่างเลือด 4 μl ลงในหลอดทดลองขนาด 1.5 ml เขย่า (Vortex) ผสมน้ำยากับตัวอย่างเลือดให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อตกตะกอนนิวเคลียสของเม็ดเลือดแดงและเศษของเซลล์ดูดตัวอย่างปริมาตร 200 μl ไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (O.D.) โดยใช้เครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท (Microplate Reader) ที่ความยาวคลื่น 540 nm โดยใช้ น้ำยา Drabkin's เป็น blank อ่านค่าของฮีโมโกลบิน จากกราฟแสดง Standard calibration curve จากการวัดเทียบกับ Standard hemoglobin (g/dl) ที่ได้จากสมการ (Pal & Pal, 2006)

การตรวจวิเคราะห์ค่าเคมีในพลาสมาเพื่อประเมินสุขภาพของปลาและสถานะทางโภชนาการโดยการนำตัวอย่างเลือดมาทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกพลาสมา โดยการปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่อัตราเร็ว 10,000 rpm 5 นาที และเก็บตัวอย่างพลาสมาโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C ก่อนการนำไปวิเคราะห์ค่าเคมีในพลาสมาที่ประกอบด้วย ระดับกลูโคส โดยการวิเคราะห์เชิงปริมาณตามวิธีของ Trinder's method (Trinder, 1969) ประเมินปริมาณไตรกลีเซอไรด์โดยใช้วิธีการ Glycerol-3 phosphate oxidase-sodium N-ethyl-N-(3 sulfopropyl)m-anisidine method ที่อธิบายโดย Bucolo and David (1973) และการตรวจวัดหาปริมาณโปรตีนในพลาสมาโดยใช้วิธีการ Biuret method ที่อธิบายโดย Gornall et al. (1949)

การวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำของระบบการเลี้ยงปลานิลแดง หลังจากการทดลองเป็นระยะเวลา 30 และ 60 วัน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำในระบบการเลี้ยงปลานิลแดง ทุก ๆ 2 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างน้ำจากถังเลี้ยงแล้วนำมาเจือจางด้วยสารละลาย 0.85% Sodium chloride ในอัตราส่วน 1 : 1,000 (Serial dilution) จากนั้นทำการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Viable plate count ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความจำเพาะต่อจำนวนแบคทีเรียประกอบด้วย 1) อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความจำเพาะต่อจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด PCA 2) แบคทีเรียในสกุลลิวรีโอด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ TCBS และ 3) จุลินทรีย์จำพวกเชื้อราด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Sabouraud dextrose agar ทำการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นระยะเวลาเวลา 18 - 24 ชั่วโมง ทำการนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจากจำนวนโคโลนีที่ได้จากการบ่มเชื้อที่มีจำนวน 30 - 300 โคโลนี (Colony) คำนวณจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่นับได้ทั้งหมดต่อมิลลิลิตรและรายงานผลเป็น Colony forming unit/gram (CFU) (Rawling et al., 2009) จากสมการ

$$^8\text{Colony forming unit / ml} = \text{จำนวนโคโลนี (Colony)} \times \text{ส่วนกลับของระดับความเจือจาง}$$

การเก็บปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงโดยการบันทึกปริมาณน้ำที่ใช้ผ่านมิเตอร์วัดปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านและทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำแต่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (Total Suspended Solids; TSS) โดยการกรองน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 ml ด้วยกระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดรูกรองประมาณ $1.2 \mu\text{m}$

แล้วนำของแข็งดังกล่าวที่ติดค้างบนกระดาษกรองไปผ่านการระเหยน้ำออกจนหมดที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ทำการบันทึกน้ำหนักและคำนวณค่าที่ได้โดยใช้สมการ

$$^{\circ}\text{TSS (mg/L)} = (\text{น้ำหนักก่อนอบ (mg)} - \text{น้ำหนักหลังอบ (mg)}) \times 10^6 / \text{ปริมาตรน้ำที่ใช้ (ml)}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent group) ระหว่างระบบการเพาะเลี้ยงที่มีการถ่ายเทน้ำ (CFT) กับระบบการเพาะเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียน (RAS) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Tukey's t test ด้วยโปรแกรม RStudio R version 4.3.2 (2023-10-31ucrt)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการรอด

จากการศึกษาการเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลานิลแดง (*O. niloticus* X *O. mossambicus*) ที่ระยะเวลาการศึกษาที่ 30 (Timing-I) วัน และ 60 วัน (Timing-II) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบการเลี้ยงที่มีการถ่ายเทน้ำ (CFT) กับ ระบบการเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด (RAS) ผลการศึกษาพบว่าช่วงระยะเวลาการศึกษาที่ 30 วัน การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยระบบ CFT และ RAS ไม่มีความแตกต่างกัน ในระบบการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามระบบการเลี้ยงแบบ RAS ส่งผลต่ออัตราการรอดของปลานิลแดงที่สูงกว่าการเลี้ยงด้วยระบบ CFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยระบบที่เลี้ยงแบบ CFT มีอัตราการรอดอยู่ระหว่าง 93.33 ± 2.58 % ขณะที่

