เอกสารวิชาการฉบับที่ ๒ /๒๕๖๖

Technical Paper No. 2 /2023

ผลของความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน

Effect of Stocking Density and Feeding Frequency on Growth Performances, Survival Rate and Feed Conversion Ratio of Greenback Mullet (*Planiliza subviridis*, Valenciennes, 1836) in Recirculating Aquaculture System

พรพิมล ทิวแพ	Pornphimon Tiewpair
สิริวรรณ หนูเซ่ง	Siriwan Nooseng
อาคม สิงหบุญ	Arkom Singhabun

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

กรมประมง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Coastal Aquaculture Research and Development Division

Department of Fisheries

Ministry of Agriculture and Cooperatives

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๒ /๒๕๖๖ Technical Paper No. 2 /2023

ผลของความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากระบอกดำ ที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน

Effect of Stocking Density and Feeding Frequency on Growth Performances, Survival Rate and Feed Conversion Ratio of Greenback Mullet (*Planiliza subviridis*, Valenciennes, 1836) in Recirculating Aquaculture System

พรพิมล ทิวแพ Pornphimon Tiewpair
สิริวรรณ หนูเซ่ง Siriwan Nooseng
อาคม สิงหบุญ Arkom Singhabun

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสุราษฎร์ธานี
กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง
กรมประมง

Surat Thani Coastal Aquaculture Research and Development Center
Coastal Aquaculture Research and Development Division
Department of Fisheries

๒๕๖๖ 2023

รหัสทะเบียนวิจัย 65 3 1 0318 65031

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	4
วิธีดำเนินการ	4
1 การวางแผนการทดลอง	4
2 สถานที่และระยะเวลาดำเนินการทดลอง	5
3 วิธีดำเนินการทดลอง	5
4 การเก็บรวมรวมข้อมูลการทดลอง	7
5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	8
ผลการศึกษา	9
1 การเจริญเติบโต	9
2 อัตราการรอดตาย	12
3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	12
4 การกระจายขนาด (Size distribution) ของปลากระบอกดำ	13
5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณแบคทีเรียในน้ำ	14
วิจารณ์ผลการศึกษา	16
สรุปผลการศึกษา	20
ข้อเสนอแนะ	20
คำขอบคุณ	20
เอกสารอ้างอิง	21
ภาคผนวก	27

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การจัดกลุ่มของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม (Treatment combination)	5
2	พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์	7
3	ชนิดและวิธีการทดสอบสำหรับการตรวจนับปริมาณแบคทีเรีย	7
4	การวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความหนาแน่น ความถี่ในการให้อาหาร และอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวต่อความยาวเหยียดสุดท้าย (TL) ความยาวมาตรฐานสุดท้าย (SL) และน้ำหนักตัวสุดท้าย (BW) ของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน เป็นระยะเวลา 7 เดือน	10
5	การวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความหนาแน่น ความถี่ในการให้อาหาร และอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการกินอาหารต่อวัน (DFI) ของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 7 เดือน	11
6	การวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความหนาแน่น ความถี่ในการให้อาหาร และอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวต่ออัตราการรอดตาย (SR) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 7 เดือน	12
7	เปอร์เซ็นต์การกระจายของน้ำหนักตัวปลากระบอกดำแต่ละชุดการทดลองที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 7 เดือน	13
8	การทดสอบความแตกต่างทางสถิติของการกระจายน้ำหนักตัวของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนของแต่ละชุดการทดลองด้วยวิธีไค-สแควร์	14
9	คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง	14
10	ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำในระบบบำบัดน้ำชีวภาพของระบบน้ำหมุนเวียน	15
11	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียรวมและวิบริโอรวมในตัวอย่างน้ำของแต่ละจุด	16

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังของระบบหมุนเวียนน้ำ	6
2	ความยาวเหยียด (ก) และความยาวมาตรฐาน (ข) ของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลอง	9
3	น้ำหนักตัวของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลอง	10
4	ปริมาณของแบคทีเรียรวม (ก) และปริมาณของแบคทีเรียวิบริโอรวม (ข) ที่ตรวจพบในน้ำบ่อเลี้ยงปลากระบอกดำแต่ละจุดตลอดการทดลอง	15

ภาพผนวกที่		
1	ลักษณะภายนอกของปลากระบอกดำ	27
2	บ่อทดลองเลี้ยงปลากระบอกดำ	27
3	อาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทะเล เบอร์ 1	27
4	การวัดความยาวลำตัวและชั่งน้ำหนักปลากระบอกดำในระหว่างการดำเนินการทดลอง	28
5	ปลากระบอกดำบางส่วนที่รวบรวมได้ของแต่ละชุดการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7 เดือน)	28

ผลของความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน

นางสาวพรพิมล ทิวแพ[1*], นางสิริวรรณ หนูเซ่ง[1] และ นายอาคม สิงหบุญ[2]
[1]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสุราษฎร์ธานี
[2]ศูนย์พัฒนาประมงพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

บทคัดย่อ

ทดลองเลี้ยงปลากระบอกดำในบ่อคอนกรีตกลมขนาดบรรจุปริมาตรน้ำ 1.5 ลูกบาศก์เมตร ด้วยระบบน้ำหมุนเวียน ศึกษา 2 ปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ ความหนาแน่น (20 และ 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) และความถี่ของการให้อาหาร (1 และ 2 มื้อต่อวัน) วางแผนการทดลองแบบ 2x2 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ โดยเลี้ยงปลากระบอกดำที่มีน้ำหนักตัวเริ่มต้น 18.13±0.62 กรัม และความยาวเหยียดเริ่มต้น 11.89±0.13 เซนติเมตร นาน 7 เดือน พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารต่อการเจริญเติบโตของปลากระบอกดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อแยกพิจารณาแต่ละปัจจัย พบว่าทั้งความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลากระบอกดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีน้ำหนักตัวสุดท้าย (64.65±9.63 กรัม) และความยาวเหยียดสุดท้าย (18.27±0.73 เซนติเมตร) สูงกว่าที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52.78±9.48 กรัม และ 17.12±0.99 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน มีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งน้ำหนักตัวสุดท้ายและความยาวเหยียดสุดท้าย ซึ่งปลาที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน มีค่าเท่ากับ 67.18±7.12 กรัม และ 18.45±0.52 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวัน มีค่าเท่ากับ 50.24±6.66 กรัม และ 16.93±0.81 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการรอดตายและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของแต่ละชุดการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 88.89±1.86 - 90.56±1.65 เปอร์เซ็นต์ และ 2.33±0.05 - 2.44±0.04 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าสามารถลดปริมาณไนไตรท์ในน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือไนเตรท แอมโมเนียรวม และปริมาณสารแขวนลอย ตามลำดับ โดยสามารถลดได้ 48.88±19.20, 36.21±22.65, 29.02±14.79 และ 17.31±14.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สรุปได้ว่าการเลี้ยงปลากระบอกดำด้วยความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด

คำสำคัญ: ความหนาแน่น ความถี่ในการให้อาหาร ปลากระบอกดำ ระบบน้ำหมุนเวียน

ผู้รับผิดชอบ: 97/1 หมู่ 4 ต. ตะเคียนทอง อ. กาญจนดิษฐ์ จ. สุราษฎร์ธานี 84160 โทร 0 7725 5288
E-mail: pornphimontew@gmail.com

Effect of Stocking Density and Feeding Frequency on Growth Performances, Survival Rate and Feed Conversion Ratio of Greenback Mullet (*Planiliza subviridis*, Valenciennes, 1836) in Recirculating System

Pornphimon Tiewpair[1*], Siriwan Nooseng[1] and Arkom Singhabun[2]
[1]Surat Thani Coastal Aquaculture Research and Development Center
[2]Pak Phanang Basin Royal Fisheries Development Center

Abstract

This study was investigated the effects of 2 factors including stocking densities (20 and 40 fish/m^3) and feeding frequencies (1 and 2 meals per day) on the growth performances of greenback mullet (*Planiliza subviridis*, Valenciennes, 1836) in circular concrete tanks of 1.5 m^3 of water volume with recirculation system for 7 months. The experiment was performed with 2x2 factorial experiments in completely randomized design (Factorial in CRD) with 3 replications each. The greenback mullet initially average body weight (BW) and total length (TL) of 18.13±0.62 g and 11.89±0.13 cm, respectively. At the end of experiment (7 months), the results showed that there was no statistically significant (P>0.05) correlation between the level of stocking density and feeding frequency on the growth performances of greenback mullet. However, the growth performances of greenback mullet were significantly (P<0.05) influenced by stocking densities. The growth performances of 20 fish/m^3 including the BW (64.65±9.63 g) and TL (18.27±0.73 cm) were higher than that 40 fish/m^3 which was 52.78±9.48 g and 17.12±0.99 cm, respectively. When considering the feeding frequency, it found that the BW and SL of fish fed twice a day were significantly higher (P<0.05) than those of fish fed once daily at 67.18±7.12 g and 18.45±0.52 cm, respectively, whereas the other groups had 50.24±6.66 g and 16.93±0.81 cm, respectively. The survival rate and the feed conversion ratio of all treatments had no statistical difference (P>0.05) at 88.89±1.86 - 90.56±1.65% and 2.33±0.05 - 2.44±0.04, respectively. The efficiency of biological treatment in recirculating aquaculture system was found that the greatest reducing of nitrite concentration, followed by nitrate, total ammonia and total suspended solid were 48.88±19.20, 36.21±22.65, 29.02±14.79 and 17.31±14.18%, respectively. These results suggest that the optimum stocking density and feeding frequency of greenback mullet in recirculting aquaculture system on growth performances is 20 fish/m^3 and fed twice daily.

