BSJ
BURAPHA SCIENCE JOURNAL
ISSN 2985-0983 (online)

วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 30 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2568
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 30 (No.2) May – August 2025 บทความวิจัย

ดุลไนโตรเจนของการเลี้ยงปลาช่อนแบบหนาแน่นในบ่อดินภายใต้ความถี่การถ่ายน้ำที่แตกต่างกัน กรณีศึกษา : กลุ่มสหกรณ์ประมงและการแปรรูปอ่างทอง

Nitrogen Balance of Intensive Snakehead Fish Culture in Earthen Ponds under Different Water Exchange Frequencies: a Case Study of Ang Thong Fisheries and Processing Cooperative

สุภาวดี โกยดุลย์[1*], เจษฎา อิสเหาะ[1] และ จันทร์สว่าง งามผ่องใส[2]

Supavadee Koydon[1*], Jesada Is-haak[1] and Chansawang Ngamphongsai[2]

[1] *คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา หันตรา ประเทศไทย*

[2] *ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย ปทุมธานี ประเทศไทย*

[1] *Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology, Suvarnabhumi, Ayuthaya, Huntra, Thailand*

[2] *National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Thailand Science Park, Pathum Thani, Thailand*

Received : 4 April 2025, Received in revised form : 28 May 2025, Accepted : 31 May 2025

Available online : 18 June 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : การเลี้ยงปลาช่อนแบบหนาแน่นในบ่อดินของเกษตรกรในจังหวัดอ่างทอง ไม่มีระบบการเติมอากาศ เกิดการสะสมของเสียตามระยะเวลาในการเลี้ยง จึงต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วยปริมาตรและความถี่ที่แตกต่างกัน น้ำทิ้งที่ปล่อยมักมีสารประกอบไนโตรเจนสูง โดยเฉพาะแอมโมเนียและไนเตรท ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากขาดข้อมูลการจัดการความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ศึกษาผลของความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับต่อผลผลิตรวมของปลาช่อน และการเปลี่ยนแปลงดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาช่อนแบบหนาแน่นในบ่อดินที่มีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย : วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยแบ่งความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ระบบการเลี้ยงปลาช่อนที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง (T1), ชุดการทดลองที่ 2 สัปดาห์ละ 2 ครั้ง (T2) และ ชุดการทดลองที่ 3 สัปดาห์ละ 3 ครั้ง (T3) ทำการทดลองแต่ละชุดจำนวน 3 ซ้ำ ทดลองในบ่อดิน ขนาด 1 ไร่ (1,600 ตารางเมตร) เติมน้ำลึก 150 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 2,400 ลูกบาศก์เมตร ปล่อยปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (±SD) 5.01 ± 0.87- 5.47 ± 0.69 กรัม ในอัตราความหนาแน่น 10,000 ตัว/บ่อ (6.25 ตัว/ตารางเมตร) เก็บข้อมูล น้ำหนักปลารวม ปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ข้อมูลปริมาณตะกอน และข้อมูลปริมาณไนโตรเจนรวมในอาหาร น้ำ ตัวปลาและดินตะกอน และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณดุลไนโตรเจน

ผลการวิจัย : พบว่า น้ำหนักปลารวมสุดท้ายเฉลี่ย (±SD) ของ T2 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ครั้ง/สัปดาห์) (9,000.00 ± 17.65 กิโลกรัม) และ T3 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ครั้ง/สัปดาห์) (9,137.00 ± 11.25 กิโลกรัม) มีผลผลิตที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับ T1 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์) (8,600.00 ± 15.14 กิโลกรัม) ส่วนปริมาณอาหารที่ใช้ใน

การเลี้ยงปลาของทั้งสามชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยของปลาใน T2 (1.536 ± 0.001) และ T3 (1.500 ± 0.001) มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับ T1 (1.603 ± 0.002) ดุลไนโตรเจนในการเลี้ยงปลาช่อนที่มีระบบการจัดการต่างกัน 3 ระบบ พบว่าปริมาณไนโตรเจนในบ่อมีแหล่งที่มาจาก อาหารปลา ดินพื้นบ่อ และน้ำเลี้ยงปลา ตามลำดับ แหล่งที่มาหลักของไนโตรเจนในบ่อปลาของทั้งสามชุดการทดลอง มาจากอาหารปลา โดย T1 มีปริมาณไนโตรเจนจากน้ำที่เติมเข้าบ่อ 4.1 ± 1.12 เปอร์เซ็นต์ ละลายออกมาจากดิน 12.7 ± 2.61 เปอร์เซ็นต์ และจากอาหารปลา 83.2 ± 4.17 เปอร์เซ็นต์ T2 มีปริมาณไนโตรเจนจากน้ำที่เติมเข้าบ่อ 5.7 ± 1.04 เปอร์เซ็นต์ ละลายออกมาจากดิน 14.0 ± 1.00 เปอร์เซ็นต์ และจากอาหารปลา 80.3 ± 2.18 เปอร์เซ็นต์ T3 มีปริมาณไนโตรเจนจากน้ำที่เติมเข้าบ่อ 5.2 ± 1.32 เปอร์เซ็นต์ ละลายออกมาจากดิน 13.8 ± 2.15 เปอร์เซ็นต์ และจากอาหารปลา 81.0 ± 1.83 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่มาของไนโตรเจนจากน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาพบว่า ใน T2 และ T3 มีปริมาณไนโตรเจนนำเข้าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับ T1 ในขณะที่แหล่งที่มาของไนโตรเจนที่ละลายออกมาจากดินในบ่อ พบว่า ทั้งสามชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) สำหรับแหล่งที่มาของไนโตรเจนจากอาหารปลา พบว่า ใน T1 มีปริมาณไนโตรเจนนำเข้าจากอาหารปลาสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับ T2 และ T3 ส่วนการสูญเสียไนโตรเจนในบ่อ โดยการสะสมในตัวปลา ในดินเลน ในน้ำทิ้ง และอื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุได้ (non-detected) แหล่งที่สูญเสียไนโตรเจนหลักในบ่อปลาของทั้งสามชุดการทดลอง คือการสะสมในตัวปลา ในขณะที่ T1 มีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจาก น้ำทิ้ง 22.1 ± 2.83 เปอร์เซ็นต์ ในตัวปลา 35.0 ± 2.12 เปอร์เซ็นต์ ในดินเลน 35.2 ± 2.44 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ 12.8 ± 3.80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ T2 มีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจาก น้ำทิ้ง 19.5 ± 2.33 เปอร์เซ็นต์ ในตัวปลา 28.6 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ในดินเลน 30.1 ± 3.61 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ 16.7 ± 4.33 เปอร์เซ็นต์ ส่วน T3 มีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจาก น้ำทิ้ง 17.8 ± 4.02 เปอร์เซ็นต์ ในตัวปลา 38.4 ± 3.17 เปอร์เซ็นต์ ในดินเลน 27.4 ± 1.78 เปอร์เซ็นต์ และและอื่น ๆ 16.4 ± 4.12 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อโดยการปล่อยน้ำทิ้ง พบว่า ใน T1 มีปริมาณไนโตรเจนสูญเสียออกจากบ่อสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับ T2 และ T3 เป็นเช่นเดียวกันกับการสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อโดยการสะสมในดินเลนพื้นบ่อและการสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อทางอื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุได้ ในทางกลับกันการสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อโดยการสะสมอยู่ในตัวปลา พบว่า ใน T3 มีปริมาณไนโตรเจนสูญเสียสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับ T1 และ T2

สรุปผลการวิจัย : ในการเลี้ยงปลาช่อนแบบหนาแน่นในบ่อดินที่มีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระบบ พบว่าปลาใน T2 และ T3 (ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 และ 3 ครั้ง/สัปดาห์) มีน้ำหนักปลารวมสุดท้ายสูงกว่า และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่า ปลาใน T1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนแหล่งที่มาหลักของไนโตรเจนในบ่อปลามาจากอาหารปลาเฉลี่ย (±SD) อยู่ในช่วง 80.3 ± 2.18 - 83.2 ± 4.17 เปอร์เซ็นต์และการสูญเสียไนโตรเจนออกไปจากบ่อในรูปของตัวปลาเฉลี่ย (±SD) อยู่ในช่วง 35.0 ± 2.12 - 38.4 ± 3.1 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาช่อนแบบหนาแน่นในบ่อดิน คือ 2 ครั้ง/สัปดาห์