ระบบการเลี้ยงแบบ RAS มีอัตราการรอดอยู่ที่ 98.33 ± 2.58 % โดยเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงที่ระยะเวลาการศึกษาที่ 60 วัน ระบบการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงแบบ RAS ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิลแดงที่สูงกว่าระบบการเพาะเลี้ยงแบบ CFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าน้ำหนักตัวสุดท้าย (105.67 ± 4.76 g) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (95.46 ± 4.72 g) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (1.59 ± 0.08 g/day) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (3.89 ± 0.07 %/day) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (1.56 ± 0.07) ที่ดีกว่าการเลี้ยงปลานิลแดงด้วยระบบ CFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยระบบการเลี้ยงปลานิลแดงแบบ RAS มีอัตราการรอดอยู่ที่ 97.5 ± 2.74 % สูงกว่าระบบการเพาะเลี้ยงแบบ CFT ที่มีอัตราการรอดอยู่ที่ 92.50 ± 2.74 % ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 การศึกษาระบบการเลี้ยงปลานิลแดงในครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานผลการศึกษาในปลาเทราต์ (*O. mykiss*) ปลานิล (*O. niloticus*) ปลาแซลมอนแอตแลนติก (*Salmo salar*) ปลาไน (*Cyprinus carpio*) ที่ระบบการเพาะเลี้ยงปลาแบบระบบน้ำหมุนเวียนมีผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักและอัตราการรอดที่สูงกว่าระบบการเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิม (Good et al., 2009, d'Orbcastel et al., 2009, Gullian-Klanian & Arámburu-Adame, 2013; Arredondo-Figueroa et al., 2015; Wang et al., 2019; Liu et al., 2017) จากผลการศึกษาในปลานิลแดงแสดงให้เห็นว่าระบบการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงด้วยระบบการเลี้ยงแบบ RAS มีผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักและอัตราการรอดของปลานิลแดง จากผลการศึกษาในปลานิลแดงแสดงให้เห็นว่า ระบบการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงด้วยระบบการเลี้ยงแบบ RAS มีผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักและอัตราการรอดของปลานิลแดง

Table 2 Growth effects of red tilapia reared in different culture systems at 30 (Timing-I) and 60 (Timing-II) days of study

Parameters	Red tilapia culture system		SEM	P-Value
	CFT	RAS		
Timing-I				
Initial weight (g)	10.20 ± 0.03	10.21 ± 0.06	0.01	0.821
BW (g)	47.83 ± 2.56	49.00 ± 5.80	1.25	0.662
FWG ¹ (g)	37.63 ± 2.55	38.79 ± 5.77	1.24	0.662
ADG ² (g/day)	1.25 ± 0.08	1.29 ± 0.19	0.04	0.681
SGR ³ (%/day)	5.15 ± 0.17	5.21 ± 0.36	0.08	0.694
FCR ⁴	1.20 ± 0.08	1.18 ± 0.15	0.03	0.800
SR ⁵ (%)	93.33 ± 2.58 ^b	98.33 ± 2.58 ^a	1.04	0.007 [*]
Timing-II				
BW (g)	97.67 ± 5.65 ^b	105.67 ± 4.76 ^a	1.97	0.013 [*]
FWG ¹ (g)	87.47 ± 5.65 ^b	95.46 ± 4.72 ^a	1.97	0.013 [*]
ADG ² (g/day)	1.46 ± 0.09 ^b	1.59 ± 0.08 ^a	0.03	0.014 [*]
SGR ³ (%/day)	3.76 ± 0.09 ^b	3.89 ± 0.07 ^a	0.03	0.011 [*]
FCR ⁴	1.67 ± 0.10 ^b	1.56 ± 0.07 ^a	0.03	0.032 [*]
SR ⁵ (%)	92.50 ± 2.74 ^b	97.5 ± 2.74 ^a	1.07	0.010 [*]

Note: CFT = Change fish tank water, RAS = Recirculating aquaculture systems, BW (Body weight), ¹FWG (Final Weight gain); ²ADG (Average daily gain); ³SGR (Specific growth rate); ⁴FCR (Feed conversion ratio); ⁵SR (Survival rate); SEM = Standard error of the means, t-test analysis was used to analyzed between CFT and RAS system. The different letters indicate that differences were considered significant at $p < 0.05$.