Keywords: stocking density, feeding frequency, greenback mullet, recirculating system

---

***Corresponding author:** 97/1 Moo 4, Thakian-thong Sub-district, Kanchanadit District, Surat Thani Province 84160. e-mail: pornphimontew@gmail.com

คำนำ

ปลากระบอกดำ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Planiliza subviridis* ชื่อเดิมคือ *Liza subviridis* ชื่อสามัญคือ greenback mullet เป็นปลาน้ำกร่อยชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในครอบครัว Mugillidae มีลำตัวเรียวยาวทรงกระบอก บริเวณหลังมีสีเทาเข้มหรือสีเขียวคล้ำ มีแถบสีจาง ๆ จำนวน 4 - 5 แถบ พาดไปตามความยาวของลำตัวแนวเดียวกับเกล็ด บริเวณด้านท้องและด้านข้างของลำตัวเป็นสีขาวเงินวาว ขอบหางมีสีคล้ำและเว้าเล็กน้อย มีครีบหลังแยกเป็น 2 ครีบ ตามีเยื่อไขมันคลุมปิดม่านตา เป็นปลาที่มีฟันขนาดเล็กและสั้น มีลำไส้ยาวและเยื่อบุช่องท้องเป็นสีดำ เพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ (อังสุนีย์, 2537) กินแพลงก์ตอนสัตว์ ไดอะตอม สาหร่ายพืชทะเล ซากใบไม้ขนาดเล็ก ซากอินทรีย์ขนาดเล็กตามหน้าดิน และตัวอ่อนของแมลงและหอยเป็นอาหาร (Chan and Chua, 1979) สามารถพบแพร่กระจายทั่วไปทั้งเขตอินโดแปซิฟิกจากทะเลแดงถึงเกาะโซโลมอนและทางเหนือของญี่ปุ่น (Harrison and Senou, 1999) ส่วนประเทศไทยพบได้ทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามันโดยพบชุกชุมตามแหล่งน้ำที่มีน้ำทะเลเข้าถึงและบริเวณแม่น้ำที่ติดต่อกับทะเล (อังสุนีย์, 2537)

จากข้อมูลสถิติการประมงแห่งประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2554 - 2562 พบว่าปริมาณการจับปลากระบอกเท่ากับ 6,395, 6,311, 4,035, 3,641, 3,299, 1,911, 1,866, 1,977 และ 2,395 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่า 423.9, 450.1, 272.8, 239.9, 228.9, 144.8, 156.9, 174.1 และ 186.3 ล้านบาท ตามลำดับ โดยปริมาณการจับปลากระบอกส่วนใหญ่ได้มาจากทะเลอ่าวไทย คิดเป็นร้อยละ 55.14, 53.41, 53.83, 65.86, 63.69, 93.83, 86.17, 88.27 และ 80.29 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณการจับปลากระบอกของทั้งประเทศ (กรมประมง, 2554; 2555; 2556; 2557; 2558; 2559; 2560; 2561; 2562) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปริมาณการจับปลากระบอกของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 เป็นต้นมา และในปี พ.ศ. 2562 พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากปลากระบอกมีรสชาติอร่อยทำให้เป็นที่นิยมของผู้บริโภคและเป็นที่ต้องการของตลาด จึงทำให้มีราคาสูง โดยเฉพาะปลากระบอกที่มีไข่หรือไข่ปลากระบอกตากแห้งยิ่งมีราคาสูงมากขึ้น (อังสุนีย์, 2537; สุชาดา และสุวิมล, 2547; อนุวัฒน์ และคณะ, 2558) ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้มีการจับปลากระบอกจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก

สำหรับการเพาะเลี้ยงปลากระบอกดำในประเทศไทย พบว่ามีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 เป็นต้นมา โดยระยะแรกเป็นการศึกษาการเพาะพันธุ์ปลากระบอกดำด้วยการผสมเทียมโดยใช้พ่อแม่พันธุ์ที่รวบรวมจากธรรมชาติแล้วคัดเลือกปลากระบอกดำที่มีไข่แก่และมีน้ำเชื้อพร้อมมาผสมเทียมด้วยวิธีผสมเปียก (สมชาติ, 2517) จากนั้นได้มีการศึกษาการเพาะและอนุบาลลูกปลากระบอกดำด้วยอาหารต่าง ๆ เช่น โรติเฟอร์ อาร์ทีเมีย และอาหารผสมเป็นต้น (นิเวศน์ และคณะ, 2536) นอกจากนี้มีการศึกษาการอนุบาลและเลี้ยงปลากระบอกดำในรูปแบบการเลี้ยงต่างกัน เช่น ทดลองเลี้ยงปลากระบอกดำขนาด 2.6 กรัม ในกระชังด้วยความหนาแน่นต่างกัน คือ 500, 1,000 และ 1,500 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าปลากระบอกดำแต่ละชุดการทดลองมีการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (วิชัย และคณะ, 2537) รวมไปถึงการศึกษาการเลี้ยงปลากระบอกดำเพื่อให้เป็นพ่อแม่พันธุ์ในบ่อดิน (พิษณุ และคณะ, 2541) จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าการศึกษารูปแบบการเลี้ยงปลากระบอกดำ ไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่น การให้อาหาร ชนิดอาหาร ความถี่ในการให้อาหาร รวมไปถึงข้อมูลการจัดการระหว่างการเลี้ยงอื่น ๆ ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด โดยส่วนใหญ่เน้นการศึกษาเกี่ยวกับความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลากระบอกในบ่อดินเป็นหลัก เช่น การศึกษาของ Eid (2006) ซึ่งเลี้ยงปลากระบอกเทา (*Mugil cephalus*) ที่ระดับความหนาแน่นต่างกันในบ่อหมักและให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นอาหาร พบว่าที่ความหนาแน่น 10,000 ตัวต่อบ่อขนาด 0.42 เฮกตาร์ (ประมาณ 3,810 ตัวต่อไร่) ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด ส่วนการศึกษาของ Bakeer (2006) พบว่า

ความหนาแน่นที่ดีที่สุดของการเลี้ยงปลากระบอกเทาระยะ Fingerling ในบ่อที่ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นอาหารและเลี้ยงนาน 32 สัปดาห์ คือ 2 ตัวต่อตารางเมตร (3,200 ตัวต่อไร่) ขณะที่การศึกษาของ Abdel-Gawad and Salama (2007) พบว่าความหนาแน่นของการเลี้ยงปลากระบอกเทาแบบเลี้ยงชนิดเดียว (Monoculture) ในบ่อดินโดยให้กินอาหารธรรมชาติเพียงอย่างเดียวและทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดและคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด คือ 1,050 ตัวต่อบ่อขนาด 0.42 เฮกตาร์ (400 ตัวต่อไร่) ส่วน Islam *et al.* (2017) พบว่าปลากระบอกดำระยะ Fingerling ที่เลี้ยงในบ่อดินด้วยความหนาแน่น 60,000 ตัวต่อเฮกตาร์ (9,600 ตัวต่อไร่) ให้ผลการเจริญเติบโตดีกว่าที่ระดับความหนาแน่น 90,000 และ 120,000 ตัวต่อเฮกตาร์ หรือเท่ากับ 14,400 และ 19,200 ตัวต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียน พบว่ามีการศึกษาในปลาหลายชนิด เช่น ปลากะพงขาว (สุนิตย์ และคณะ, 2548; นิคม และคณะ, 2554) ปลากะรังดอกแดง (สุนิตย์ และคณะ 2547; อรัญญา และคณะ 2551) ซึ่งพบว่าปลามีการเจริญเติบโตดี นอกจากนี้การเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนยังมีข้อดีคือสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและปริมาณของแบคทีเรียในระบบได้สม่ำเสมอตลอดการเลี้ยง และยังเป็นระบบที่จัดการไม่ยุ่งยากสามารถทำงานคนเดียวได้ โดยแต่ละวันจะมีเพียงการดูดตะกอนและให้อาหารปลาที่เลี้ยงเท่านั้น

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการเลี้ยงปลากระบอกดำที่เหมาะสม เช่น อัตราการปล่อยและความถี่ในการให้อาหารสำหรับการเลี้ยงในที่กักขังที่เหมาะสม โดยเฉพาะระบบน้ำหมุนเวียน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาต่อยอดการผลิตปลากระบอกดำให้เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดใหม่ และส่งเสริมไปสู่การเลี้ยงปลากระบอกดำเชิงพาณิชย์ สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร ลดปริมาณการจับจากธรรมชาติ และเกิดความยั่งยืนของทรัพยากรปลากระบอกดำในธรรมชาติต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของความหนาแน่น 2 ระดับ คือ 20 และ 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และความถี่ของการให้อาหารสำเร็จรูปที่ 2 ระดับ คือ 1 และ 2 มื้อต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของการเลี้ยงปลากระบอกดำในระบบน้ำหมุนเวียน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้ในการเลี้ยงปลากระบอกดำ

วิธีดำเนินการ

1. การวางแผนการทดลอง

เป็นการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มี 2 ปัจจัย โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (2 x 2 Factorial experiments in CRD) ซึ่งประกอบด้วย

ปัจจัย A คือ ความหนาแน่นของการปล่อย มี 2 ระดับ ได้แก่

a1 คือ ความหนาแน่นของการปล่อย เท่ากับ 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร

a2 คือ ความหนาแน่นของการปล่อย เท่ากับ 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร

ปัจจัย B คือ ความถี่ในการให้อาหารต่อวัน มี 2 ระดับ ได้แก่

b1 คือ ให้อาหาร 1 มื้อต่อวัน

b2 คือ ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน

โดยแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ และมีรูปแบบของการจัดกลุ่มปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การจัดกลุ่มของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม (Treatment combination)

ปัจจัยที่ศึกษา	a1 (20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)	a2 (40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)
b1 (ให้อาหาร 1 มื้อต่อวัน)	a1b1 (20/1)	a2b1 (40/1)
b2 (ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน)	a1b2 (20/2)	a2b2 (40/2)

2. สถานที่และระยะเวลาดำเนินการทดลอง

ดำเนินการทดลองที่โรงเพาะฟักปลาทะเล ฝ่ายผลิตพันธุ์สัตว์น้ำชายฝั่ง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสุราษฎร์ธานี 97/1 หมู่ 4 ตำบลตะเคียนทอง อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในระหว่างเดือนสิงหาคม 2564 - กรกฎาคม 2565

3. วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การเตรียมการทดลอง

3.1.1 การเตรียมน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง

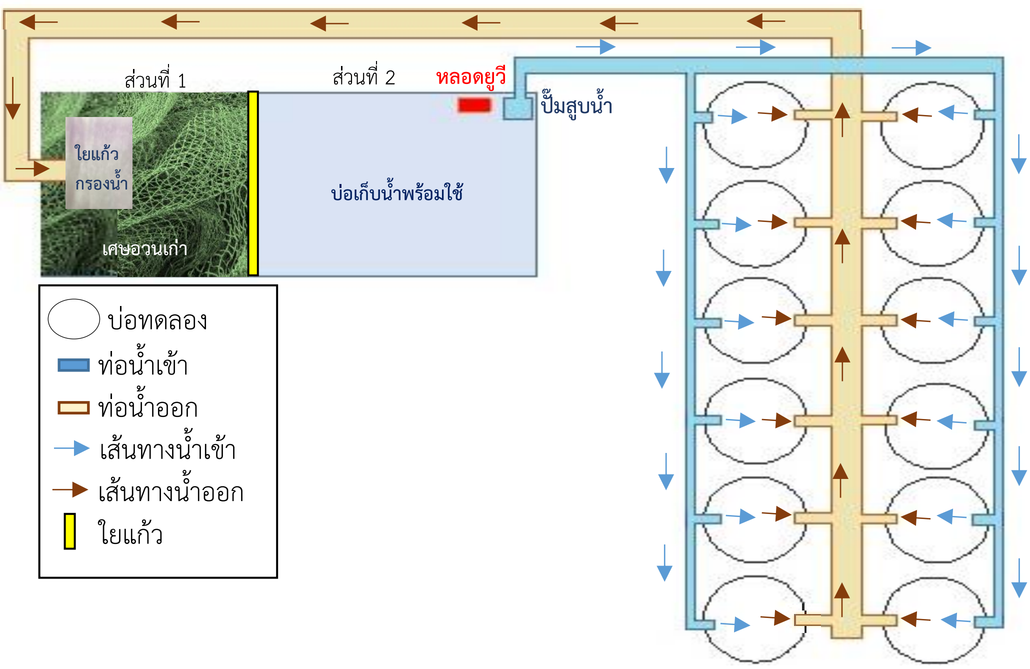
เติมน้ำทะเลความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน ในบ่อคอนกรีตขนาด 40 ลูกบาศก์เมตร ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (แคลเซียมไฮโปคลอไรท์) 60 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้น 30 ส่วนในล้านส่วน ให้อากาศอย่างทั่วถึงทั้งบ่อประมาณ 3 วัน ทดสอบการตกค้างของคลอรีนด้วยชุดทดสอบคลอรีนสำเร็จรูป จากนั้นหยุดให้อากาศข้ามคืน เพื่อให้ตกตะกอนแล้วจึงสูบน้ำไปเก็บในบ่อพักน้ำขนาด 40 ลูกบาศก์เมตร สำหรับนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.1.2 การเตรียมบ่อทดลอง