คำสำคัญ : ดุลไนโตรเจน ; การเปลี่ยนถ่ายน้ำ; การเลี้ยงแบบหนาแน่น ; ปลาช่อน

Abstract

Background and Objectives : An intensive snakehead fish culture in earthen ponds in Ang Thong province are reared without any aeration system. Waste accumulation occurs according to the culture period. Therefore,

the water must be exchanged with different volumes and frequencies. The discharged effluent is usually high in nitrogen compounds, especially ammonia and nitrate. These affected the water quality in natural water resources and the environment. Due to the lack of information on the optimal water exchange frequency for fish growth, in this study, the effect of 3 different water exchange frequencies on the total yield of snakehead fish and nitrogen balance changes in intensive snakehead fish culture in earthen ponds with different water exchange frequencies were studied.

Methodology: The completely randomized design consisted of 3 treatments, which were 3 systems of water exchange frequencies: Treatment 1, snakehead fish farming system with water exchange once a week (T1); Treatment 2, twice a week (T2); and Treatment 3, three times a week (T3). Each treatment contained 3 replicates. The experimental units were 1 rai (1,600 m^2) earthen ponds, filled with water at 150 cm depth and a total water volume of 2,400 m^3. The fish with an average initial weight (±SD) of 5.01 ± 0.87- 5.47 ± 0.69 g were stocked at the density of 10,000 fish/pond (6.25 fish/m^2). The data of total fish weight and total feed were recorded. Water quality, sediment, and total nitrogen in feed, water, fish and sediment were analyzed; the data obtained were then used to calculate the nitrogen budget.

Main Results : The result showed that the average final total fish weight (±SD) of T2 (water exchange 2 times/week) (9,000.00 ± 17.65 kg) and T3 (water exchange 3 times/week) (9,137.00 ± 11.25 kg) had significantly higher yield (p<0.05) than that of T1 (water exchange 1 time/week) (8,600.00 ± 15.14 kg). There was no statistically significant difference (p>0.05) in the total feed used in fish rearing in all three treatments. In addition, the average feed conversion ratio (FCR) in T2 (1.536 ± 0.001) and T3 (1.500 ± 0.001) were significantly lower (p<0.05) than that of T1 (1.603 ± 0.002). The nitrogen budget in snakehead fish culture with three different management systems showed that the nitrogen sources were fish feed, sediment and water, respectively. The main source of nitrogen in the fish ponds was fish feed. The percentages of nitrogen in T1 from water, sediment, and fish feed were 4.1 ± 1.12, 12.7 ± 2.61 and 83.2 ± 4.17%, respectively. Whereas in T2, the nitrogen from water, sediment, and fish feed were 5.7 ± 1.04, 14.0 ± 1.00 and 80.3 ± 2.18%, respectively. As well as, in T3, the nitrogen from water, sediment, and fish feed were 5.2 ± 1.32, 13.8 ± 2.15 and 81.0 ± 1.83%, respectively. The source of nitrogen from water filled into the ponds, was found to be that T2 and T3 had significantly higher (p<0.05) nitrogen percentages than T1, while there were no significant differences (p>0.05) among the nitrogen percentages from the sediment in all 3 treatments. As for the nitrogen from fish feed, T1 had a significantly higher (p<0.05) percentage of nitrogen than those of T2 and T 3. For nitrogen loss from the fish ponds, there was accumulation in fish, sediment, effluent, and others that was non-detected. The main loss of nitrogen from the fish ponds of all 3 treatments was accumulation in fish. As in T1, the nitrogen loss from effluent, fish, sediment and others were 22.1±2.83, 35.0±2.12, 30.1±3.61 and 12.8±3.80 %, respectively. For T2, the nitrogen loss from effluent, fish, sediment and others were 19.5 ± 2.33,

35.2±2.44, 28.6±1.65 and 16.7 ± 4.33 %, respectively. In addition, in T3 the nitrogen loss from effluent, fish, sediment and others were 17.8 ± 4.02, 38.4 ± 3.17, 27.4 ± 1.78 and 16.4 ± 4.12 %, respectively. Nitrogen loss from fish ponds by accumulation in effluent, it was found that in T1, the percentage of nitrogen loss was significantly higher (p<0.05) than those of T2 and T3. The same results were found in nitrogen loss by accumulation in sediment and others. On the other hand, by accumulation in fish, the nitrogen loss of T3 was significantly higher (p<0.05) than those of T1 and T2.

Conclusions : The intensive culture of snakehead fish in earthen ponds with three different water exchange frequencies showed that the fish in T2 and T3 (the water exchange 2 and 3 times/week) had significantly (p<0.05) higher final total fish weight and lower feed conversion ratio than that of the fish in T1. The main source of nitrogen in the fish ponds was from the fish feed, which had an average nitrogen content (±SD) of between 80.3 ± 2.18 and 83.2 ± 4.17%. In addition, the main nitrogen loss from the fish ponds was the fish, which had an average nitrogen content (±SD) of between 35.0 ± 2.12 and 38.4 ± 3.1%. The optimal water exchange frequencies for an intensive snakehead fish culture in earthen ponds were twice a week.

Keywords : nitrogen balance; water exchange; intensive culture system; snakehead fish

Introduction

ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น มีการสะสมของของเสียประเภทสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย และไนไตรท์ ที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมและอาหารที่เหลือจากการกิน ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง สารประกอบไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำควรน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อคำนวณในรูปของ NH_3 พบว่า ระดับที่ปลอดภัยสำหรับปลาช่อน คือ 0.54 มิลลิกรัม/ลิตร ในสภาวะที่มีความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเท่ากับ 8.0 (Qin *et al*., 1997) แต่อย่างไรก็ตามสัตว์น้ำที่ได้รับปริมาณแอมโมเนียในระดับความเข้มข้นต่ำ เป็นระยะเวลานาน ส่งผลต่อ เนื้อเยื่อเหงือก ไต ตับ ทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำลดลง (Barbieri & Doi, 2012) และเพิ่มอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลา (Is-haak *et al*., 2022) ส่วนไนไตรท์ที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่า 12 มิลลิกรัม/ลิตร จัดเป็นระดับที่ปลอดภัยสำหรับปลาช่อน (Phu *et al*., 2022) ส่วนความเป็นพิษเรื้อรังของไนไตรท์ส่งผลต่อกระบวนการทางชีวภาพในปลาหลายด้าน เช่น เนื้อเยื่อเหงือก องค์ประกอบในเลือด และความสมดุลของอิออนในเลือด ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระลดลง และตัวชี้วัดต่อความเครียดเพิ่มระดับขึ้น เป็นต้น (Kim *et al*., 2022; Kajimura *et al*., 2023; Shen *et al*., 2024) แหล่งของไนโตรเจนหลักที่นำเข้าสู่บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น คือ อาหารปลา จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในการเลี้ยงปลาน้ำจืด อาหารที่ใช้เลี้ยงปลาเป็นแหล่งของไนโตรเจนหลักที่เติมลงในบ่อสูงถึง 50-90 เปอร์เซ็นต์ (Dalbem *et al*., 2024) แต่ในระบบการเลี้ยงแบบกึ่งหนาแน่นที่ผสมผสานระหว่างการใส่ปุ๋ยร่วมกับการให้อาหารพบว่า สัดส่วนแหล่งของไนโตรเจนหลักจากอาหารสูงถึง 73 เปอร์เซ็นต์ (Rutegwa *et al*., 2019) หรือการศึกษาของ Yan *et al*. (2024) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาช่อนลูกผสม (*Channa maculata* (♀)×*Channa argus* (♂)) พบว่าบริเวณพื้นบ่อจะพบ แบคทีเรียกลุ่มที่ก่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (ออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน) โดยแบคทีเรียที่ดินพื้นบ่อจะดึงไนเตรทที่มีในน้ำเข้าไป