ผลค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีในพลาสมา

Table 3 แสดงผลของค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีในเลือดของปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงแบบ CFT และ RAS โดยการศึกษาค่าโลหิตวิทยาของปลานิลแดงเมื่อเลี้ยงด้วยระบบการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลาการศึกษาที่ 30 วัน และ 60 วัน จากการศึกษพบว่าระบบการเลี้ยงปลานิลแดงแบบ RAS มีผลต่อการเพิ่มระดับ ฮีมาโตคริต ของปลานิลแดงที่ระยะเวลาการศึกษาที่ 30 วัน และ 60 วัน โดยที่ระยะเวลา 60 วัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโปรตีนรวมในพลาสมาที่มีค่าสูงกว่าระบบการเลี้ยงแบบ CFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการศึกษาทั้งสองระบบการเลี้ยงปลานิลแดงไม่พบความแตกต่างของค่าการศึกษา ค่าจำนวนเม็ดเลือดแดง

ฮีโมโกลบิน พลาสมากลูโคส และพลาสมาไตรกลีเซอไรด์ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับการเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำหมุนเวียนที่มีผลต่อการกระตุ้นภูมิคุ้มกันของปลาเซลมอนแอตแลนติก (*S. salar*) (Wang et al., 2019; Liu et al., 2017) ปลานิล (*O. niloticus*) (Good et al., 2009) ปลาลิ้นหมา (*Scophthalmus maximus*) (Liu et al., 2017) รวมถึงปลาเกะพงยุโรป (*Dicentrarchus labrax*) (Santos et al., 2010) อย่างไรก็ตามระบบการเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนในปลานิลแดงมีผลเฉพาะต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฮีมาโตคริตและพลาสมาโปรตีนที่แสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงแบบ RAS มีผลต่อการเสริมสุขภาพและความแข็งแรงที่ดีของปลานิลแดง

Table 3 Hematological and blood chemistry values of red tilapia reared in different culture systems at 30 (Timing-I) and 60 (Timing-II) days of study

Parameters	Red tilapia culture system		SEM	P-Value
	CFT	RAS		
Timing-I				
RBC ² (cell x 10 ¹² /L)	147.75 ± 5.22	147.67 ± 7.75	1.82	0.983
Hemoglobin (g/dl)	45.46 ± 2.27	45.15 ± 0.88	0.48	0.760
Hematocrit (%)	23.33 ± 1.22 ^b	25.93 ± 1.81 ^a	0.58	0.016 [*]
Glucose (mM)	3.43 ± 0.51	3.42 ± 0.86	0.20	0.971
Triglyceride (mM)	1.85 ± 0.14	1.89 ± 0.32	0.07	0.811
Total protein (g/L)	31.16 ± 1.9	32.76 ± 0.85	0.47	0.102
Timing-II				
RBC ² (cell x 10 ¹² /L)	156.75 ± 3.82	157.75 ± 2.38	0.87	0.598
Hemoglobin (g/dl)	54.35 ± 3.90	57.52 ± 3.81	1.66	0.184
Hematocrit (%)	23.08 ± 1.22 ^b	26.26 ± 1.10 ^a	1.04	0.001 [*]
Glucose (mM)	4.41 ± 0.65	4.44 ± 0.47	0.16	0.921
Triglyceride (mM)	2.65 ± 0.32	2.75 ± 0.35	0.09	0.598
Total protein (g/L)	32.57 ± 0.34 ^b	35.86 ± 1.38 ^a	0.57	0.002 [*]

Note: CFT = Change fish tank water, RAS = Recirculating aquaculture systems, RBC = Red blood cell, SEM = Standard error of the means, t-test analysis was used to analyzed between CFT and RAS system. The different letters indicate that differences were considered significant at $p < 0.05$

ผลของค่าคุณภาพน้ำ

Table 4 แสดงผลการศึกษาคุณภาพน้ำเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยระบบการเลี้ยงแบบ CFT และ RAS โดยการประเมินค่าแอมโมเนีย (Figure 2A) ไนโตรท์ (Figure 2B) และไนเตรท (Figure 2C) ในระบบน้ำที่ใช้เลี้ยงปลานิลแดง จากการศึกษาค่าคุณภาพน้ำ ค่าแอมโมเนียและไนโตรท์ของระบบการเลี้ยงแบบ CFT และ RAS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Figure 2A-2B และ Table 4 โดยจากการศึกษาค่าไนเตรทของระบบการเลี้ยงปลานิลแดงแบบ RAS มีระดับค่าไนเตรท (Figure 2C) ต่ำกว่าในระบบการเลี้ยงแบบ CFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 4) โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ทำการเก็บรวบรวมปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบการเลี้ยงระหว่างระบบ CFT และ RAS (Figure 2D) ในระบบการเลี้ยงแบบ CFT มีการใช้น้ำในปริมาณที่สูงกว่าในระบบการเลี้ยงปลานิลแดงแบบ RAS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยระบบการเลี้ยงแบบ CFT มีปริมาณการใช้น้ำเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงที่ระยะเวลา 60 วัน อยู่ที่ระดับ 3.72×10^3 L ขณะที่ระบบการเลี้ยงแบบ RAS ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีปริมาณการใช้น้ำอยู่ที่ระดับ 1.14×10^3 L ซึ่งการเลี้ยงแบบ RAS ใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าระบบการเลี้ยงแบบ CFT ถึง 3.25 เท่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่