ใช้บ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เมตร เติมน้ำทะเลให้มีระดับความสูงเท่ากับ 48 เซนติเมตร (ปริมาตรน้ำประมาณ 1.5 ลูกบาศก์เมตร) จำนวน 12 บ่อ โดยแต่ละบ่อมีท่อน้ำสำหรับให้น้ำล้นขนาด 2 นิ้ว และใช้ตาข่ายพลางแสงสีดำ (60 เปอร์เซ็นต์) ปิดด้านบนของทุกบ่อ เพื่อป้องกันปลากระโดดออกจากบ่อทดลอง

3.1.3 การเตรียมระบบน้ำหมุนเวียน

สำหรับระบบบำบัดน้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้บ่อคอนกรีตขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.9 x 4.9 x 1.2 เมตร เติมน้ำทะเลความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน ให้มีระดับความสูง 1.0 เมตร (ปริมาตรน้ำประมาณ 14 ลูกบาศก์เมตร) และแบ่งบ่อเป็น 2 ส่วนด้วยตาข่ายพลาสติกสีดำที่บุด้วยใยแก้วกรองน้ำ โดยน้ำที่ล้นออกจากท่อน้ำล้นของแต่ละบ่อทดลองจะไหลลงมารวมกันในบ่อระบบบำบัดส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นระบบกรองชีวภาพที่ใช้ใยแก้วกรองน้ำและเศษอวนเก่าเป็นวัสดุกรอง โดยใยแก้วที่ใช้นำมาล้างทำความสะอาดทุกวัน จากนั้นน้ำที่ผ่านระบบกรองชีวภาพจะไหลไปยังส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นส่วนของการฆ่าเชื้อในน้ำด้วยแสงยูวี แล้วจึงใช้ปั๊มน้ำที่มีกำลังไฟ 260 วัตต์ เพื่อสูบน้ำหมุนเวียนไปเติมในบ่อทดลองทั้ง 12 บ่อ และควบคุมอัตราการไหลของน้ำลงแต่ละบ่อประมาณ 8.5 ลิตรต่อนาที (อัตราการไหล 68.0 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ทั้งนี้น้ำในแต่ละบ่อทดลองจะถูกหมุนเวียนนำกลับมากรองด้วยระบบกรองชีวภาพและฆ่าเชื้อในบ่อระบบบำบัดอีกครั้งก่อนหมุนเวียนนำกลับไปใช้ใหม่ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผนผังของระบบหมุนเวียนน้ำ

3.1.3 การเตรียมปลาทดลอง

รวบรวมปลากระบอกดำวัยรุ่นที่มีน้ำหนักประมาณ 15 - 20 กรัม จำนวน 600 ตัว จากคลองธรรมชาติของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสุราษฎร์ธานีมาเลี้ยงในบ่อคอนกรีตขนาด 20 ลูกบาศก์เมตร เพื่อปรับสภาพก่อนเริ่มการทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยฝึกให้กินอาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทะเลเบอร์ 1 ซึ่งมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 42 เปอร์เซ็นต์ วันละ 1 มื้อ เวลา 09.00 น. พร้อมทั้งดูดตะกอนทุกวันและเปลี่ยนถ่ายน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ วันเว้นวัน จากนั้นสุ่มปลากระบอกดำที่เตรียมไว้ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อทดลองดังนี้ คือ บ่อละ 60 ตัว (ความหนาแน่น 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) จำนวน 6 บ่อ และบ่อละ 30 ตัว (ความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) จำนวน 6 บ่อ รวมทั้งหมด 12 บ่อ และให้อากาศด้วยหัวทรายบ่อละ 3 หัว ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเป็นเวลานาน 7 เดือน

3.2 การจัดการระหว่างการเลี้ยง

3.2.1 การให้อาหาร

ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทะเลเบอร์ 1 ที่มีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 42 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอาหารประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ให้กินอาหารวันละ 1 มื้อ ในเวลา 09.00 น. ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ให้กินอาหารวันละ 2 มื้อ ในเวลา 09.00 น. และ 15.00 น. โดยช่วงเช้าก่อนการให้อาหารของทุกวัน ทำการดูดตะกอน จากนั้นจึงให้อาหารจนอิ่ม พร้อมทั้งชั่งและจดบันทึกน้ำหนักอาหารที่ปลากระบอกดำกินในแต่ละชุดการทดลองทุกมื้อ

3.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณแบคทีเรียในน้ำ

ระหว่างการทดลองตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณแบคทีเรียในน้ำของระบบน้ำหมุนเวียนจำนวน 3 จุด ประกอบด้วย น้ำในบ่อทดลอง น้ำในระบบบำบัดชีวภาพ และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี สัปดาห์ละ 1 ครั้ง (ตารางที่ 2 และ 3)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์

คุณภาพน้ำ	**วิธี/เครื่องมือวิเคราะห์**	**เอกสารอ้างอิง**
อุณหภูมิน้ำ (Temperature)	เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท	-
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	pH meter ยี่ห้อ Hanna	-
ความเค็ม (Salinity)	เครื่องวัดความเค็มแบบหักเหแสง (Reflacto-salinometer) ยี่ห้อ Atago รุ่น S/Mill	-
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	Potentiometric titration method	APHA-AWWA-WPCF (1980)
ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia, TAN)	Phenol-hypochlorite method	Strickland and Parsons (1972)
ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite)	Diazotization method	Strickland and Parsons (1972)
ริมาณไนเตรท (Nitrate)	Cadmium reduction	Strickland and Parsons (1972)
ปริมาณฟอสเฟต (Phosphate)	Ascobic acid method	Strickland and Parsons (1972)
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solid)	วิธีอบแห้ง	APHA-AWWA-WEF (2012)

ตารางที่ 3 ชนิดและวิธีการทดสอบสำหรับการตรวจนับปริมาณแบคทีเรีย

ชนิดแบคทีเรีย	**วิธีการทดสอบ**
แบคทีเรียรวมทั้งหมด (Total bacteria)	Plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticate soy agar (TSA) ที่เติมเกลือ 2.0%
แบคทีเรียกลุ่มวิบริโอรวมทั้งหมด (Total vibrio)	Plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Thiosulfate citrate bile salts sucrose agar (TCBS)

คำนวณประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดชีวภาพในระบบน้ำหมุนเวียน โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของการลดปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด ปริมาณไนไตรท์ ปริมาณไนเตรท และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่ผ่านระบบกรองและน้ำฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีเมื่อเทียบกับปริมาณที่พบในน้ำที่ออกจากตู้ทดลองตามวิธีการของสิริ และคณะ (2542) ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

โดยที่ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้น

และ C_1 = ความเข้มข้นสุดท้าย

4. การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง

วัดความยาวและชั่งน้ำหนักของปลากระบอกดำเมื่อเริ่มการทดลอง และในระหว่างการทดลองทุกเดือน ๆ ละ 1 ครั้ง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (7 เดือน) โดยวัดความยาวเหยียด (Total length; TL) ความยาวมาตรฐาน (Standard length; SL) ด้วยไม้บรรทัดความละเอียด 0.1 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนัก

(Body weight; BW) ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.01 กรัม โดยก่อนนำปลาไปชั่งน้ำหนักและวัดความยาวสลบปลาด้วยน้ำมันกานพลู (Clove oil) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บข้อมูลปริมาณอาหารทั้งหมด น้ำหนักปลาที่ได้ จำนวนปลาที่เหลือ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily growth; ADG) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) อัตราการกินอาหารต่อวัน (Daily feed intake; DFI) อัตราการรอดตาย (Survival rate; SR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio; FCR) ตามวิธีการของ Mohammad *et al*. (2017) และหาค่าการกระจายขนาดของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลองตามวิธีการของธีระชัย และคณะ (2553) ดังนี้

$$\text{ADG (กรัม/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวสุดท้าย (กรัม) - น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กรัม)}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง (วัน)}}$$

$$\text{SGR (\%/วัน)} = \frac{\text{[(ln น้ำหนักของปลาเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง) - (ln น้ำหนักของปลาเริ่มต้น)]}}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)}} \times 100$$

$$\text{DFI (\%g/day)} = \left[\frac{\text{(น้ำหนักอาหารที่ให้ปลากิน)}}{\text{จำนวนวัน}} \Big/ \frac{\text{(น้ำหนักปลาเริ่มต้น+น้ำหนักปลาสุดท้าย)}}{2} \right] \times 100$$

$$\text{SR (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือ (ตัว)}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น (ตัว)}} \times 100$$

$$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักของอาหารที่ให้ปลากระบอกดำ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของปลากระบอกดำที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกระจายของน้ำหนักตัว} = \frac{\text{จำนวนปลากระบอกดำที่มีน้ำหนักตามช่วงที่กำหนด}}{\text{จำนวนปลากระบอกดำทั้งหมด}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.1 นำข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของปลากระบอกดำที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Two-way analysis of variance เพื่อประเมินค่าอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองของแต่ละปัจจัยด้วยวิธี Tukey’s multiple comparison test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

5.2 นำข้อมูลขนาดปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลองมาแจกแจงความถี่ตามช่วงของขนาดปลา เพื่อหาค่าร้อยละและเปรียบเทียบการกระจายของขนาดของปลา (Size distribution) แต่ละชุดการทดลองด้วยวิธีการทดสอบไค-สแควร์ (χ^2 test)