ในเซลล์ และเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียกลุ่ม ammonia oxidizing bacteria (AOB) ในปริมาณที่สูงทั้งในน้ำและตะกอนดิน ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนไนโตรเจนในอาหาร และปล่อยแอมโมเนียออกมา ส่งผลให้ในน้ำมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูงขึ้น ซึ่งเป็นพิษต่อปลา และส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลาในบ่อ การจัดการสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเปลี่ยนถ่ายน้ำ การเติมออกซิเจนลงในบ่อเลี้ยง การจัดการอาหารที่ใช้เลี้ยง และการใช้ระบบบำบัดและการกรองทางชีวภาพ เป็นต้น หนึ่งในเทคนิคที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาช่อนที่นิยมใช้คือ การเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยนำน้ำใหม่ที่มีคุณสมบัติของน้ำที่ดีกว่า มาเปลี่ยนทดแทนน้ำที่มีในบ่อ เพื่อลดของเสียที่มีในน้ำออกไป เพื่อควบคุมดัชนีคุณภาพน้ำในบ่อให้มีค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของสัตว์น้ำ เช่น การศึกษาของ Ho & Ho (2004) ได้ใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง (*Fenneropenaeus chinensis*, Korean shrimp) รายงานว่า ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ส่งผลต่อค่าดัชนีคุณภาพน้ำในบ่อและผลผลิตของกุ้ง ในระหว่างการเลี้ยงหรือสิ้นสุดการเลี้ยง มีการปล่อยน้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ หรือสูบน้ำเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตสัตว์น้ำ ซึ่งน้ำทิ้งเหล่านี้มีสารประกอบไนโตรเจนสูง โดยเฉพาะแอมโมเนียและไนเตรท ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต่อสมดุลของระบบนิเวศ ทำให้คุณภาพน้ำแย่ลง และเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Herath & Satoh, 2022) ดังนั้นต้องมีการจัดการของเสียประเภทสารประกอบไนโตรเจนที่มีในน้ำของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเพิ่มออกซิเจน และการจัดการด้านอาหารเพื่อเพิ่มผลผลิตของปลา ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความยั่งยืนแก่อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Chiquito-Contreras *et al*., 2022; Golder, 2022)

ปลาช่อนเป็นหนึ่งในสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย มีผลผลิตในปี 2558 ประมาณ 5,968 ตัน (Sampantamit *et al*., 2020) จังหวัดอ่างทองเป็นจังหวัดที่มีผลผลิตปลาช่อนอันดับต้น ๆ ของประเทศ ซึ่งข้อมูลผลผลิตปลาช่อนจากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มสหกรณ์ประมงและการแปรรูปอ่างทอง ตำบลห้วยคันแหลน อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง ในปี 2563 ประมาณ 850 ตันต่อปี ซึ่งระบบการเลี้ยงของเกษตรกรกลุ่มนี้เป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่น โดยเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดที่มีโปรตีนสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีระบบเติมอากาศในบ่อเลี้ยง มีการจัดการด้วยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อสัปดาห์ หรือบางรายอาจจะเพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็น 2 ครั้ง/สัปดาห์ (20 เปอร์เซ็นต์ต่อสัปดาห์) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับต่อผลผลิตรวมของปลาช่อน และการเปลี่ยนแปลงดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาช่อนแบบหนาแน่นในบ่อดินที่มีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่างกัน โดยข้อมูลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำประยุกต์ใช้ในการจัดการระบบการเลี้ยงปลาช่อนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านเพิ่มผลผลิต และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Methodlogy

ปัจจัยที่ศึกษา

วางแผนแบบสุ่มตลอดอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง (treatment) คือ ชุดการทดลองที่ 1 ระบบการเลี้ยงปลาช่อนที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่ 2 ระบบ

การเลี้ยงปลาช่อนที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง และ ชุดการทดลองที่ 3 ระบบการเลี้ยงปลาช่อนที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ

การเตรียมบ่อทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลอง ณ ฟาร์มเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาช่อนจำนวน 3 ราย ซึ่งทั้งสามฟาร์มตั้งอยู่ในพื้นที่บริเวณเดียวกัน ในตำบลห้วยคันแหลน อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง บ่อทดลองเป็นบ่อดินขนาด 1 ไร่ (1,600 ตารางเมตร) จำนวน 9 บ่อ ก่อนทำการทดลองได้ดูดเลนพื้นบ่อที่ผ่านการเลี้ยงปลาออกจนหมด จากนั้นสูบน้ำจากคลองชลประทาน กรองน้ำผ่านถุงตาข่ายสีฟ้าที่มีขนาดตาจำนวน 20 ช่องตาต่อตารางนิ้ว โดยซ้อนถุงกรอง 2 ชั้นเพื่อป้องกันศัตรูปลาเข้ามาในบ่อ เติมน้ำลึกเฉลี่ย 1.50 เมตร/บ่อ ปริมาตรน้ำในบ่อเท่ากับ 2,400 ลูกบาศก์เมตร

การเตรียมปลาทดลอง

ลูกปลาช่อนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นปลาจากฟาร์มเอกชน ในจังหวัดนครปฐม คัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จำนวน 90,000 ตัว ปล่อยลูกปลาช่อนจำนวน 10,000 ตัวต่อบ่อ (อัตราความหนาแน่น 6.25 ตัว/ตารางเมตร) เมื่อเริ่มการทดลองได้สุ่มลูกปลาจำนวน 50 ตัวต่อบ่อ เพื่อลดความบอบช้ำและลดความเครียดของปลาในระหว่างการสุ่ม นำปลาที่สุ่มมาชั่งน้ำหนักลูกปลาด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำข้อมูลลูกปลาที่ชั่งน้ำหนักของทุกบ่อไปคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยพบว่าลูกปลามีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (±SD) เท่ากับ 5.01 ± 0.87- 5.47 ± 0.69 กรัม

การทดลอง

การจัดการด้านอาหาร: ให้อาหารปลาวันละ 2 มื้อ ช่วงเช้าเวลา 8.30-9.00 นาฬิกา และ ช่วงเย็นเวลา 16.00-16.30 นาฬิกา โดยให้อาหารในอัตรา 5-6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาต่อวัน อาหารที่ใช้ในการทดลอง คือ อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ และใช้อาหารปลาที่ผลิตโดยบริษัทเดียวกันตลอดการทดลอง

การจัดการด้านการเปลี่ยนถ่ายน้ำ: มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตามชุดการทดลองที่กำหนด โดยการเอียงท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้วในบ่อเพื่อระบายน้ำออกจากบ่อประมาณ 10 เซนติเมตร คิดเป็น 160 ลูกบาศก์เมตร แล้วสูบน้ำใหม่เข้าไปในบ่อ ส่วนในชุดการทดลองที่ 2 การเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง (วันอาทิตย์และพุธ) คิดเป็นปริมาตรน้ำรวมที่เปลี่ยนถ่าย 320 ลูกบาศก์เมตร/สัปดาห์ และในชุดการทดลองที่ 3 เปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 3 ครั้ง (วันอาทิตย์ พุธ และศุกร์) คิดเป็นปริมาตรน้ำรวมที่เปลี่ยนถ่าย 480 ลูกบาศก์เมตร/สัปดาห์ ระยะเวลาในการเลี้ยง 6 เดือน

การเก็บข้อมูลและการคำนวณข้อมูล

เก็บข้อมูลผลผลิตปลา: เก็บข้อมูล น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักปลารวม และปริมาณอาหารที่ปลากินทั้งหมด นำข้อมูลไปคำนวนหาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ: โดยเก็บตัวอย่าง น้ำที่ใช้เลี้ยง น้ำในบ่อเลี้ยง และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงทุกเดือน โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเวลา 8.00 นาฬิกา เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวมตามวิธีของ AOAC (2000) นำข้อมูลไนโตรเจนที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 1

การศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในบ่อ: โดยกำหนดตำแหน่งจุดเก็บข้อมูลความลึกของตะกอนเลนพื้นบ่อ จำนวน 5 จุด/บ่อ โดยใช้ท่อพีวีซีใสขนาด 8 หุน ยาว 200 เซนติเมตร เหลาปลายท่อด้านหนึ่งให้แหลม 15 เซนติเมตร โดยใช้สายวัด (measuring tape) ยึดติดกับท่อเป็นมาตราส่วนในการวัด ปักท่อพีวีซีลงในดินในบ่อ จำนวน 5 จุด/บ่อ ติดตั้งทิ้งไว้เมื่อครบ 1 เดือน จากนั้นปิดฝาท่อด้านบน และดึงท่อขึ้นมาสู่ผิวน้ำเพื่ออ่านค่าความลึกของเลน โดยสามารถอ่านค่าได้จากสายวัดที่

ยึดติดกับท่อ ตรวจวัดระดับความลึกของตะกอนดินเลนบริเวณพื้นบ่อทุกเดือนจนสิ้นสุดการเลี้ยงปลา เพื่อนำข้อมูลความลึกไปคำนวณหาปริมาตรของตะกอนดินพื้นบ่อดังสมการที่ 3 และเก็บตัวอย่างดินในบ่อจำนวน 5 จุด/บ่อ นำตัวอย่างผสมรวมกันเป็นตัวแทนของบ่อ แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบไนโตรเจน ตามวิธีของ AOAC (2000) นำข้อมูลไนโตรเจนที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 2

เก็บตัวอย่างอาหารปลา: จำนวน 50 กรัมจากแต่ละบ่อ ทุกเดือน โดยตลอดการเลี้ยงได้ใช้อาหารปลาที่ผลิตจากบริษัทเดียวกัน นำตัวอย่างมาผสมรวมกันแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวมตามวิธีของ AOAC (2000) นำข้อมูลไนโตรเจนที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 4

เก็บตัวอย่างปลา: เมื่อเริ่มทดลองเก็บตัวอย่างปลาจำนวน 50 ตัวต่อบ่อ หลังจากนั้นระหว่างการเลี้ยงปลา สุ่มเก็บตัวอย่างปลาทุกเดือนจำนวน 25 ตัวต่อบ่อ นำปลามาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วทำให้ปลาตายอย่างรวดเร็วโดยแช่ในน้ำเย็นจัดแช่น้ำแข็ง จากนั้นนำตัวอย่างที่แช่แข็งไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในตัวปลาในห้องปฏิบัติการต่อไป ตามวิธีของ AOAC (2000) นำข้อมูลไนโตรเจนที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 5

ปริมาณไนโตรเจน จากน้ำเข้าสู่บ่อ หรือ น้ำที่ถ่ายทิ้งออกจากบ่อ (Total Nitrogen in Water, TNW; kg)

$$TNW = (CNW \times V) \times 10^{-3} \quad (1)$$

CNW คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้ในน้ำ (mg/L หรือ gram/m^3)

V คือ ปริมาตรน้ำในบ่อเลี้ยงปลา หรือ ปริมาตรน้ำที่ถ่ายทิ้งออกจากบ่อรวมทั้งหมด (m^3)

ปริมาณไนโตรเจนจากตะกอนดินพื้นบ่อ (Total Nitrogen in Soil, TNS; kg)

$$TNS = (CNS \times TOM) \quad (2)$$

CNS คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้จากตะกอนดินพื้นบ่อ (%)

TOM คือ ปริมาตรของตะกอนดินพื้นบ่อ (kg) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

ปริมาตรของตะกอนดินพื้นบ่อ (Total organic matter, TOM; kg)

$$TOM = (OMD \times PA) \times 1000 \quad (3)$$

OMD คือ ความลึกของตะกอนดินเลนเฉลี่ย (เมตร)

PA คือ พื้นที่ของบ่อ (ตารางเมตร)

ปริมาณไนโตรเจนจากอาหาร (Total Nitrogen in Feed, TNFeed; kg)

$$TNFeed = (CNFeed \times TF) \times 10^{-2} \quad (4)$$

CNFeed คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้จากอาหาร (%)

TF คือ จำนวนอาหารทั้งหมดที่ใช้เลี้ยงปลา (kg)

ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในตัวปลา (Total Nitrogen in Fish, TNFish; kg)

$$TNFish = (CNFish \times FP) \times 10^{-2} \quad (5)$$

CNFish คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากเนื้อปลา (%)

FP คือ ผลผลิตปลารวมทั้งบ่อ (kg)

จากนั้นนำข้อมูลปริมาณไนโตรเจนที่ป้อนเข้าสู่บ่อ และที่สูญเสียออกไปจากบ่อ มาคำนวณหาดุลของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นภายในบ่อเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลผลผลิตปลารวมทั้งหมด ปริมาณอาหารที่ปลากินทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนที่เติมลงในบ่อ และข้อมูลปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียออกจากบ่อ ของทั้ง 3 ชุดการทดลอง มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบ one way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ ($p<0.05$)

สถานที่และช่วงระยะเวลาทำการทดลอง

ทดลองเลี้ยงปลาช่อนที่ฟาร์มของเกษตรกร ซึ่งเป็นสมาชิกกลุ่มสหกรณ์ประมงและการแปรรูปอ่างทอง ตั้งอยู่ที่ตำบลห้วยคันแหลน อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทองและสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ระหว่างเดือน พฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2564

Results

ข้อมูลผลผลิตปลา พบว่า น้ำหนักปลารวมสุดท้ายเฉลี่ย (±SD) ของชุดการทดลองที่ 2 (9,000.00 ± 17.65 กิโลกรัม) และ 3 (9,137.00 ± 11.25 กิโลกรัม) มีผลผลิตที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 1 (8,600.00 ± 15.14 กิโลกรัม)

ส่วนปริมาณอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลาของทั้งสามชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดัง Table 1 และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยของปลาในชุดการทดลองที่ 2 (1.536 ± 0.001) และ 3 (1.500 ± 0.001) มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 1 (1.603 ± 0.002) แสดงให้เห็นว่าปลาในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 ดัง Table 1

ดุลไนโตรเจนในการเลี้ยงปลาช่อนที่มีระบบการจัดการต่างกัน 3 ระบบ เมื่อพิจารณาแหล่งที่มาของไนโตรเจน พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนจากน้ำที่เติมเข้าบ่อ 4.1 ± 1.12 เปอร์เซ็นต์ ละลายออกมาจากดิน 12.7 ± 2.61 เปอร์เซ็นต์ และจากอาหารปลา 83.2 ± 4.17 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนจากน้ำที่เติมเข้าบ่อ 5.7 ± 1.04 เปอร์เซ็นต์ ละลายออกมาจากดิน 14.0 ± 1.00 เปอร์เซ็นต์ และจากอาหารปลา 80.3 ± 2.18 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนจากน้ำที่เติมเข้าบ่อ 5.2 ± 1.32 เปอร์เซ็นต์ ละลายออกมาจากดิน 13.8 ± 2.15

เปอร์เซ็นต์ และจากอาหารปลา 81.0 ± 1.83 เปอร์เซ็นต์ พบว่า แหล่งที่มาหลักของไนโตรเจนในบ่อปลาของทั้งสามชุดการทดลอง มาจากอาหารปลา ดัง Table 2 และ Figure 1

Table 1 Total yield, total fish feed and FCR of snakehead fish cultured at 3 different water exchange frequencies

Parameters	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3
Total yield (kg)	8,600.00 ± 15.14[b]	9,000.00 ± 17.65[a]	9,137.00 ± 11.25[a]
Total fish feed (kg)	13,790.00 ± 11.35[a]	13,820.00 ± 17.33[a]	13,706.50 ± 6.92[a]
FCR	1.603 ± 0.002[b]	1.536 ± 0.001[a]	1.500 ± 0.001[a]

Note: The superscript letters indicate comparisons among the means within the same row. Values with the same superscript letters are not significantly different (p>0.05).