ระยะเวลาการศึกษาที่ 60 วัน ดังแสดงใน Figure 2D และ Table 4 โดยปกติระบบการเลี้ยงปลาแบบน้ำหมุนเวียนสามารถลดระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ไม่เกินกว่า 1 mg/L) รักษาไนโตรท์ (ไม่เกินกว่า 1 mg/L) และไนเตรท (ไม่เกินกว่า 1,000 mg/L) (Taufik et al., 2024) อย่างเช่นการศึกษาในปลาเทราต์ที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียนสามารถควบคุมระดับแอมโมเนีย ไนโตรท์และค่าไนเตรท (Crouse et al., 2023; d'Orbcastel et al., 2009) ที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตของการเพาะเลี้ยงปลาเทราต์เชิงพาณิชย์อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงการลดปริมาณการใช้น้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงเช่นเดียวกับการศึกษาในปลานิลแดงในครั้งนี้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าตลอดการศึกษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.44-3.50 mg/L ซึ่งต่ำกว่าระดับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงที่ควรอยู่ที่ระดับ 6.0-6.5 mg/L (Abdel-Tawwab et al., 2014) แต่ปลานิลแดงสามารถอาศัยอยู่และเจริญเติบโตในสภาวะปกติที่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำไม่ต่ำกว่า 3 mg/L (FAO, 2021) โดยการลดพื้นที่ต่อตัวในการเลี้ยงลงเพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาปลานิลแดงเช่นเดียวกับการศึกษาที่มีจำนวนปลานิลแดง (12 ตัวต่อบ่อการทดลอง) ที่เหมาะสมต่อพื้นที่การเลี้ยงทำระดับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการรอดตลอดระยะเวลาการศึกษา

Table 4 The table shows the average water quality values collected every 4 weeks and the water consumption throughout the 60 days rearing period.

Parameters	Red tilapia culture system		SEM	P-Value
	CFT	RAS		
Ammonia (mg/L)	0.36 ± 0.13	0.32 ± 0.10	0.02	0.500
Nitrite (mg/L)	0.33 ± 0.16	0.25 ± 0.11	0.02	0.061
Nitrate (mg/L)	23.75 ± 8.98 ^a	14.68 ± 5.83 ^b	1.39	0.001 [*]
Total water volume (Liter x 10 ³)	3.72 ^a	1.44 ^b	0.02	<0.001 [*]

Note: CFT = Change fish tank water, RAS = Recirculating aquaculture systems, SEM = Standard error of the means, t-test analysis was used to analyzed between CFT and RAS system. Different letters indicate significant differences in the mean values among the groups (p<0.05).