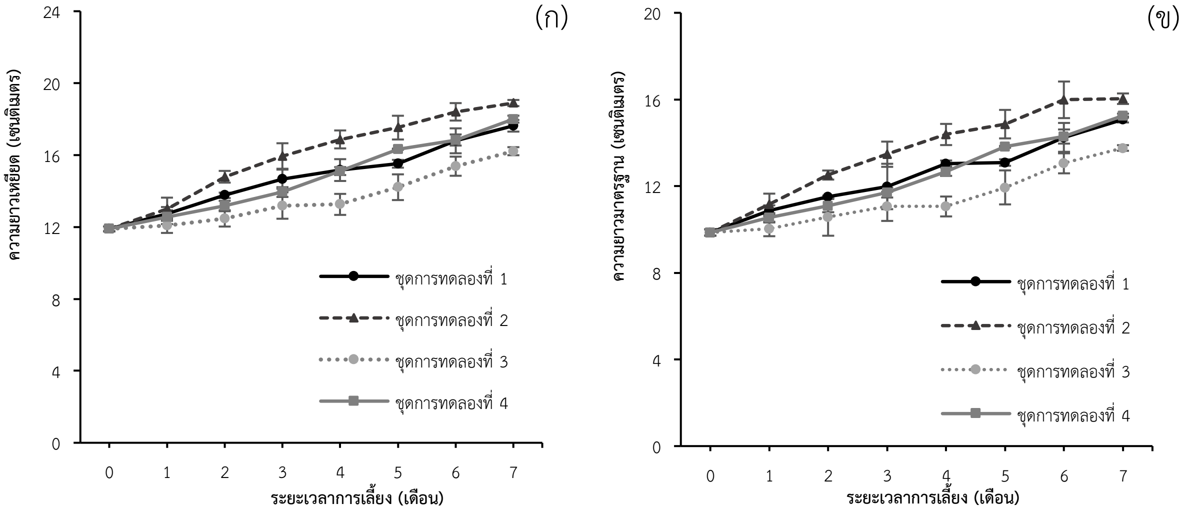
ผลการศึกษา

1. การเจริญเติบโต

เมื่อทดลองเลี้ยงปลากระบอกดำในระบบน้ำหมุนเวียนด้วย 2 ปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ ระดับความหนาแน่น และความถี่ของการให้อาหาร โดยใช้ความหนาแน่นของการเลี้ยงที่ต่างกัน 2 ระดับ คือ 20 และ 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และความถี่ในการให้อาหารที่ต่างกัน 2 ระดับ คือ 1 และ 2 มื้อต่อวัน โดยเริ่มต้นทดลองใช้ปลากระบอกดำที่มีความยาวเหยียด 11.89±0.13 เซนติเมตร ความยาวมาตรฐาน 9.86±0.14 เซนติเมตร และน้ำหนัก 18.13±0.62 กรัม เมื่อเลี้ยงนาน 7 เดือน พบว่าปลากระบอกดำแต่ละชุดการทดลองมีผลการเจริญเติบโต ดังนี้

1.1 ความยาวลำตัว

การศึกษาครั้งนี้ได้ตรวจสอบความยาวลำตัว 2 ค่าคือ ความยาวเหยียด และความยาวมาตรฐาน พบว่าปลากระบอกดำในชุดการทดลองที่ 2 (20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน) มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตที่ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ตั้งแต่เดือนที่ 2 ของการศึกษา (ภาพที่ 2) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อความยาวลำตัวของปลากระบอกดำทั้งความยาวเหยียด และความยาวมาตรฐาน ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะระดับความหนาแน่นของการเลี้ยงและความถี่ในการให้อาหารอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงปัจจัยเดียว พบว่าทั้งระดับความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลากระบอกดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความยาวเหยียด และความยาวมาตรฐานมากกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความยาวเหยียดเท่ากับ 18.27±0.73 และ 17.12±0.99 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความยาวมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 15.55±0.56 และ 14.52±0.83 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน พบว่าทั้งความยาวเหยียดและความยาวมาตรฐานสูงกว่าปลากระบอกดำที่ให้อาหารเพียง 1 มื้อต่อวัน โดยมีค่าความยาวเหยียด 18.45±0.52 และ 16.93±0.81 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความยาวมาตรฐานมีค่า 15.65±0.45 และ 14.42±0.72 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 2 ความยาวเหยียด (ก) และ ความยาวมาตรฐาน (ข) ของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลอง

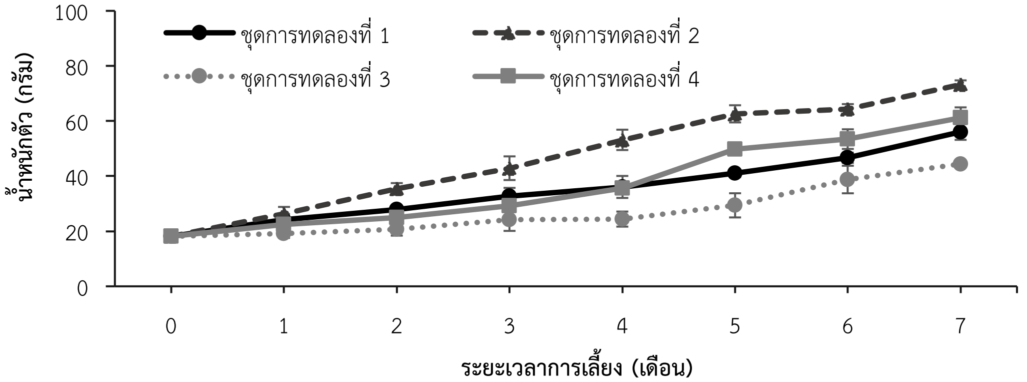
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความหนาแน่น ความถี่ในการให้อาหาร และอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวต่อความยาวเหยียดสุดท้าย (TL) ความยาวมาตรฐานสุดท้าย (SL) และน้ำหนักตัวสุดท้าย (BW) ของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน เป็นระยะเวลา 7 เดือน

ปัจจัย	ระดับ	TL (เซนติเมตร)	SL (เซนติเมตร)	BW (กรัม)
ความหนาแน่นของการปล่อย	20	18.27±0.73^{a}	15.55±0.56^{a}	64.65±9.63^{a}
(ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)	40	17.12±0.99^{b}	14.52±0.83^{b}	52.78±9.48^{a}
ความถี่ในการให้อาหาร	1	16.93±0.81^{y}	14.42±0.72^{y}	50.24±6.66^{y}
(มื้อต่อวัน)	2	18.45±0.52^{x}	15.65±0.45^{x}	67.18±7.12^{x}
ค่า P-value ของผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two-way ANOVA				
ความหนาแน่นของการปล่อย		0.045*	0.030*	0.057^{ns}
ความถี่ในการให้อาหาร		0.003*	0.005*	0.002*
ความหนาแน่นของการปล่อย x ความถี่ในการให้อาหาร		0.113^{ns}	0.052^{ns}	0.881^{ns}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่อักษร a และ b ใช้เปรียบเทียบปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย ส่วนอักษร x และ y ใช้เปรียบเทียบความถี่ในการให้อาหาร ส่วน ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$)

1.2 น้ำหนักตัว

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวตลอดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 2 (20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน) มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ตั้งแต่เดือนที่ 2 ของการศึกษาเช่นเดียวกันกับความยาวลำตัว (ภาพที่ 3) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลของน้ำหนักตัวมาทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อน้ำหนักตัวสุดท้ายของปลากระบอกดำ ($P>0.05$) โดยเมื่อพิจารณาเฉพาะระดับความหนาแน่นของการเลี้ยงเพียงปัจจัยเดียว พบว่าปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นทั้งสองระดับ (20 และ 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) มีน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่า 64.65±9.63 และ 52.78±9.48 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อพิจารณาปัจจัยของความถี่ในการให้อาหาร พบว่าปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน มีน้ำหนักตัวสูงกว่าชุดที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 67.18±7.12 และ 50.24±6.66 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 3 น้ำหนักตัวของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลอง

1.3 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลน้ำหนักปลากระบอกดำที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองมาหาค่า ADG และ SGR พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อ ADG และ SGR (P>0.05) (ตารางที่ 5) เมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยระดับความหนาแน่นของการเลี้ยง พบว่า ADG และ SGR ของทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่า ADG และ SGR เท่ากับ 0.23±0.05 กรัมต่อวัน และ 0.62±0.08 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ ส่วนปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ 0.17±0.05 กรัมต่อวัน และ 0.52±0.09 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความถี่ของการให้อาหาร พบว่าปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน มีค่า ADG และ SGR สูงกว่าปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยชุดที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวันมีค่า ADG เท่ากับ 0.24±0.04 กรัมต่อวัน และมีค่า SGR เท่ากับ 0.64±0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ในขณะที่ปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวัน มีค่าเท่ากับ 0.16±0.03 กรัมต่อวัน และ 0.49±0.07 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความหนาแน่น ความถี่ในการให้อาหาร และอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการกินอาหารต่อวัน (DFI) ของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 7 เดือน

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับ	ADG (กรัมต่อวัน)	SGR (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)	DFI (กรัมต่อวัน)
ความหนาแน่นของการปล่อย	20	0.23 ± 0.05^{a}	0.62 ± 0.08^{a}	1.85 ± 0.23^{a}
(ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)	40	0.17 ± 0.05^{a}	0.52 ± 0.09^{a}	1.38 ± 0.26^{b}
ความถี่ในการให้อาหาร	1	0.16 ± 0.03^{y}	0.49 ± 0.07^{y}	1.40 ± 0.27^{y}
(มื้อต่อวัน)	2	0.24 ± 0.04^{x}	0.64 ± 0.05^{x}	1.83 ± 0.25^{x}
ค่า P-value ของผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two-way ANOVA				
ความหนาแน่นของการปล่อย		0.053^{ns}	0.060^{ns}	0.008^{*}
ความถี่ในการให้อาหาร		0.020^{*}	0.020^{*}	0.017^{*}
ความหนาแน่นของการปล่อย x ความถี่ในการให้อาหาร		0.824^{ns}	0.459^{ns}	0.470^{ns}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยที่ อักษร a และ b สำหรับเปรียบเทียบปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย ส่วนอักษร x และ y สำหรับเปรียบเทียบปัจจัยความถี่ในการให้อาหาร

ส่วน ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

1.4 อัตราการกินอาหารต่อวัน (DFI)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระดับความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหาร (P>0.05) แต่เมื่อแยกพิจารณาแต่ละปัจจัย พบว่าปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่า DFI สูงกว่าที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 1.85±0.23 และ 1.38±0.26 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ส่วนปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 2

มื้อต่อวัน พบว่ามีค่า DFI สูงกว่าชุดการทดลองที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เท่ากับ 1.83±0.25 กรัมต่อวัน และ 1.40±0.27 กรัมต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

2. อัตราการรอดตาย

ผลการเลี้ยงปลากระบอกดำในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารที่แตกต่างกันเป็นเวลา 7 เดือน พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารต่ออัตราการรอดตายของปลากระบอกดำ (P>0.05) เช่นเดียวกับเมื่อพิจารณาแยกแต่ละปัจจัย พบว่าทั้งสองชุดการทดลองมีอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 และ 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราการรอดตายเท่ากับ 88.89±1.86 และ 90.56±1.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ปลากระบอกดำที่ให้อาหารด้วยความถี่แตกต่างกันพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เช่นเดียวกัน โดยปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวัน มีอัตราการรอดตายเท่ากับ 90.28±1.45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน มีอัตราการรอดตายเท่ากับ 89.17±2.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์อิทธิพลของระดับความหนาแน่น ความถี่ในการให้อาหาร และอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวต่ออัตราการรอดตาย (SR) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 7 เดือน