แหล่งที่มาของไนโตรเจนจากน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาพบว่า ในชุดการทดลองที่ 2 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ครั้ง/สัปดาห์) และ ชุดการทดลองที่ 3 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ครั้ง/สัปดาห์) มีปริมาณไนโตรเจนนำเข้าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 1 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์)

แหล่งที่มาของไนโตรเจนที่ละลายออกมาจากดินในบ่อเลี้ยง พบว่า ทั้งสามชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

แหล่งที่มาของไนโตรเจนที่จากอาหารปลา พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์) มีปริมาณไนโตรเจนนำเข้าจากอาหารปลาสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ครั้ง/สัปดาห์) และ ชุดการทดลองที่ 3 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ครั้ง/สัปดาห์)

เมื่อพิจารณาการสูญเสียไนโตรเจนจากบ่อ พบว่า มาจาก 4 แหล่งคือ น้ำทิ้งที่เปลี่ยนถ่ายออกจากบ่อ สะสมในตัวปลาที่จับ สะสมในดินเลนพื้นบ่อ และอื่น ๆ ที่ไม่สามารถระบุแหล่งได้ (Non detected) สำหรับชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจาก น้ำทิ้ง 22.1 ± 2.83 เปอร์เซ็นต์ ในตัวปลา 35.0 ± 2.12 เปอร์เซ็นต์ ในดินเลน 30.1 ± 3.61 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ 12.8 ± 3.80 เปอร์เซ็นต์ ในชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจาก น้ำทิ้ง 19.5 ± 2.33 เปอร์เซ็นต์ ในตัวปลา 35.2 ± 2.44 เปอร์เซ็นต์ ในดินเลน 28.6 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ 16.7 ± 4.33 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียจาก น้ำทิ้ง 17.8 ± 4.02 เปอร์เซ็นต์ ในตัวปลา 38.4 ± 3.17 เปอร์เซ็นต์ ในดินเลน 27.4 ± 1.78 เปอร์เซ็นต์ และและอื่น ๆ 16.4 ± 4.12 เปอร์เซ็นต์ พบว่า แหล่งไนโตรเจนหลักที่สูญเสียออกไปจากบ่อทั้งสามชุดการทดลอง สะสมอยู่ในตัวปลามากที่สุด ดัง *Table 2* และ Figure 2

การสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อโดยการปล่อยน้ำทิ้ง พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์) มีปริมาณไนโตรเจนสูญเสียออกจากบ่อ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ครั้ง/สัปดาห์) และ ชุดการทดลองที่ 3 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ครั้ง/สัปดาห์)

การสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อโดยการสะสมอยู่ในตัวปลาที่จับ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 3 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ครั้ง/สัปดาห์) มีปริมาณไนโตรเจนสูญเสียสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 1 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์) และ ชุดการทดลองที่ 2 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ครั้ง/สัปดาห์)

การสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อโดยการสะสมในดินเลนพื้นบ่อ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์) มีปริมาณไนโตรเจนสูญเสีย สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ครั้ง/สัปดาห์) และ ชุดการทดลองที่ 3 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ครั้ง/สัปดาห์)

การสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อทางอื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุแหล่งได้ (Non detected) พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์) มีปริมาณไนโตรเจนสูญเสียออกจากบ่อ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 ครั้ง/สัปดาห์) และ ชุดการทดลองที่ 3 (การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3 ครั้ง/สัปดาห์)

Table 2 Nitrogen balance changes throughout snakehead fish culture at 3 different water exchange frequencies

Parameters	Nitrogen (%)		
	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3
Nitrogen sources			
Water	4.1 ± 1.12^{b}	5.7 ± 1.04^{a}	5.2 ± 1.32^{a}
Soil	12.7 ± 2.61^{a}	14.0 ± 1.00^{a}	13.8 ± 2.15^{a}
Feed	83.2 ± 4.17^{a}	80.3 ± 2.18^{b}	81.0 ± 1.83^{b}
Nitrogen loss			
Discharge water	22.1 ± 2.83^{a}	19.5 ± 2.33^{b}	17.8 ± 4.02^{b}
Fish	35.0 ± 2.12^{b}	35.2 ± 2.44^{b}	38.4 ± 3.17^{a}
Soil	30.1 ± 3.61^{a}	28.6 ± 1.65^{b}	27.4 ± 1.78^{b}
Non detected	12.8 ± 3.80^{b}	16.7 ± 4.33^{a}	16.4 ± 4.12^{a}

Note: The superscript letters indicate comparisons among the means within the same row.
Values with the same superscript letters are not significantly different (p>0.05).

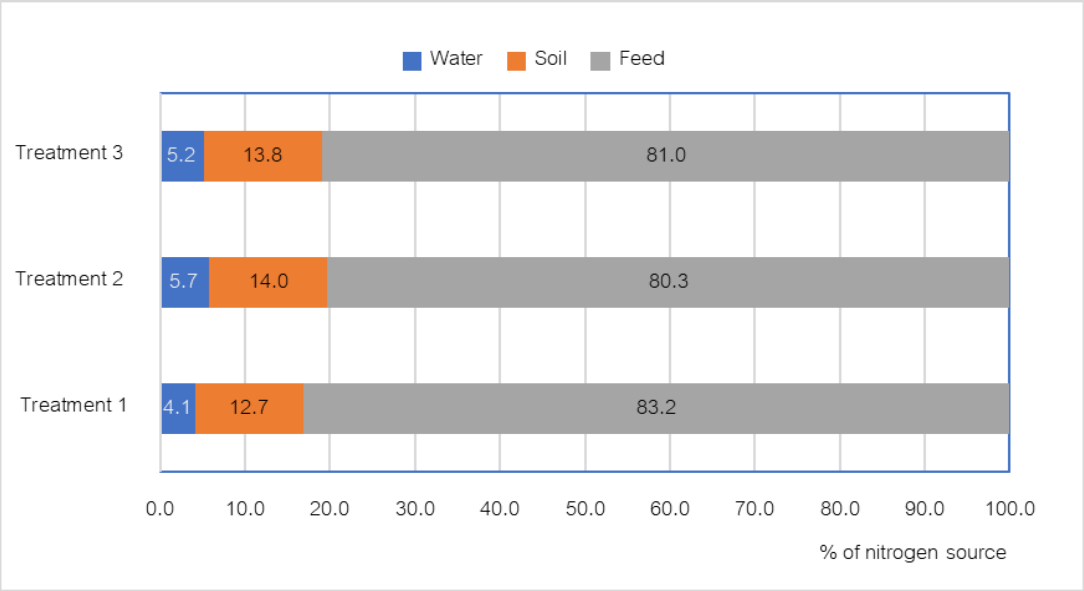

Figure 1 Nitrogen sources (%) changes throughout snakehead fish culture at 3 different water exchange frequencies