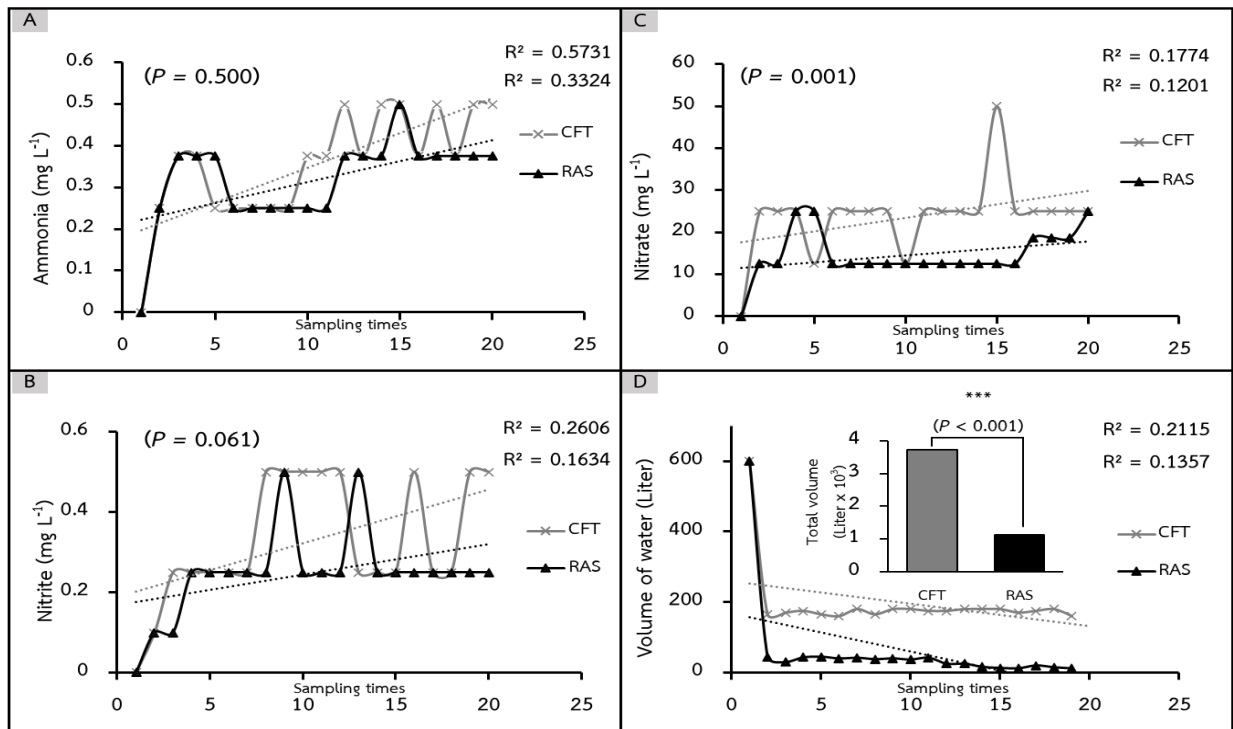


Figure 2 The effects of ammonia, nitrite, and nitrate in change fish tank water (CFT) and recirculating aquaculture systems (RAS) at 30 (Timing-I) and 60 (Timing-II) day study periods consisting of Ammonia (2A), Nitrite (2B), Nitrate (2C). Water samples were collected for analysis every 4 weeks, and the amount of water used (2D) in the culture systems throughout the 60-day period were studied. System CFT is the culture period by changing water every 7 days at a rate of 30% of the total volume. System RAS is a recirculating aquaculture system that recirculates water with two sedimentation tanks consisting of a biofilter and a water storage tank in the recirculating water system. T-test analysis was used to analyze between CFT and RAS system. Throughout the experiment, the differences were considered significant when $p < 0.05$.

ผลของประชากรจุลินทรีย์และสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด

ผลของความแตกต่างของการเลี้ยงปลาในแบบการเพาะเลี้ยงแบบ CFT และ RAS ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในน้ำ (Figure 3A-3C) และค่าสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด (TSS) (Figure 3D) โดยทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของความแตกต่างของประชากรจุลินทรีย์ในในระบบการเลี้ยงแบบ CFT และ RAS ที่ระยะเวลาการศึกษาที่ 30 วัน และ 60 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 4 สัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเพื่อวิเคราะห์จำนวนประชากรจุลินทรีย์ในน้ำและค่าสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าระบบการเลี้ยงปลาในแบบ CFT และ RAS ระบบการเลี้ยงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณประชากรจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (Figure 3A-3C) ในขณะที่ค่าสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมดพบว่าในระบบการเลี้ยงแบบ RAS ส่งผลต่อปริมาณ

การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมดลดต่ำลงเมื่อเทียบกับระบบการเลี้ยงแบบ CFT (Figure 3D) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการลดลงของของระดับ TSS ในระบบการเพาะเลี้ยงของระบบ RAS ในปลาในแดงสอดคล้องกับการศึกษาในปลาเทราต์ที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนส่งผลต่อการลดลงของค่า TSS (Crouse et al., 2023) ที่ระบบน้ำหมุนเวียนสามารถตกตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมดได้ดีกว่าระบบการเพาะเลี้ยงแบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในน้ำ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงแบบ CFT และ RAS ในการเลี้ยงปลาในแดงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในน้ำ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นถึงการหมุนเวียนการใช้ในในระบบไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ก่อโรค (*Vibrio* spp. และ Yeast and fungi) ที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบการเลี้ยงปลาแบบ RAS