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับ	SR (เปอร์เซ็นต์)	FCR
ความหนาแน่นของการปล่อย	20	88.89 ± 1.86^{a}	2.44 ± 0.04^{a}
(ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)	40	90.56 ± 1.65^{a}	2.33 ± 0.05^{a}
ความถี่ในการให้อาหาร	1	90.28 ± 1.45^{x}	2.39 ± 0.05^{x}
(มื้อต่อวัน)	2	89.17 ± 2.05^{x}	2.38 ± 0.05^{x}
ค่า P-value ของผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two-way ANOVA			
ความหนาแน่นของการปล่อย		0.522^{ns}	0.146^{ns}
ความถี่ในการให้อาหาร		0.666^{ns}	0.807^{ns}
ความหนาแน่นของการปล่อย x ความถี่ในการให้อาหาร		0.216^{ns}	0.807^{ns}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยที่ อักษร a และ b สำหรับเปรียบเทียบปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย ส่วนอักษร x และ y สำหรับเปรียบเทียบปัจจัยความถี่ในการให้อาหาร ส่วน ^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

3. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

หลังจากการเลี้ยงปลากระบอกดำในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยระดับความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารที่แตกต่างกันเป็นเวลา 7 เดือน พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อค่า FCR ของปลากระบอกดำแต่ละชุดการทดลอง (P>0.05) เมื่อแยกพิจารณาแต่ละปัจจัย

พบว่าค่า FCR ของปลากระบอกดำทั้งที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารแตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 และ 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่า FCR เท่ากับ 2.44±0.04 และ 2.33±0.05 ตามลำดับ ส่วนปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 1 และ 2 มื้อต่อวัน มีค่า FCR เท่ากับ 2.39±0.05 และ 2.38±0.05 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

4. การกระจายขนาด (Size distribution) ของปลากระบอกดำ

จากการศึกษาการกระจายของน้ำหนักตัวปลากระบอกดำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7 เดือน) โดยนำผลของน้ำหนักตัวปลากระบอกดำแต่ละตัวในแต่ละชุดการทดลองมาจัดแบ่งกลุ่มตามขนาดของน้ำหนักตัว และหาเปอร์เซ็นต์การกระจายขนาดปลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ช่วง คือ น้อยกว่า 30.00 กรัม, 30.00 - 60.00 กรัม, 60.01 - 90.00 กรัม, 90.01 - 120.00 กรัม และมากกว่า 120.00 กรัม พบว่าปลากระบอกดำในชุดการทดลองที่ 2 (ความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน) มีการกระจายน้ำหนักในช่วง 60.01 - 90.00 กรัม มากที่สุด (51.69±13.95 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 (ความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 1 มื้อต่อวัน), 3 (ความหนาแน่น 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 1 มื้อต่อวัน) และ 4 (ความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน) พบว่าขนาดของปลากระบอกดำส่วนใหญ่อยู่ในช่วงน้ำหนัก 30.01 - 60.00 กรัม โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวเท่ากับ 59.49±8.28, 72.76±2.86 และ 56.73±9.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ชุดการทดลองที่ 2 ไม่พบปลากระบอกดำที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่า 30.00 กรัม ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 3 กลับพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของปลากระบอกดำที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 30.00 กรัม มากที่สุด (14.93±0.86 เปอร์เซ็นต์) ส่วนชุดการทดลองที่ 1 และ 4 พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.23±2.14 และ 0.58±1.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้มีเฉพาะชุดการทดลองที่ 4 เท่านั้นที่พบว่ามีปลากระบอกดำที่มีน้ำหนักมากกว่า 120.00 กรัม คิดเป็น 1.24±1.28 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนปลาทั้งหมด (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 เปอร์เซ็นต์การกระจายของน้ำหนักตัวปลากระบอกดำแต่ละชุดการทดลองที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 7 เดือน

ช่วงของน้ำหนัก	การกระจายขนาดน้ำหนักตัวปลากระบอกดำ (เปอร์เซ็นต์)			
	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 4
น้อยกว่า 30.00 กรัม	1.23±2.14	0.00±0.00	14.93±0.86	0.58±1.01
30.01 – 60.00 กรัม	59.46±8.28	27.77±11.30	72.76±2.86	56.73±9.66
60.01 – 90.00 กรัม	36.79±5.64	51.69±13.95	11.66±1.61	33.71±6.46
90.01 – 120.00 กรัม	2.52±2.18	20.54±3.97	0.65±1.13	7.74±3.42
มากกว่า 120.00 กรัม	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	1.24±1.08

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธีไค-สแควร์ เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกระจายน้ำหนักของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าทุกชุดการทดลองมีการกระจายน้ำหนักตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ยกเว้นชุดการทดลองที่ 1 เทียบกับชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติของการกระจายน้ำหนักตัวของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนของแต่ละชุดการทดลองด้วยวิธีไค-สแควร์

การเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง	ค่า χ^2	ค่า p-value
1 เทียบกับ 2	23.628	0.000**
1 เทียบกับ 3	28.874	0.000**
1 เทียบกับ 4	4.137	0.388^{ns}
2 เทียบกับ 3	88.935	0.000**
2 เทียบกับ 4	21.381	0.000**
3 เทียบกับ 4	53.411	0.000**

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$) และ
** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.01$)

5. คุณภาพน้ำและปริมาณแบคทีเรียในน้ำ

5.1 คุณภาพน้ำ

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลองโดยเก็บตัวอย่างน้ำจาก 3 จุด คือ น้ำในบ่อทดลอง น้ำก่อนผ่านระบบบำบัดชีวภาพ และน้ำก่อนผ่านหลอดยูวี ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นด่าง ปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด ปริมาณไนไตรท์ ปริมาณไนเตรท ปริมาณฟอสเฟต และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด พบว่ามีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 25.57±2.13 - 25.61±1.99 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.63±0.59 - 28.47±0.76 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.72±0.25 - 7.74±0.26 ความเป็นด่างอยู่ในช่วง 118.17±16.97 - 119.83±18.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.08±0.03 - 0.11±0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.04±0.03 - 0.05±0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0.03±0.02 - 0.04±0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.74±0.52 - 0.85±0.72 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 31.97±10.54 - 34.46±14.09 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง

พารามิเตอร์	ในบ่อทดลอง	ก่อนผ่านระบบบำบัด	ก่อนผ่านหลอดยูวี
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	25.61±1.99	25.57±2.19	25.57±2.13
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.97±0.56	27.63±0.59	28.47±0.76
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7.73±0.27	7.72±0.25	7.74±0.26
ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	118.17±16.97	119.83±18.60	118.65±20.63
ปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.11±0.06	0.08±0.04	0.08±0.03
ปริมาณไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.05±0.03	0.04±0.03	0.04±0.04
ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.03±0.02	0.04±0.02	0.03±0.02
ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.74±0.52	0.85±0.72	0.85±0.70
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	34.46±14.09	31.97±10.54	33.45±12.03

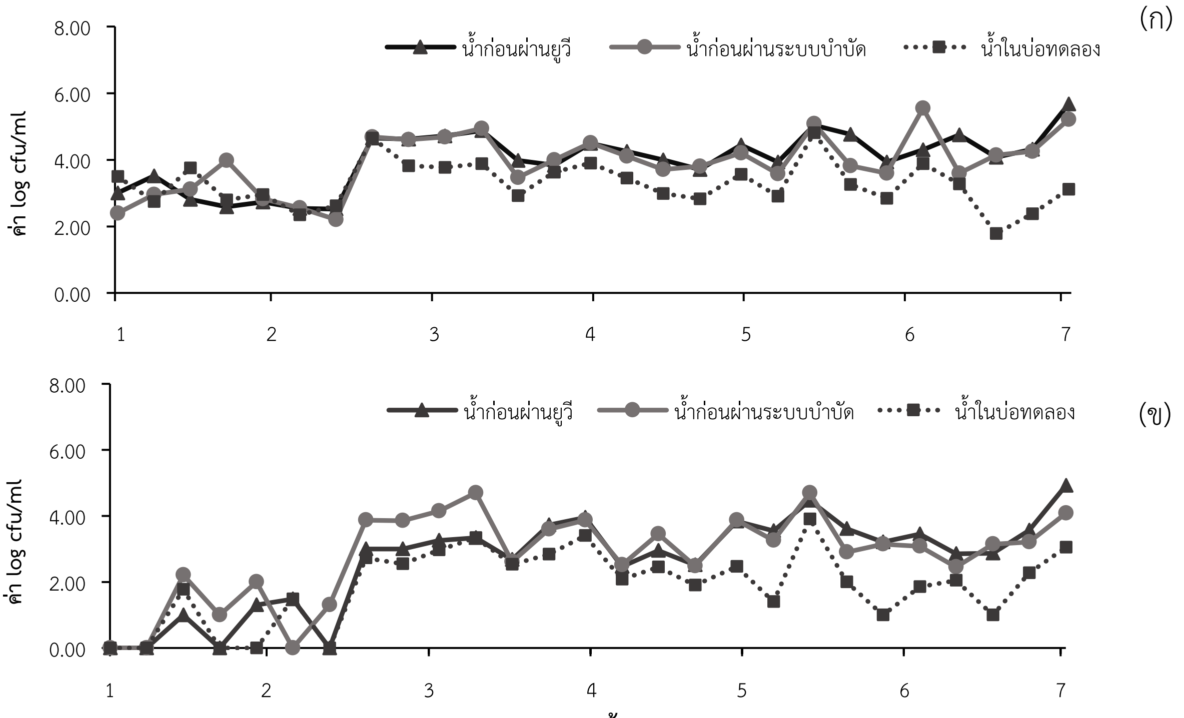
เมื่อนำปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด ปริมาณไนไตรท์ ปริมาณไนเตรท และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดของน้ำที่ออกจากบ่อทดลองมาเทียบกับปริมาณที่พบในน้ำของบ่อทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของระบบบำบัดน้ำชีวภาพของการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าระบบบำบัดชีวภาพมีความสามารถในการลดปริมาณของไนไตรท์ในน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือปริมาณไนเตรท ปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 48.88±19.20, 36.21±22.65, 29.02±14.79 และ 17.31±14.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำในระบบบำบัดน้ำชีวภาพของระบบน้ำหมุนเวียน

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
ปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด	29.02±14.79
ปริมาณไนไตรท์	48.88±19.20
ปริมาณไนเตรท	36.21±22.65
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด	17.31±14.18

5.2 ปริมาณแบคทีเรียในน้ำ

ผลการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียในน้ำของแต่ละจุดตลอดการทดลอง พบว่าปริมาณของแบคทีเรียทั้งแบคทีเรียรวมและแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอรวมในน้ำของแต่ละจุดในช่วงเดือนแรกของการเลี้ยงมีค่าใกล้เคียงกัน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในเดือนที่ 2 ของการเลี้ยง หลังจากนั้นพบว่าน้ำในบ่อทดลองซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีแล้วมีปริมาณแบคทีเรียน้อยกว่าที่พบในน้ำก่อนการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีและน้ำก่อนผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดชีวภาพ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ปริมาณของแบคทีเรียรวม (ก) และปริมาณของแบคทีเรียวิบริโอรวม (ข) ที่ตรวจพบในน้ำบ่อเลี้ยงปลากระบอกดำของแต่ละจุดตลอดการทดลอง

ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมของน้ำในบ่อทดลอง น้ำก่อนผ่านระบบบำบัดชีวภาพ และน้ำก่อนผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี มีค่าเท่ากับ $1.07 \pm 2.49 \times 10^4$, $3.55 \pm 7.94 \times 10^4$ และ $2.93 \pm 6.35 \times 10^4$ cfu/ml ตามลำดับ ส่วนปริมาณแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอรวม พบว่ามีค่าเท่ากับ $0.79 \pm 1.60 \times 10^3$, $5.11 \pm 11.6 \times 10^3$ และ $4.74 \pm 14.5 \times 10^3$ cfu/ml ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอที่พบส่วนใหญ่เป็นวิบริโอที่มีโคโลนีสีเหลือง (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียรวมและวิบริโอรวมในตัวอย่างน้ำของแต่ละจุด

กลุ่มของแบคทีเรีย		**ปริมาณแบคทีเรียที่พบในระบบน้ำหมุนเวียน (cfu/ml) แต่ละจุด**		
		น้ำในบ่อทดลอง	**ก่อนผ่านระบบบำบัด**	**ก่อนผ่านเครื่องยูวี**
1. แบคทีเรียรวม	สูงสุด	1.30×10^5	4.70×10^5	3.50×10^5
	ต่ำสุด	0.60×10^2	3.30×10^2	1.60×10^2
	ค่าเฉลี่ย	$1.07 \pm 2.49 \times 10^4$	$3.55 \pm 7.94 \times 10^4$	$2.93 \pm 6.35 \times 10^4$
2. วิบริโอรวม	สูงสุด	8.10×10^3	8.30×10^4	8.30×10^4
	ต่ำสุด	0	0	0
	ค่าเฉลี่ย	$0.79 \pm 1.60 \times 10^3$	$5.11 \pm 11.6 \times 10^3$	$4.74 \pm 14.5 \times 10^3$
2.1 วิบริโอโคโลนีสีเขียว	สูงสุด	0.65×10^4	6.40×10^4	3.90×10^4
	ต่ำสุด	0	0	0
	ค่าเฉลี่ย	$0.43 \pm 1.14 \times 10^3$	$4.27 \pm 11.3 \times 10^3$	$3.06 \pm 7.56 \times 10^3$
2.2 วิบริโอโคโลนีสีเหลือง	สูงสุด	0.65×10^4	1.90×10^4	2.60×10^4
	ต่ำสุด	0	0	0
	ค่าเฉลี่ย	$0.62 \pm 1.40 \times 10^3$	$1.76 \pm 3.87 \times 10^3$	$2.04 \pm 4.89 \times 10^3$

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการทดลองเลี้ยงปลากระบอกดำในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยระดับความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่อวันที่แตกต่างกันเป็นเวลา 7 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารต่อการเจริญเติบโตทั้งความยาวเหยียดเฉลี่ย ความยาวมาตรฐานเฉลี่ย และน้ำหนักตัวเฉลี่ยของปลากระบอกดำ ($P>0.05$) แต่เมื่อแยกพิจารณาแต่ละปัจจัยหลักพบว่าระดับความหนาแน่นที่มากขึ้นมีผลทำให้ปลากระบอกดำมีการเจริญเติบโตลดลง กล่าวคือเมื่อเลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่ามีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 40 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Kumar *et al*. (2021) ซึ่งทดลองเลี้ยงปลากระบอกเทา (*Mugil cephalus*) ในกระชังขนาดกว้าง x ยาว x ลึก เท่ากับ 1 x 1 x 2 เมตร ด้วยความหนาแน่นที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 20, 40, 60 และ 80 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด ในขณะที่ปลาที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 80

ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด และให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Khairnar *et al*. (2021) ซึ่งทดลองเลี้ยงปลากระบอกหัวเสี้ยม (*Liza parsia*) ในคอกด้วยความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) เป็นเวลา 30 วัน พบว่าที่ระดับความหนาแน่น 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปลามีการเจริญเติบโตสูงที่สุด อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาในปลากระบอกเทาของ Abdel-Tawwab *et al*. (2005), Bakeer (2006) และ Eid (2006) นอกจากนี้ยังให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาการเจริญเติบโตของปลาชนิดอื่น ๆ ที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ทั้งนี้พบว่าปลาจะแสดงผลในเชิงลบ (Negative effect) เมื่อเลี้ยงด้วยระดับความหนาแน่นที่มากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาการ Hepher (1988); Wang *et al*. (2000); Tan *et al*. (2018) และ Ezhilmathi *et al.* (2022) ซึ่งกล่าวว่าการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลามีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็นปฏิภาคผกผันกับอัตราความหนาแน่นของการเลี้ยง กล่าวคือเมื่อเลี้ยงปลาด้วยความหนาแน่นมากขึ้น จะส่งผลทำให้ปลามีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายลดลง เนื่องจากความหนาแน่นที่มากขึ้น มีผลทำให้ปลาเครียดและมีระดับฮอร์โมน Cortisol ในเลือดสูง ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของระดับเมตาบอลิซึมพลังงาน (Energy metabolism) ของปลา จึงทำให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตลดลง (Cowey and Sargent, 1979) ในขณะที่เมื่อเลี้ยงปลาด้วยความหนาแน่นน้อย จะทำให้ปลามีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความเครียด ได้แก่ ยีน Heat shock protein (HSP) ทั้ง HSP70 และ HSP90 ต่ำ ส่งผลให้ปลามีความเครียดน้อย ทำให้ปลากินอาหารได้ดีกว่า จึงทำให้เจริญเติบโตได้ดีกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูง (เกรียงไกร, 2559) แตกต่างจากการศึกษาของ Samad *et al.* (2014) ที่เลี้ยงปลากะรังขนาด 14.22±0.67 กรัม ในระบบน้ำหมุนเวียนด้วยความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 ตัวต่อถัง ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 100 ลิตร เป็นเวลา 70 วัน พบว่าปลากะรังที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นมากที่สุด (25 ตัวต่อถัง) กลับมีผลการเจริญเติบโตดีที่สุด เนื่องจากเป็นระดับความหนาแน่นที่ยังไม่สูงมากเพียงพอ จนทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียดที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการกินอาหาร และทำให้ปลาเจริญเติบโตลดลงได้ (Moniruzzaman *et al*., 2015)

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความถี่ของการให้อาหารต่อการเจริญเติบโตของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าการเจริญเติบโตของปลากระบอกดำแปรผันตรงตามความถี่ของการให้อาหารต่อวัน โดยปลากระบอกดำที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน มีความยาวเหยียด ความยาวมาตรฐาน และน้ำหนักตัวสูงกว่ากลุ่มที่ให้อาหาร 1 มื้อต่อวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของสามารถ และไพบูลย์ (2548); โสมลดา และวลีรัตน์ (2548); Başçınar *et al*. (2007) และ Calixto da Silva *et al*. (2020) ทั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของเวียง (2542); Shelbourn *et al*. (1973) และ Jobling (1983) ซึ่งกล่าวว่าปริมาณอาหารที่ให้สัตว์น้ำกินในแต่ละวันควรเท่ากับปริมาณที่สัตว์น้ำกินได้ต่อวัน กล่าวคือควรให้สัตว์น้ำกินจนอิ่มทุกครั้ง เนื่องจากการจำกัดปริมาณการให้อาหารหรือการให้อาหารน้อยเกินไป จะมีผลทำให้สัตว์น้ำโตช้า โดยความถี่ของการให้อาหารที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำแต่ละชนิดนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น รูปแบบการเลี้ยง ชนิด และอายุของสัตว์น้ำ เป็นต้น (Greaves and Tuene, 2001; Kousoulaki *et al*., 2015)

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการกินอาหารต่อวัน (DFI) ของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ El-Sayed (2002); Choi *et al*. (2011) และ Ghozlan (2018) กล่าวว่าประสิทธิภาพด้านการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำทั้งค่า ADG และ SGR จะมีค่าน้อยลงเมื่อเลี้ยงด้วยความหนาแน่นที่สูงขึ้นและความถี่ของการให้อาหารน้อย เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิตไปใช้ในการแย่งชิงอาหาร รวมถึงการแย่งพื้นที่อาศัย ทำให้สัตว์น้ำมีความเครียดเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำได้

ส่วนอัตราการรอดตายของปลากระบอกดำที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารที่แตกต่างกันกลับพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 88.89±1.86 - 90.56±1.65 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารแตกต่างจากการศึกษาของ Karim *et al.* (2011) ซึ่งทดลองเลี้ยงปลากระบอกเทาในบ่อดินด้วยความหนาแน่นต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 1.5 และ 2 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 240 วัน พบว่าอัตราการรอดตายของปลากระบอกเทาแปรผกผันตามความหนาแน่นของการเลี้ยง โดยที่ความหนาแน่น 1 ตัวต่อตารางเมตร ทำให้ปลากระบอกเทามีอัตราการรอดตายสูงที่สุด (86 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือที่ความหนาแน่น 1.5 และ 2 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าระดับความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ยังมีค่าไม่สูงมากเกินไปจนเป็นสาเหตุทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียดที่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานในร่างกายของปลาผิดปกติ ทำให้ปลาสามารถกินอาหารได้เป็นปกติและมีอัตราการรอดตายของแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกันสอดคล้องกับรายงานของ Vijayan and Leatherland (1988) ซึ่งกล่าวว่าหากอัตราความหนาแน่นของการเลี้ยงปลายังไม่มากเกินไปจนทำให้ปลาเกิดความเครียดหรือเรียกว่า Chronic crowding stress ซึ่งมีผลทำให้ปลาเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและดำรงชีวิตผิดปกติไปก็จะไม่ส่งผลทำให้ปลามีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายลดลง

ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.33±0.05 - 2.44±0.04 ซึ่งต่ำกว่าการศึกษาของ Karim *et al.* (2011) ที่ทดลองเลี้ยงปลากระบอกเทาในบ่อดินด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปพบว่ามีค่า FCR อยู่ระหว่าง 2.63 - 3.32 และการศึกษาของ Rostami *et al.* (2016) ซึ่งเลี้ยงปลากระบอกเทาเป็นระยะเวลา 2 ปี โดยปีที่ 1 เลี้ยงด้วยความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ 5,000 และ 10,000 ตัวต่อเฮกตาร์ และปีที่ 2 เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2,000 และ 2,500 ตัวต่อเฮกตาร์ พบว่ามีค่า FCR มากขึ้นเมื่อเลี้ยงด้วยความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.51±0.01 - 3.90±0.05 ทั้งนี้เนื่องจากการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยความหนาแน่นที่มากเกินไป ส่งผลทำให้สัตว์น้ำมีความเครียดและเกิดผลกระทบต่อการกินอาหารลดลง ทำให้ค่า FCR สูงขึ้น (Chakraborty *et al.*, 2010)