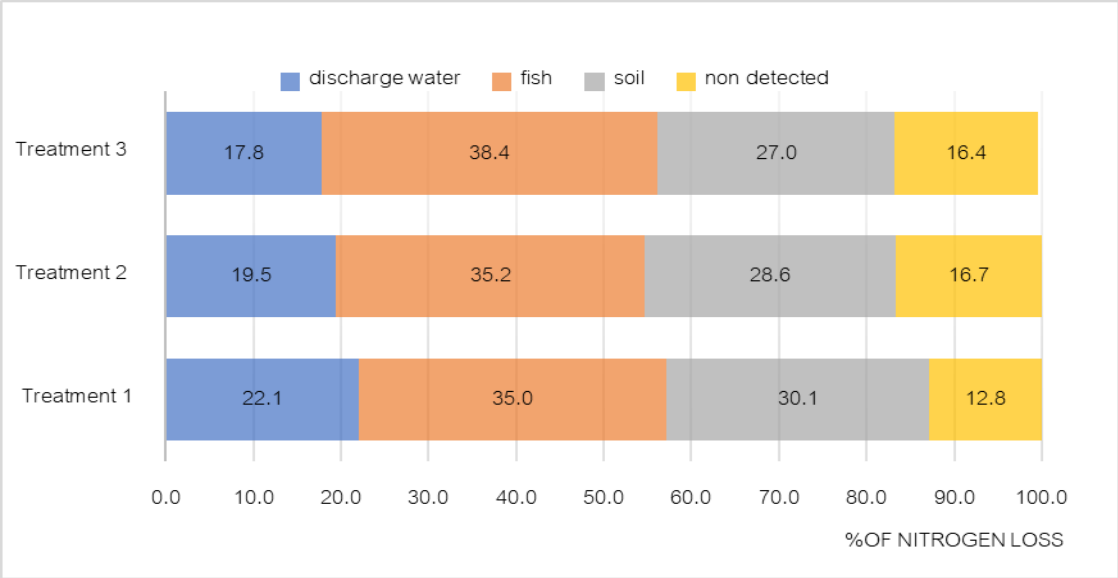

Figure 2 Nitrogen loss (%) changes throughout snakehead fish culture at 3 different water exchange frequencies

Discussion

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 และ 3 ครั้ง/สัปดาห์ ให้ผลการเจริญเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ดีที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับชุดการทดลองที่ 1 (เปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์) เนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ส่งผลให้ปริมาณของเสียหรือสารอาหารในน้ำลดลง ทำให้ดัชนีคุณภาพน้ำมีค่าเหมาะสมเช่น ค่าแอมโมเนีย ค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่วัดได้จากการทดลอง ส่งผลให้ปลา

เจริญเติบโตได้ดีกว่า นำอาหารที่กินไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ajiboye *et al.* (2015) ที่ทำการทดลองในปลาดุกยักษ์ (*Clarias gariepinus*) พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมากกว่า มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ได้แก่ น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน หรือในการศึกษาในลูกปลานิลระยะวัยรุ่น (*Oreochromis niloticus*) ที่พบว่าการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกๆ 4 วัน จะส่งผลให้ลูกปลามีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และสัดส่วนของลำตัว (body indices) ที่มีขนาดใหญ่กว่า ชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยกว่า (Dauda *et al.*, 2022) ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่า การตัดสินใจเลือกใช้ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่เหมาะสม เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงสารอาหารในน้ำและส่งเสริมสุขภาพโดยรวมและการเจริญเติบโตของปลาในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ดุลไนโตรเจนในการเลี้ยงปลาช่อนที่มีระบบการจัดการต่างกัน 3 ระบบ เมื่อพิจารณาถึงแหล่งที่มาหลักของไนโตรเจนที่นำเข้าสู่บ่อพบว่าในทุกชุดการทดลอง มาจากอาหารปลา (80.3 - 83.2เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ ละลายออกมาจากดินในบ่อ 12.7 - 13.8 เปอร์เซ็นต์ และในน้ำที่เติมเข้าบ่อ 4.1 - 5.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dalbem *et al.* (2024) พบว่าในการเลี้ยงปลาน้ำจืด อาหารที่ใช้เลี้ยงปลาเป็นแหล่งของไนโตรเจนหลักที่เติมลงในบ่อสูงถึง 50 - 90 เปอร์เซ็นต์ และการศึกษาของ Gross *et al.* (2000) รายงานว่าในการเลี้ยงปลาดุกอเมริกัน (channel catfish) พบว่าแหล่งนำเข้าไนโตรเจนหลักมาจาก อาหารที่ให้ปลากินสูงถึง 87.89 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือจากน้ำที่เติมลงไปในบ่อรวมทั้งน้ำฝน 10.23 เปอร์เซ็นต์ อันดับที่ 3 ปลาที่ปล่อยลงไปในบ่อ 1.83 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ ประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้สัดส่วนของแหล่งนำเข้าของไนโตรเจนในอันดับที่ 2 และ 3 อาจจะแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนจากตัวปลาที่ปล่อยมีสัดส่วนน้อยมาก เนื่องจากเกษตรกรปล่อยลูกปลาที่มีขนาดเล็กเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของลูกปลา จากการศึกษาครั้งนี้แหล่งที่มาของไนโตรเจนในอันดับที่สองมาจากดินพื้นบ่อ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเตรียมบ่อของเกษตรกร ที่ใช้ปั๊มดูดเลนออกจากบ่อ โดยไม่มีการตากบ่อ และเลี้ยงรุ่นถัดไปทันที ควรที่จะต้องปรับปรุงโดยเพิ่มกระบวนการตากบ่อเพื่อลดการสะสมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่สะสมที่พื้นบ่อ (Koschorreck, 2005)

เมื่อพิจารณาการสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อ พบว่าแหล่งสูญเสียไนโตรเจนหลักของทุกชุดการทดลอง มาจากการสะสมในตัวปลา มีค่าอยู่ในช่วง 35.0 - 38.4 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การสะสมในดินเลนพื้นบ่อ (27.4 - 30.1 เปอร์เซ็นต์) ในน้ำที่สูบออกจากบ่อเมื่อจับปลา (17.8 - 22.1 เปอร์เซ็นต์) และอื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุแหล่งได้ (12.8 - 16.7 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gross *et al.* (2000) พบว่าการสูญเสียของไนโตรเจนสูงสุดคือการสะสมในตัวปลาสูงถึง 31.53 เปอร์เซ็นต์ ตามมาด้วยการสะสมในตะกอนดิน 22.57 เปอร์เซ็นต์ และการสูญเสียผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น 17.36 เปอร์เซ็นต์ ตามมาด้วย การสูญเสียผ่านน้ำที่ทิ้งไป 16.03 เปอร์เซ็นต์ และสุดท้ายคือการระเหยของแอมโมเนีย 12.51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะอธิบายการสูญเสียไนโตรเจนที่ไม่สามารถระบุแหล่งได้ของการศึกษาครั้งนี้อาจจะอยู่ในรูปแบบของการระเหยคืนสู่อากาศของแอมโมเนียหรือการสูญเสียผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นที่เกิดขึ้นในเลนพื้นบ่อ ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซไนโตรเจนที่ระเหยคืนสู่อากาศ ส่งผลให้ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณไนโตรเจนที่ไม่สามารถระบุแหล่งได้สูงถึง12.8 - 16.7 เปอร์เซ็นต์

การสูญเสียไนโตรเจนออกจากบ่อในการทดลองครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่พบว่าไนโตรเจนที่นำออกจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงเดี่ยว (monoculture) พบมากที่สุดในตะกอนดิน 14 - 53 เปอร์เซ็นต์ (Thakur & Lin, 2003; Sahu *et al.*, 2013; Saraswathy *et al.*, 2013) ส่วนในการเลี้ยงแบบผสมผสาน (integrated culture) มีค่าเท่ากับ

24-65.6 เปอร์เซ็นต์ (Nhan *et al*., 2008; Sahu *et al*., 2015; David *et al*., 2017; Liu *et al*., 2023) ซึ่งไนโตรเจนที่สะสมตะกอนดินมีที่มาจาก อาหารที่เหลือในบ่อ ขี้ปลา และ สาหร่ายที่ตายในบ่อ (Jimenez-Montealegre *et al*., 2002) เนื่องจากในชั้นตะกอนดินพื้นบ่อจะมีชั้นบางๆ ที่มีความหนาเพียง 100 ไมโครเมตร จนถึงระดับมิลลิเมตร ที่สามารถเกิดการออกซิไดซ์หรือปฏิกิริยาออกซิเดชันจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน และในชั้นที่ลึกลงไปจะไม่มีออกซิเจน (anoxic layer) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนามากกว่า จะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Jørgensen, 1977)

ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าปลาช่อนสามารถนำไนโตรเจนจากอาหารที่กินไปใช้ในการเจริญเติบโต และสะสมไนโตรเจนในตัวปลาได้ดี ส่งผลให้เป็นแหล่งที่มีการสะสมไนโตรเจนหลัก โดยปลาช่อนในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 สามารถสะสมไนโตรเจนในเนื้อปลาได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 เนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ถี่ขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของเสียที่สะสมในบ่อลดน้อยลง ทำให้สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตของปลาดีกว่าได้อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าไม่สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่รายงานว่าการเลี้ยงปลาน้ำจืดเชิงเดี่ยว (monoculture) สามารถดึงไนโตรเจนไปสะสมในเนื้อปลาได้ประมาณ 21 - 27 เปอร์เซ็นต์ (Siddiqui & Al-Harbi, 1999) หรือในการเลี้ยงแบบผสมผสานเช่น การเลี้ยงปลานิลแดงร่วมกับกุ้ง Amazon river prawn พบว่าเปอร์เซ็นต์การสะสมไนโตรเจนในเนื้อปลามากถึง 19 - 21 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณไนโตรเจนรวมทั้งหมด (David *et al*., 2017) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าผลการทดลองครั้งนี้

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าในน้ำทิ้งมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ในช่วง 17.8 - 22.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นลำดับที่สามรองมาจากตะกอนดินและปลา โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำทิ้งจากบ่อชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 และ 3 ครั้ง/สัปดาห์ มีสัดส่วนไนโตรเจนในน้ำทิ้งน้อยกว่า ชุดการทดลองที่ 1 ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 1 ครั้ง/สัปดาห์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่รายงานว่าในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ มีสัดส่วนของไนโตรเจนในน้ำทิ้งระหว่าง 16 - 34 เปอร์เซ็นต์ (Casillas-Hernandez *et al*., 2006; Saraswathy *et al*., 2013; Jiao *et al*., 2022) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมีไนโตรเจนสะสมในน้ำทิ้งประมาณ 3-8 เปอร์เซ็นต์ (Sahu *et al*., 2013; Adhikari *et al*., 2014) สรุปได้ว่าการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะส่งผลต่อสัดส่วนของไนโตรเจนในน้ำทิ้ง มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เช่น เมื่อไปเปรียบเทียบผลการศึกษาของการเลี้ยงแบบผสมผสานของ David *et al.* (2017) มีค่าระหว่าง 5 - 6 เปอร์เซ็นต์ (อันดับที่ 4) ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและใช้น้ำเริ่มต้นที่มีธาตุอาหารอยู่สูง เพื่อต้องการศึกษาประสิทธิภาพของแพลงก์ตอนพืชในการนำธาตุอาหารไปใช้ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในน้ำที่ใช้จากคลองชลประทานมีธาตุอาหารในน้ำน้อย ดังนั้นถ้าพิจารณาระบบการเลี้ยงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ควรเลือกระบบการเลี้ยงที่ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่ควรจะเลี้ยงได้ในอัตราความหนาแน่นที่ลดลง ถ้าต้องการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น จำเป็นต้องใช้รูปแบบเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่ง ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 และ 3 ครั้ง/สัปดาห์ ส่งผลให้ปลาช่อนมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงควรบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือนำน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสัตว์น้ำไปใช้การเกษตรอื่นๆ เช่น รดน้ำพืชผัก หรือต้นไม้ ซึ่งเป็นแนวทางที่เกษตรกรในกลุ่มนี้ได้เริ่มปฏิบัติเนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำของกลุ่มเกษตรกรนี้มักใช้ปั๊มจุ่มสูบน้ำเข้าบ่อที่มีขนาดท่อเพียง 2 - 3 นิ้ว เพื่อลดผลกระทบของของเสียในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อสิ่งแวดล้อม (Phan *et al.*, 2009)

นอกจากนี้การติดตั้งระบบเติมอากาศในบ่อเลี้ยงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มการสะสมของสัดส่วนไนโตรเจนในตัวปลาให้เพิ่มขึ้น แทนการสะสมในตะกอนดิน หรือ น้ำทิ้ง เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แบคทีเรียในน้ำ ทำหน้าที่กระตุ้นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยง หรือของเสียจาก

กระบวนการเมตาบอลิซึม เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไปเป็นไนเตรท (Shiu *et al*., 2024) ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันภายใต้กิจกรรมของจุลินทรีย์ไนตริฟายอิง (nitrifying bacteria) ส่งผลให้สารพิษในน้ำมีค่าลดลง สัตว์น้ำมีอัตราการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีค่าสูงกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร (Deka *et al*., 2022) จะกระตุ้นอัตราการย่อยอาหารให้ดีขึ้น ส่งผลให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตดีขึ้น (Deka *et al*., 2022; Shiu *et al*., 2024)

Conclusions

ในการเลี้ยงปลาช่อนแบบหนาแน่นในบ่อดินที่มีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระบบ พบว่าปลาในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 (ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 และ 3 ครั้ง/สัปดาห์) มีน้ำหนักปลารวมสุดท้ายสูงกว่า และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่า ปลาในชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนแหล่งที่มาหลักของไนโตรเจนในบ่อปลามาจากอาหารปลาเฉลี่ย (±SD) อยู่ในช่วง 80.3 ± 2.18 - 83.2 ± 4.17 เปอร์เซ็นต์ และการสูญเสียไนโตรเจนออกไปจากบ่อโดยการสะสมอยู่ในตัวปลาที่จับเฉลี่ย (±SD) อยู่ในช่วง 35.0 ± 2.12 - 38.4 ± 3.1 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่เหมาะสม คือ 2 ครั้ง/สัปดาห์

Ackonwledgments

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 และเกษตรกร นางสาวสุริสสา พิณเสนาะ นางจินตนา พิณเสนาะ และ นางรวีวรรณ ลิ้มเจริญธัญญผล เจ้าของฟาร์มและสมาชิกกลุ่มสหกรณ์ประมงและการแปรรูปอ่างทอง ตำบลห้วยคันแหลน อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง ที่อนุเคราะห์ให้ทดลองเลี้ยงปลาในฟาร์มและช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและตัวอย่างอย่างดีเยี่ยมตลอดการทดลอง

References

Adhikari, S., Sahu, B. C., Mahapatra, A. S., & Dey, L. (2014). Nutrient budgets and effluent characteristics in giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) culture ponds. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, *92*, 509-513. doi.org/10.1007/s00128-014-1227-4.

Ajiboye, A. O., Awogbade, A. A., & Babalola, O. A. (2015). Effects of water exchange on water quality parameters, nutrient utilization and growth of African catfish (*Clarias gariepinus*). *International Journal of Livestock Production*, *6*(5), 57-60. doi.org/10.5897/IJLP2015.0256.

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.

Barbieri, E., & Doi, S. A. (2012). Acute toxicity of ammonia on juvenile cobia (*Rachycentron canadum*, Linnaeus, 1766) according to the salinity. *Aquaculture International*, *20*(2), 373-382. doi.org/10.1007/s10499-011-9467-3.

Casillas-Hernández, R., Magallón-Barajas, F., Portillo-Clarck, G., & Páez-Osuna, F. (2006). Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. *Aquaculture*, *258*(1-4), 289-298. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.027.

Chiquito-Contreras, R. G., Hernandez-Adame, L., Alvarado-Castillo, G., Martínez-Hernández, M. D. J., Sánchez-Viveros, G., Chiquito-Contreras, C. J., & Hernandez-Montiel, L. G. (2022). Aquaculture—production system and waste management for agriculture fertilization—A review. *Sustainability*, *14*(12), 7257. doi.org/10.3390/su14127257.

Dalbem Barbosa, A. P., Kosten, S., Muniz, C. C., & Oliveira-Junior, E. S. (2024). From feed to fish-nutrients' fate in aquaculture systems. *Applied Sciences*, *14*(14), 6056. doi.org/10.3390/app14146056.