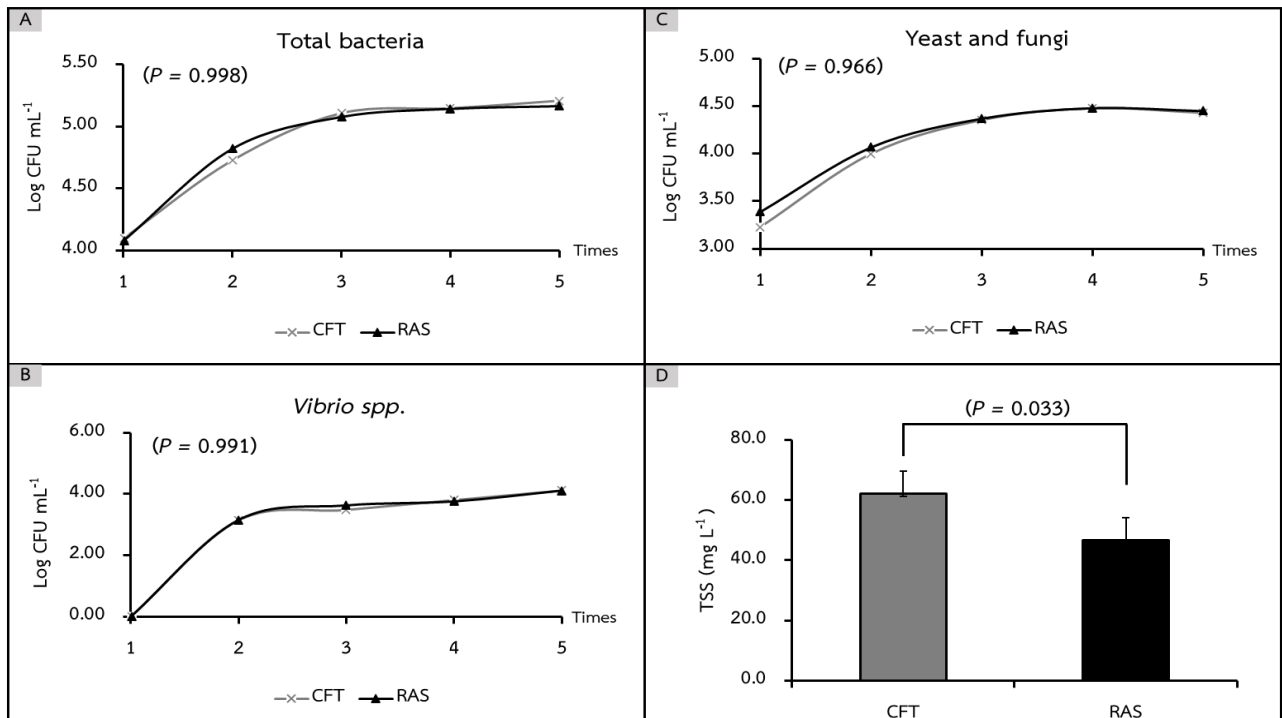


Figure 3 shows the results of the microbial population variability of change fish tank water (CFT) and recirculating aquaculture systems (RAS) consisting of total bacteria (3A), *Vibrio* spp. (3B), and fungi (3C). Water samples were collected for analysis every 4 weeks, and the total solids (TSS) fraction (3D) of the culture systems was analyzed throughout the study period of 60 days. T-test analysis was used to analyzed between CFT and RAS system.

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการเปรียบเทียบความแตกต่างของการเลี้ยงปลานิลแดงด้วยระบบการเลี้ยงที่มีการถ่ายเทน้ำและระบบการเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าการเลี้ยงปลานิลแดงแบบระบบน้ำหมุนเวียนส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการรอด โดยระบบการเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนสามารถลดระดับไนเตรทและสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมดรวมทั้งลดปริมาณการใช้น้ำในการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงโดยไม่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนอุดหนุนงานวิจัยพัฒนาพื้นที่งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงที่ให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยและขอขอบคุณสาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เลี้ยงสัตว์ทดลองและห้องปฏิบัติการทางสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง (ESPreL: 2-0370-0011-1) ในการดำเนินงานวิจัยด้านการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

References

Abdel-Tawwab, M., Hagra, A. E., Elbaghdady, H. A. M., & Monier, M. N. (2014). Dissolved oxygen level and stocking density effects on growth, feed utilization, physiology, and innate immunity of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Aquaculture*, 26(4), 340–355.

doi:10.1080/10454438.2014.959830.

Aich, N., Nama, S., Biswal, A., & Paul, T. (2020). A review on recirculating aquaculture systems: challenges and opportunities for sustainable aquaculture. *Innovative Farming*, 5(1), 17-24.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2010). *Official methods of analysis* (18th ed.). Washington D. C., United States: Association of Official Analytical Chemists.

Arredondo-Figueroa, J. L., Núñez-García, L. G., Ponce-Palafox, J. T., & Ángeles Barriga-Sosal, I. L. (2015). Performance of brooders, fry and growth of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in an experimental recirculating aquaculture system. *Agricultural Sciences*, 6(9), 1014–1022. doi:10.4236/as.2015.69096.

Arechavala-Lopez, P., Nazzaro-Alvarez, J., Jordi-Pons, A., Reig, L., Carella, F., Carrassón, M., & Roque, A. (2020). Linking stocking densities and feeding strategies with social and individual stress responses on gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Physiology and Behavior*, 213, 112723. doi: 10.1016/j.physbeh.2019.112723.

Atse, B. C., Konan, K. J., Alla, Y. L., & Pangini, K. (2009). Effect of rearing density and feeding regimes on growth and survival of African catfish, *Heterobranchus longifilis* (Valenceinnes, 1840) larvae in a closed recirculating aquaculture system. *Journal of Applied Aquaculture*, 21(3), 183–195. doi:10.1080/10454430903113669.