ผลการทดสอบความแตกต่างของการกระจายน้ำหนักตัวสุดท้ายของปลากระบอกดำในแต่ละชุดการทดลองพบว่า การเลี้ยงปลากระบอกดำด้วยความหนาแน่นและความถี่ของการให้อาหารที่ต่างกัน ทำให้ปลามีสัดส่วนการกระจายของน้ำหนักตัวแตกต่างกัน โดยปลาที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูงจะมีสัดส่วนของปลาที่มีขนาดเล็กมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยระดับความหนาแน่นต่ำกว่า ในขณะที่ปลาที่ให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน ก็พบว่ามีสัดส่วนของปลาขนาดใหญ่มากกว่าปลาที่ให้อาหารเพียงวันละหนึ่งมื้อ แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปลาที่มีขนาดเล็กเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระดับความหนาแน่น แต่เป็นปฏิภาคผกผันกับความถี่ในการให้อาหารต่อวัน สอดคล้องกับการศึกษาของอรรณพ และณรงค์ศักดิ์ (2550) ซึ่งทดลองเลี้ยงปลาโมงด้วยความหนาแน่นที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 40, 80, 120 และ 160 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เป็นระยะเวลา 495 วัน พบว่ามีการกระจายของน้ำหนักตัวสุดท้ายปลาโมงแตกต่างกัน โดยปลาโมงที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 160 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีจำนวนปลาที่มีขนาดเล็กมากที่สุดและมีปลาขนาดใหญ่น้อยที่สุด และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของวิระวรรณ และศิราณี (2550) ซึ่งทดลองเลี้ยงปลาสายยูด้วยความหนาแน่นที่ต่างกัน (50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) พบว่าปลาสายยูที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีสัดส่วนของปลาขนาดเล็กมากที่สุด (54.32±8.24 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ 100 และ 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าเท่ากับ 30.14±15.32 และ 11.22±4.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเลี้ยงปลาด้วยความหนาแน่นสูง

มากเกินไปมีผลต่อการแย่งอาหาร การแย่งพื้นที่อาศัย และมีของเสียในบ่อได้มากกว่า จึงเป็นโอกาสทำให้ปลามีการเจริญเติบโตช้ากว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นต่ำกว่า (สุริยัญ และคณะ, 2563)

สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในครั้งนี้ พบว่าทุกพารามิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกันในทั้งสามจุดเก็บตัวอย่างน้ำและอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งและปลาทะเล (Bhowmik *et al*., 1992; Ali *et al*., 1999; Chakraborti *et al*., 2002; Jana *et al*., 2004) ซึ่งควรมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 10 - 35 ส่วนในพันส่วน ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.5 - 8.5 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 24 - 30 องศาเซลเซียส ความเป็นด่างอยู่ในช่วง 20 - 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมดควรมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์ควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Abdullahi and Okonji (2018) ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำ พบว่าระบบมีความสามารถในการลดหรือกำจัดปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด ไนไตรท์และไนเตรทได้ โดยคิดเป็น 29.02 ± 14.79, 48.88 ± 19.20 และ 36.21 ± 22.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยกว่าผลการศึกษาของอรัญญาและคณะ (2551) ซึ่งทดลองเลี้ยงปลากะรังดอกแดง (*Epinephelus coioides*) ระยะวัยรุ่น (125.7 ± 38.2 กรัม) ให้ได้ขนาดตลาดในระบบน้ำหมุนเวียน เป็นเวลา 8 เดือน ด้วยระดับความหนาแน่นต่างกัน (30, 40, 50 และ 60 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) พบว่าระบบบำบัดน้ำหมุนเวียนมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ถึง 49.9 - 77.1 เปอร์เซ็นต์ และ 33.6 - 65.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากระดับความหนาแน่นที่มากกว่าและปลาที่มีขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้เกิดของเสียในระบบมากกว่าส่งผลให้เห็นผลของการบำบัดได้ชัดเจนมากกว่า สำหรับปริมาณและบทบาทของแบคทีเรียในน้ำของการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียน นับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากแบคทีเรียโดยเฉพาะกลุ่ม Autotrophic nitrifying bacteria มีหน้าที่สำคัญของการเปลี่ยนสารพิษที่ละลายน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำให้เป็นสารประกอบที่ไม่เป็นพิษ คือ ไนเตรท ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าปริมาณของแบคทีเรียในน้ำของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างค่อย ๆ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในช่วงเดือนแรกของการเลี้ยง หลังจากนั้นปริมาณแบคทีเรียรวมค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบเป็นแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอ มีปริมาณอยู่ในช่วง 10^3 - 10^4 cfu/ml ส่วนปริมาณของแบคทีเรียรวมพบว่าอยู่ในช่วง 10^4 - 10^5 cfu/ml ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในสภาวะที่สมดุลสามารถควบคุมปริมาณของแบคทีเรียในระบบให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อปลา (สุนิตย์ และคณะ, 2547) และมีปริมาณใกล้เคียงกับการศึกษาของ Blancheton (1995) ซึ่งเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าปริมาณของแบคทีเรียในน้ำสูงสุดที่ออกจากถังเลี้ยงมีประมาณ 10^4 - 10^5 cfu/ml และสอดคล้องกับการศึกษาของ Leonard *et al*. (2000) พบว่าปริมาณของแบคทีเรียในระบบจะคงที่เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบการเลี้ยงที่คงที่ เช่น ระบบน้ำหมุนเวียน แต่หากเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบเปิด เช่น ระบบน้ำผ่านตลอด (Flow through system) จะมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วงกว้าง สามารถพบปริมาณของแบคทีเรียวิบริโอได้ตั้งแต่ 10^3 - 10^5 cfu/ml และปริมาณแบคทีเรียรวมอยู่ในช่วง 10^3 - 10^7 cfu/ml ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้สัตว์น้ำที่เลี้ยงในระบบเปิดมีโอกาสเกิดความเครียด และเกิดการติดเชื้อได้สูงกว่าปลาที่เลี้ยงในระบบปิดที่มีความสมดุลของระบบมากกว่า

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนของการลงทุนของทุกชุดการทดลอง พบว่าการเลี้ยงปลากระบอกดำด้วยระบบน้ำหมุนเวียนมีต้นทุนการผลิตที่สูง โดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า แต่เห็นได้ว่าเป็นระบบการเลี้ยงที่มีความน่าสนใจสำหรับการพัฒนาไปสู่ระบบการเลี้ยงปลากระบอกดำให้เป็นพ่อแม่พันธุ์ซึ่งจะสามารถควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมให้คงที่ตลอดการเลี้ยง ลดปัญหาของ

การเกิดโรค ซึ่งเห็นได้จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (7 เดือน) ไม่พบการติดเชื้อทั้งปรสิตภายนอก การติดเชื้อแบคทีเรียและการติดเชื้อไวรัสในปลากระบอกดำที่ทำการทดลอง อีกทั้งในระหว่างการเลี้ยงยังสามารถฝึกให้กินอาหารเม็ดสำเร็จรูปและสามารถขุนเลี้ยงด้วยอาหารเสริมหรือวิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามินอี และวิตามินซี เพื่อให้ปลากระบอกดำได้รับสารอาหารที่เหมาะสม เป็นการสร้างมูลค่าของปลากระบอกดำสำหรับการจำหน่ายเป็นพ่อแม่พันธุ์ให้แก่เกษตรกรให้สามารถนำไปเลี้ยงเพื่อการผลิตลูกพันธุ์ปลากระบอกดำที่มีคุณภาพ อีกทั้งยังทำให้สามารถวางแผนการผลิตลูกพันธุ์ปลากระบอกดำได้ตลอดทั้งปีสอดคล้องตามความต้องการของเกษตรกร รวมถึงการต่อยอดไปสู่การพัฒนาเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดใหม่ สร้างอาชีพให้แก่เกษตรกรทั้งด้านการผลิตลูกพันธุ์และการเลี้ยงปลากระบอกดำได้อย่างยั่งยืนต่อไป

สรุปผลการศึกษา

1. การเลี้ยงปลากระบอกดำในระบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราความหนาแน่น 20 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และให้อาหาร 2 มื้อต่อวัน ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุดทั้งความยาวลำตัว และน้ำหนักตัว
2. ระดับความหนาแน่นและจำนวนมื้อในการให้อาหารที่แตกต่างกันไม่มีผลต่ออัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากระบอกดำที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน
3. ในระบบน้ำหมุนเวียนของการศึกษาครั้งนี้ สามารถลดปริมาณของไนไตรท์ในน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือปริมาณไนเตรท ปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การเลี้ยงปลากระบอกดำในระบบน้ำหมุนเวียน นับว่ายังเป็นรูปแบบการเลี้ยงที่มีต้นทุนสูง โดยเฉพาะค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับการสูบน้ำและระบบให้อากาศของโรงเพาะฟัก ดังนั้นการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการใช้พลังงานทางเลือก เช่น โซลาเซลล์ จึงนับว่าเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยประหยัดต้นทุนด้านพลังงานในระยะยาว เพื่อการพัฒนาให้เกิดรูปแบบการเลี้ยงปลากระบอกดำที่ยั่งยืนได้ รวมทั้งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระดับความหนาแน่นของการเลี้ยงและจำนวนมื้อของการให้อาหารที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้สามารถเพิ่มรายได้ และลดต้นทุนของการผลิตปลากระบอกดำในอนาคตได้อีกแนวทางหนึ่ง

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงเพาะฟักปลาทะเล ฝ่ายผลิตพันธุ์สัตว์น้ำชายฝั่งและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสุราษฎร์ธานีทุกคนที่มีส่วนช่วยในการสนับสนุนให้การดำเนินการศึกษาครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และสุดท้ายขอขอบพระคุณคณะกรรมการวิชาการของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสุราษฎร์ธานี และกองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และช่วยตรวจสอบแก้ไขงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2554. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2552. เอกสารฉบับที่ 9/2554. ศูนย์สารสนเทศ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 91 หน้า.

กรมประมง. 2555. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2553. เอกสารฉบับที่ 12/2555. ศูนย์สารสนเทศ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 91 หน้า.

กรมประมง. 2556. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2554. เอกสารฉบับที่ 11/2556. ศูนย์สารสนเทศ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 90 หน้า.

กรมประมง. 2557. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2555. เอกสารฉบับที่ 9/2557. ศูนย์สารสนเทศ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 91 หน้า.

กรมประมง. 2558. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2556. เอกสารฉบับที่ 7/2558. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 87 หน้า.

กรมประมง. 2559. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2557. เอกสารฉบับที่ 11/2559. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 87 หน้า.

กรมประมง. 2560. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2558. เอกสารฉบับที่ 5/2560. กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 87 หน้า.

กรมประมง. 2561. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2559. เอกสารฉบับที่ 12/2561. กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 87 หน้า.

กรมประมง. 2562. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2560. เอกสารฉบับที่ 9/2562. กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 87 หน้า.

เกรียงไกร สีตะพันธุ์. 2559. การเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของปลาบู่ทราย (*Oxyeleotris mamorata* Bleeker, 1852). วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 270 หน้า

จิระภา โพธิ์ศรี, เกรียงไกร สหัสสานนท์, ประภาส สุตันติราษฎร์ และ ฐิติ จันทร์คล้อย. 2551. การเลี้ยงปลาบู่ในกระชังในระบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาการประมงน้ำจืด, กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 18 หน้า.

นราทิพย์ ชุติวงศ์. 2545. ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์จุลภาค. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 487 หน้า.

นิคม ละอองศิริวงศ์, ลักขณา ละอองศิริวงศ์, พัชรา แมเร๊าะ และ คมน์ ศิลปาจารย์. 2554. การเลี้ยงปลากะพงขาวขนาด 4-6 นิ้วในระบบน้ำหมุนเวียน. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 เล่มที่ 3 สาขาประมง. หน้า 92-99.