Dauda, A. B., Ajadi, A., Bashir, Z., & Ikpe, J. (2022). Frequency of water change on growth performance, nutrient utilization and liver histology of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758). *Asian journal of fisheries and aquatic research. Pg*, *16*(2), 42-50. doi.org/10.9734/AJFAR/2022/v16i230370.

David, F. S., Proença, D. C., & Valenti, W. C. (2017). Nitrogen budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia and Amazon River prawn. *Aquaculture International*, *25*(5), 1733-1746. doi.org/10.1007/s10499-017-0145-y.

Deka, K., Bordoloi, D., Khound, A. J, Bharali, M. J., & Chelleng, R. (2022). A review on aeration process and different types of aerators used in various aquaculture systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 11*(6), 353-358. doi.org/10.20546/ijcmas.2022.1106.039.

Golder, T. I. (2022). Waste production in aquaculture. *Modern Approaches in Chemical and Biological Sciences*, 122-128. doi.org/10.31674/book.2022macbs.015.

Gross, A., Boyd, C. E., & Wood, C. W. (2000). Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. *Aquacultural Engineering*, *24*(1), 1-14. doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00062-5.

Herath, S. S., & Satoh, S. (2022). Environmental impacts of nitrogen and phosphorus from aquaculture. In *Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (pp. 427-444). Woodhead Publishing. doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00010-2.

Ho, K. Y., & Ho, Y. Y. (2004). Nitrogen dynamics and growing of shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) in the high density aquaculture ponds. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *37*(1), 24-32. doi.org/10.5657/kfas.2004.37.1.024.

Is-haak, J., Koydon, S., Iampichai, Y., & Ngamphongsai, C. (2022). Effects of ammonia, temperature and their interaction on oxygen consumption rate of Asian seabass (*Lates calcarifer*) juveniles. *Agriculture and Natural Resources*, *56*(5), 917-924. doi.org/10.34044/j.anres.2022.56.5.06.

Jiao, Y., Zhao, H., Li, Z., Tang, X., Li, Y., Chen, S., Zhu, Z., Wang, T., Strokal, M., & Kroeze, C. (2022). Nitrogen budgets for freshwater aquaculture and mariculture in a large tropical island–a case study for Hainan Island 1998–2018. *Marine Environmental Research*, *177,* 105642. doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105642.

Jiménez-Montealegre, R., Verdegem, M. C. J., Van Dam, A., & Verreth, J. A. J. (2002). Conceptualization and validation of a dynamic model for the simulation of nitrogen transformations and fluxes in fish ponds. *Ecological modelling*, *147*(2), 123-152. doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00403-3.

Jørgensen, B.B. (1977) Bacterial sulfate reduction within reduced microniches of oxidized marine sediments. *Mar Biol 41*, 7–17. doi.org/10.1007/BF00390576.

Kajimura, M., Takimoto, K., & Takimoto, A. (2023). Acute toxicity of ammonia and nitrite to Siamese fighting fish (*Betta splendens*). *BMC Zoology, 8*, 25. doi.org/10.1186/s40850-023-00188-3.

Kim, J. H., Kang, Y. J., & Lee, K. M. (2022). Effects of nitrite exposure on the hematological properties, antioxidant and stress responses of juvenile Hybrid Groupers, *Epinephelus lanceolatus*♂× *Epinephelus fuscoguttatus*♀. *Antioxidants*, *11*(3), 545. doi.org/10.3390/antiox11030545.

Koschorreck, M. (2005). Nitrogen turnover in drying sediments of an Amazon floodplain lake. *Microbial ecology*, *49*(4), 567-577. doi.org/10.1007/s00248-004-0087-6.

Liu, B., Zhang, K., Wang, G., & He, X. (2023). A Study on nitrogen and phosphorus budgets in a polyculture system of *Oreochromis niloticus*, *Aristichthys nobilis*, and *Cherax quadricarinatus*. *Water*, *15*(15), 2699. doi.org/10.3390/w15152699.

Nhan, D. K., Verdegem, M. C., Milstein, A., & Verreth, J. A. (2008). Water and nutrient budgets of ponds in integrated agriculture-aquaculture systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research*, *39*(11), 1216-1228. doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01986.x.

Phan, L. T., Bui, T. M., Nguyen, T. T. T., Gooley, G. J., Ingram, B. A., Nguyen, H. V., Nguyen, P. T. , & De Silva, S. S. (2009). Current status of farming practices of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture*, *296*(3-4), 227-236. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.08.017.

Phu, T. Q., Hang, B. T. B., Tuong, D. D., Anna, V. G., Kaneko, T., Phuong, N. T., & Huong, D. T. T. (2022). Effects of size and nitrite exposure on respiration, oxygen partitioning, and growth of obligate air-breathing fish *Channa striata*. *Fisheries Science, 88*, 149–159.doi.org/10.1007/s12562-021-01562-1.

Qin, J., Fast, A.W. , & Kai, A.T. (1997), Tolerance of snakehead *Channa striatus* to ammonia at different pH. *Journal of the World Aquaculture Society*, *28*, 87-90. doi.org/10.1111/j.1749-7345.1997.tb00965.x.

Rutegwa, M., Potužák, J., Hejzlar, J., & Drozd, B. (2019). Carbon metabolism and nutrient balance in a hypereutrophic semi-intensive fishpond. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, (420), 49. doi.org/10.1051/kmae/2019043.

Sahu, B. C., Adhikari, S., Mahapatra, A. S., & Dey, L. (2013). Carbon, nitrogen, and phosphorus budget in scampi (*Macrobrachium rosenbergii*) culture ponds. *Environmental monitoring and assessment*, *185*, 10157-10166. doi.org/10.1007/s10661-013-3320-2.

Sahu, B. C., Adhikari, S., Mahapatra, A. S., & Dey, L. (2015). Nitrogen, phosphorus, and carbon budgets in polyculture ponds of Indian major carps and giant freshwater prawn in Orissa State, India. *Journal of applied aquaculture*, *27*(4), 365-376. doi.org/10.1080/10454438.2015.1115320.

Sampantamit, T., Ho, L., Lachat, C., Sutummawong, N., Sorgeloos, P., & Goethals, P. (2020). Aquaculture production and its environmental sustainability in Thailand: Challenges and potential solutions. *Sustainability*, *12*(5), 2010. doi.org/10.3390/su12052010.

Saraswathy, R., Muralidhar, M., Kailasam, M., Ravichandran, P., Gupta, B. P., Krishnani, K. K., Ponniah, A. G., Sundaray, J. K., Panigrahi, A., & Nagavel, A. (2013). Effect of stocking density on soil, water quality and nitrogen budget in *Penaeus monodon* (Fabricius, 798) culture under zero water exchange system. *Aquaculture Research*, *44*(10), 1578-1588. doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03165.x.

Shen, C., Cao, S., Mohsen, M., Li, X. S., Wang, L., Lu, K. L., Zhang, C.X., & Song, K. (2024). Effects of chronic nitrite exposure on hematological parameters, oxidative stress and apoptosis in spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) reared at high temperature. *Aquaculture Reports*, *35*, 102022. doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102022.

Shiu, N., Guo, H., & Kim, Y. (2024). Heated aeration for nitrite-oxidizing bacteria (NOB) control in anammox-integrated membrane-aerated biofilm reactors (MABR). *Environments*, *11*(7), 155. doi.org/10.1080/10454438.2015.1115320.

Siddiqui, A. Q., & Al-Harbi, A. H. (1999). Nutrient budgets in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia. *Aquaculture*, *170*(3-4), 245-252. doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00421-9.

Thakur, D. P., & Lin, C. K. (2003). Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Aquacultural engineering*, *27*(3), 159-176. doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00055-9.

Yan, Y., Zhou, J., Du, C., Yang, Q., Huang, J., Wang, Z., Xu, J., & Zhang, M. (2024). Relationship between nitrogen dynamics and key microbial nitrogen-cycling genes in an intensive freshwater aquaculture pond. *Microorganisms*, *12*(2), 266. doi.org/10.3390/ microorganisms12020266.