- Badiola, M., Basurko, O. C., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering*, 81: 57–70. doi: 10.1016/j.aquaeng.2018.03.003.
- Behrends, L. L., Nelson, R. G., Smitherman, R. O., & Stone, N. M. (1982). Breeding and culture of the red-gold color phase of tilapia. *Journal of the World Mariculture Society*, 13, 210–220. doi: 10.1111/j.1749-7345.1982.tb00028.
- Bucolo, G., & David, H. (1973). Quantitative determination of serum triglycerides by the use of enzymes. *Clinical Chemistry*, 19(5), 476–482.
- Cacho, J., Moura, R., & Henry-Silva, G. G. (2020). Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish farming in net cages on the nutrient and particulate matter sedimentation rates in Umari reservoir, Brazilian semi-arid. *Aquaculture Reports*, 17, 100358. doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100358
- Crouse, C., Knight, A., May, T., Davidson, J., & Good, C. (2023). Performance, processing yields, and fillet composition of specific United States diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) lines reared in a semi-commercial scale freshwater recirculating aquaculture system. *Aquaculture Reports*, 33, 101794. doi: 10.1016/j.aqrep.2023.101794.
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K., & Pedersen, P. B. (2013). Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering*, 53, 2–13. doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.11.008
- Department of Fisheries. (2023). *Statistics of freshwater aquaculture production for the year 2022*. Accessed January 15, 2024. Retrieved from: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20230725093333_1_file.pdf. (in Thai)
- Dey, M. M., & Gupta, M. V. (2000). Socioeconomics of disseminating genetically improved Nile tilapia in Asia: An introduction. *Aquaculture Economics and Management*, 4(1-2), 5–11. doi:10.1080/13657300009380257.
- Docan, A., Cristea, V., Dediu, L., Mocanu, M., & Grecu, I. (2011). The impact of level of the stocking density on the haematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society*, 4(4), 536–541.
- d'Orbcastel, E. R., Blancheton, J. P., & Aubin, J. (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: comparison between two trout farming systems using life cycle assessment. *Aquacultural Engineering*, 40(3), 113–119. doi: 10.1016/j.aquaeng.2008.12.002.
- Empananza, E. J. M. (2009). Problems affecting nitrification in commercial RAS with fixed-bed biofilters for salmonids in Chile. *Aquacultural Engineering*, 41(2), 91–96. doi: 10.1016/j.aquaeng.2009.06.010.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *Handbook on enhancing the entrepreneurial capability of farmers*. FAO: Bangkok, Thailand.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020*. FAO: Rome, Italy.
- Good, C., Davidson, J., Welsh, C., Brazil, B., Snekvik, K., & Summerfelt, S. (2009). The impact of water exchange rate on the health and performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in water recirculation aquaculture systems. *Aquaculture*, 294 (1-2), 80–85. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.05.014.
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *Journal of Biological Chemistry*, 177(2), 751–766.
- Gullian-Klanian, M., & Arámburu-Adame, C. (2013). Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water exchange. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(1), 150–162. doi: 10.3856/vol41-issue1-fulltext-12.
- Hakuć-Blazowska, A., Turkowski, K., Czarkowski, T. K., Zarski, D., Krejszeff, S., Król, J., & Kupren, K. (2024). Optimizing Eurasian perch production: Innovative aquaculture in earthen ponds using RAS and RAMPS—economic perspective. *Animals (Basel)*, 14(21), 3100. doi: 10.3390/ani14213100.
- Jelkic, D., Opacak, A., Stevic, I., Ozimec, S., Jug-Dujakovic, J., & Safner, R. (2012). Rearing carp larvae (*Cyprinus carpio*) in closed recirculatory system (RAS). *Croatian Journal of Fisheries*, 70(1), 9–17.
- Kumkhong, S., Marandel, L., Plagnes-Juan, E., Veron, V., Panserat, S., & Boonanuntanasarn, S. (2021). Glucose injection into the yolk influences intermediary metabolism in adult Nile tilapia fed with high levels of carbohydrates. *Animal*, 15(9), 100347. doi:10.1016/j.animal.2021.100347.
- Lal, J., Vaishnav, A., Deb, S., Kashyap, S., Debbarma, P., Devati, Gautam, P., Pavankalyan, M., Kumari, K., & Verma, D. K. (2024). Re-circulatory aquaculture systems: a pathway to sustainable fish farming. *Archives of Current Research International*, 24(5), 799–810. doi:10.9734/acri/2024/v24i5756
- Li, X., Ji, L., Wu, L., Gao, X., Li, X., Li, J., & Liu, Y. (2019). Effect of

- flow velocity on the growth, stress and immune responses of turbot (*Scophthalmus maximus*) in recirculating aquaculture systems. *Fish and Shellfish Immunology*, 86, 1169–1176. doi: 10.1016/j.fsi.2018.12.066.
- Liu, B., Jia, R., Zhao, K., Wang, G., Lei, J., & Huang, B. (2017). Stocking density effects on growth and stress response of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared in land-based recirculating aquaculture system. *Acta Oceanologica Sinica*, 36(10), 31–38. doi:10.1007/s13131-017-0976-4.
- Malone, R. F., & Pfeiffer, T. J. (2006). Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 389–402. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.08.007.
- Mugwanya, M., Dawood, M. A. O., Kimera, F., & Sewilam, H. (2020). A review on recirculating aquaculture system: influence of stocking density on fish and crustacean behavior, growth performance, and immunity. *Annals of Animal Science*, 22(3), 873–884. doi:10.2478/aoas-2022-0014.
- Nuwansi, K. K. T., Verma, A. K., Tiwari, V. K., Prakash, C., & Chandrakant, M. (2017). Standardization of the stocking density ratios of Koi carp (*Cyprinus carpio* var. *koi*): Goldfish (*Carassius auratus*) in polyculture aquaponic recirculating system. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17, 1271–1278. doi: 10.4194/1303-2712-v17_6_20.
- Pal, G. K., & Pal, P. (2006). *Textbook Of Practical Physiology* (2nd Ed.). Chennai, India: Orient Longman Private Limited.
- Rawling, M. D., Merrifield, D. L., & Davies, S. J. (2009). Preliminary assessment of dietary supplementation of Sangrovit on red tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth performance and health. *Aquaculture*, 294(1-2), 118–122. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.05.005.
- Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J. P., & Belaud, A. (2009). Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: comparison with a flow-through system. *Aquacultural Engineering*, 40(3), 135–143. doi: 10.1016/j.aquaeng.2009.02.002.
- Sakunphun, S., Uppapong, K., Junkawee, T., Palas, P., & Roonreangjai, R. (2024). Enhancing community economy through a new value chain of red tilapia in Lum Nam Nan, Uttaradit Province, Thailand. *Area Based Development Research Journal*, 16(4), 329–345. doi: 10.48048/abcj.2024.329 (in Thai)
- Santos, G. A., Schrama, J. W., Mamaug, R. E. P., Rombout, J. H. W. M., & Verreth, J. A. J. (2010). Chronic stress impairs performance, energy metabolism and welfare indicators in European seabass (*Dicentrarchus labrax*): The combined effects of fish crowding and water quality deterioration. *Aquaculture*, 299(1-4), 73–80. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.11.018.
- Taufik, M., Ismail, T. I. T., Manan, H., Ikhwanuddin, M., Salam, A. I. A., Rahim, A. I. A., Ishak, A. N., Kamaruzzan, A. S., Draman, A. S., & Kasan, N. A. (2024). Synergistic effects of Recirculating Aquaculture System (RAS) with combination of clear water, probiotic and biofloc technology: A review. *Aquaculture and Fisheries*, 9(6), 883–892. doi: 10.1016/j.aaf.2023.07.006.
- Trinder, P. (1969). Determination of blood glucose using an oxidase-peroxidase system with a non-carcinogenic chromogen. *Journal of Clinical Pathology*, 22(2), 158–161. doi: 10.1136/jcp.22.2.158.
- Voight, G. L. (2000). *Hematology techniques and concepts for Veterinary technicians*. Iowa, United States: Iowa State University Digital Press.
- Wang, S., Jiang, Z., & Mousavi, S. E. (2019). Effect of seawater pH on selected blood biochemical parameters of juvenile turbot *Scophthalmus maximus* (Linnaeus, 1758). *Indian Journal of Fisheries*, 66(4), 78–83. doi:10.21077/ijf.2019.66.4.92173-10.
- Xue, B., Zhao, Y., Bi, C., Cheng, Y., Ren, X., & Liu, Y. (2022). Investigation of flow field and pollutant particle distribution in the aquaculture tank for fish farming based on computational fluid dynamics. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107243. doi: 10.1016/j.compag.2022.107243.
- Zhao, Y. P., Xue, B., Bi, C., Ren, X., & Liu, Y. (2022). Influence mechanisms of macro-infrastructure on micro-environments in the recirculating aquaculture system and biofloc technology system. *Reviews in Aquaculture*, 15(3), 991–1009. doi: 10.1111/raq.12713.

Research article

The effect of recirculating aquaculture system (RAS) on hematology water quality and growth performance of red tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*)

Nitchanan Chukerd Phutthaphorn Phumrojana and Suksan Kumkhong*

¹Department of Animal Science, Faculty of Science and Technology, Muban Chonbueang Rajabhat University, Chonbueang District, Ratchaburi Province, Thailand 70150

ARTICLE INFO

Article history

Received: 15 November 2024

Revised: 12 January 2025

Accepted: 11 April 2025

Online published: 13 May 2025

Keyword

Red tilapia

Recirculation water systems

Changing water system

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the performance of two aquaculture systems, changed fish tank water (CFT) and recirculating aquaculture systems (RAS), using 6 pounds of Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) per experimental unit. The initial body weight of the fish was 10.20±0.05 g, with 12 fish per pond, and the rearing period lasted 60 days. Parameters assessed included growth performance (final body weight [FBW], average daily gain [ADG], specific growth rate [SGR], feed conversion ratio [FCR], and survival rate [SR]); hematology (red blood cell count [RBC], hemoglobin [Hb], hematocrit [Ht], glucose [Glu], triglyceride [TG], and total protein [TP]); and water quality (ammonia [NH₃], nitrite [NO₂⁻], nitrate [NO₃⁻], total bacteria, *Vibrio* spp., yeast and fungi, and total suspended solids [TSS]). These were used as indicators for developing commercial aquaculture systems. At the end of the experiment, the RAS group showed significantly improved growth performance compared to the CFT group: FBW was 95.46±4.72 g, ADG was 1.59±0.08 g/day, SGR was 3.89±0.07 %/day, FCR was 1.56±0.07, and SR was 97.5±2.74%. Hematocrit (26.26±1.10%) and total protein (35.86±1.38 g/L) were also significantly higher in the RAS group than in the CFT group, which had Ht and TP values of 23.08±1.22% and 32.57±0.34 g/L, respectively ($p<0.05$). Additionally, the RAS system showed significantly lower levels of NO₃⁻ and TSS compared to the CFT system ($p<0.05$), without significant differences in microbial populations between the two systems ($p>0.05$). Therefore, culturing Red Tilapia in a RAS can enhance growth performance, feed utilization, and survival rate. Furthermore, the RAS can reduce NO₃⁻ and TSS levels as well as water usage, without compromising water quality.

*Corresponding author

E-mail address: suksankum@mcru.ac.th (S. Kumkhong)

Online print: 13 May 2025 Copyright © 2025. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2025.8>