นิเวศน์ เรืองพานิช, เรณู ยาชิโร และ วิชัย วัฒนกุล. 2536. การเพาะและอนุบาลลูกปลากระบอกดำ (*Liza subviridis*). เอกสารวิชาการฉบับที่ 18/2536. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 13 หน้า.

ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร. 2564. ประกาศธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตรที่ 2364/2564 เรื่องอัตราดอกเบี้ยเงินฝาก 24 มิถุนายน 2564.

ธีระชัย พงศ์จรรยากุล, นเรศ นาเมืองรักษ์, พิน ทรงอาษา และ ชูศักดิ์ จงงาม. 2553. การเลี้ยงปลาเทโพด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนต่ำสลับกับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 26/2553. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 23 หน้า.

พิษณุ นาอนันต์, วิลาสินี ดำชุม และ มานพ เห็นดีน. 2541. การเลี้ยงปลากระบอกดำ (*Liza subviridis*) ในบ่อดินเพื่อเป็นพ่อ-แม่พันธุ์. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36: บทคัดย่อ 3-5 กุมภาพันธ์ 2541 หน้า 137.

วิระวรรณ ระยัน และ ศิราณี งอยจันทร์ศรี. 2550. การเลี้ยงปลาสายยูในกระชังด้วยความหนาแน่นต่างกันในแม่น้ำโขง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2550. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 20 หน้า.

วิชัย วัฒนกุล, เรณู ยาชิโร, นิเวศน์ เรืองพานิช และ ประมวล อ่อนละมัย. 2537. การทดลองอนุบาลและเลี้ยงปลากระบอกดำ (*Liza subviridis*). เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2537. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 22 หน้า.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2542. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหารสัตว์น้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 255 หน้า.

สมชาติ สุขวงศ์. 2517. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการผสมเทียมปลากระบอกดำ (*Mugil dussumieri* C&V) รายงานผลการปฏิบัติงานทางวิชาการประจำปี 2516-2517 สถานีประมงทะเลสงขลา, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 84-102.

สมศักดิ์ เพียบพร้อม. 2530. หลักและวิธีการจัดการธุรกิจฟาร์ม. โอ เอสพริ้นติ้งเฮาส์, กรุงเทะมหานคร. 240 หน้า.

สามารถ เดชสถิตย์ และ ไพบูลย์ บุญลิปตานนท์. 2548. ผลของความถี่การให้อาหารต่อการเจริญเติบโตของปลากะรังเหลืองจุดฟ้า *Plectropomus maculatus* (Bloch, 1790) น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 341 กรัม. เอกสารวิชาการฉบับที่ 50/2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 12 หน้า.

สันติชัย รังสิยาภิรมย์, ศุภวัฒน์ โกมลมาลย์ และ สุวีณา บานเย็น. 2541. การเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชังที่ลุ่มน้ำคลองยัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2541. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 22 หน้า.

สิริ ทุกข์วินาศ, ขวัญฤทัย ถนอมเกียรติ และ ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2542. ประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีชีวภาพ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2542. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 11 หน้า.

สุชาดา บุญภักดี และ สุวิมล เสนาลักษณ์. 2547. ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลากระบอกดำ *Liza subviridis* (Valenciennes, 1836) ในอ่าวบ้านดอน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2547. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 18 หน้า.

สุนิตย์ โรจนพิทยากุล, เจนจิตต์ คงกำเนิด และ เยาวนิตย์ ดนยดล. 2547. การเลี้ยงปลากะรังดอกแดง *Epinephelus coioides* (HAMILTON) ในระบบน้ำหมุนเวียน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2547. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 18 หน้า.

สุนิตย์ โรจนพิทยากุล, นภสินธุ์ รัตนสมบูรณ์ และ ยุวดี สกุลแก้ว. 2548. การเลี้ยงปลากะพงขาว, *Lates calcarifer* (Bloch) ขนาด 2 นิ้ว ถึง 6 นิ้ว ในระบบน้ำหมุนเวียนโดยใช้อวนไนลอนเป็นไบโอฟิลเตอร์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 35/2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 14 หน้า.

สุริยัญ แสงหงษ์, อัญชลี นงค์นวล, สุภาพร มหันต์กิจ และ โยธิน เทอดวงศ์วรกุล. 2563. การเลี้ยงปลาอีกงในบ่อดินที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 16/2550. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 21 หน้า.

โสมลดา ประเสริฐสม และ วลีรัตน์ มูสิกะสังข์. 2548. ผลของความถี่การให้อาหารสำเร็จรูปต่อการเจริญเติบโตของปลากะพงขาว, *Lates calcarifer* (BLOCH) ที่เลี้ยงในกระชังให้ได้ขนาดตลาด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 40/2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 16 หน้า.

องค์การสะพานปลา. 2565. ราคาสัตว์น้ำประจำวันที่ 28 เม.ย. 2565. แหล่งที่มา: fishmarket.co.th. 28 เมษายน 2565.

อนันต์ สีหิรัญวงศ์, ไชยวัฒน์ รัตนดาดาษ และ เจริญไชย ศรีสุวรรณ. 2541. ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของการเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชังในพื้นที่ดินพรุ จังหวัดนราธิวาส. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2541. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 20 หน้า

อนุวัตน์ รัตนโชติ, มณีย์ กรรณรงค์, สุวิท ชูช่วย และ สมพร เกื้อสกุล. 2558. ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลากระบอกดำ (*Liza subviridis* Val.) ในอ่าวบ้านดอน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 52/2558. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 18 หน้า.

อรรณพ อิ่มศิลป์ และ ณรงค์ศักดิ์ ศิริชัยพันธุ์. 2550. การเลี้ยงปลาโมงในกระชังที่ระดับความหนาแน่น ต่างกัน 4 ระดับ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 16/2550. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 21 หน้า.

อรัญญา อัศวอารีย์, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และ นิคม ละอองศิริวงศ์. 2551. การเลี้ยงปลากะรังดอกแดง (*Epinephelus coioides* Hamiltion, 1822) ระยะวัยรุ่นให้ได้ขนาดตลาดในระบบน้ำหมุนเวียน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 45/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 22 หน้า.

อังสุนีย์ ชุณหปราณ. 2537. ชีววิทยาปลากระบอกดำในทะเลสาบสงขลาและบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 11/2537. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 21 หน้า.

Abdel-Tawwab, M., A. M. Eid, A. E. Abdel-Ghany and H. I. El-Marakby. 2005. The Assessment of Water Quality and Primary Productivity in Earthen Ponds Stocked with Stripped Mullet (*Mugil cephalus*) and Subjected to Different Feeding Regimes. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 5 (1): 1-10.

Abdel-Gawad, A. and A. R. Salama. 2007. Effect of Stocking Densities of Grey Mullet (*Mugil cephalus*) Reared on Natural Food in Monoculture Earthen Ponds on Growth Performance and Total Production with Economical Evaluation. *Egypt. J. Aquat. Biol. Fish.* 11 (3): 41-56.

Abdullahi, M. M. and V. A. Okonji. 2018. Growth Performance and Survival of *Liza falcipinnis* Cultured in Brackish Water at Different Stocking Densities. *J. Food Agric. Environ.* 14 (1): 135-142.

Ali, M. S., A. F. M. Shofiquzzoha and S. U. Ahmed. 1999. Effect of Submerged Aquatic Vegetation on Growth and Survival of *Penaeus monodon* (Fab.). *Bangladesh J. Fish. Res.* 3: 145-149.

APHA-AWWA-WPCF. 1980. Standard Method for the Examination of Water and Waste Water. 15th ed. Washington DC, U.S.A. 1134 pp.

APHA-AWWA-WEF. 2012. Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. 22nd ed. American Public Health Association, Washington DC. U.S.A. 724 pp.

Bakeer, M. N. 2006. Performance of Grey Mullet (*Mugil cephalus* L.) Reared in Monoculture in the New Desert Areas. *Arab. Aquac. Soc*. 1 (2): 44-56.

Başçınar, N., E. Çakmak, Y. Çavdar and N. Aksungur. 2007. The Effect of Feeding Frequency on Growth Performance and Feed Conversion Rate of Black Sea Trout (*Salmo trutta* labrax Pallas, 1811). *Turkish J. Fish. Aquat. Sci*. 7 (1): 13-17.

Bhowmik, M. L., R. K. Chakraborti, S. K. Mandal, and P. K. Ghosh. 1992. Growth of *Penaeus monodon* (Fab.) under Variable Stocking Densities. *Environ. Ecol*. 10: 825-828

Blancheton, J. P. and B. Canaguier. 1995. Bacteria and Particulate Materials in Recirculating Seabass (*Dicentrachus labrax*) Production System. *Aquaculture*. 133: 215-224.

Calixto da Silva, E., F. C. Sterzelecki, L. A. Musialak, J. K. Sugai, J. D. J. P Castro, F. S. Pedrotti, C. Magnotti, F. D. S. Cipriano and V. R. Cerqueira. 2020. Effect of Feeding Frequency on Growth Performance, Blood Metabolites, Proximate Composition and Digestive Enzymes of Lebranche Mullet (*Mugil liza*) Juveniles. *Aquac Res*. 51 (3): 1162-1169.

Chakraborti, R. K., J. K. Sundaray, and T. K. Ghoshal. 2002. Production of *Penaeus monodon* in the Tide Fed Ponds of Sunderbans. *Indian J. Fish.* 49: 419-426.

Chakraborty, S. B., D. Mazumdar and S. Banerjee. 2010. Determination of Ideal Stocking Density for Cage Culture of Monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in India. *Proc. Zool. Soc*. 63 (1): 53-59.

Chan, E. H. and T. E. Chua. 1979. The Food and Feeding Habits of Greenback Grey Mullet, *Liza subviridis* (Valenciennes), from Different Habitats and at Various Stages of Growth. *J. Fish Biol*. 15 (2): 165-171.

Choi, Y. U., H. S. Park and S. Y. Oh. 2011. Effects of Stocking Density and Feeding Frequency on the Growth of the Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci*. 44 (1): 58-63. (in Korean, English abstract).

Cowey, C. B. and J. R. Sargent. 1979. Nutrition. In: W. S. Hoar, D. J. Randall and J. R. Brett (eds), Fish Physiology Vol. VIII. Academic Press, New York. pp. 1-69.

Eid, A. M. 2006. Effect of Stocking Density on Growth Performance and Production of Grey Mullet (*Mugil cephalus*). *Egypt. J. Aquat. Res*. 84 (1): 51-59.

El-Sayed, A. F. M. 2002. Effects of Stocking Density and Feeding Levels on Growth and Feeding Efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Fry. *Aquac. Res*. 33 (8): 621-626.

Ezhilmathi, S., B. Ahilan, A. Uma, N. Felix, A. Cheryl and R. S. S. Lingam. 2022. Effect of Stocking Density on Growth Performance, Digestive Enzyme Activity, Body Composition and Gene Expression of Asian Seabass Reared in Recirculating Aquaculture System. *Aquac. Res.* 53 (5): 1963-1972.

Ghozlan, A. 2018. Effect of Stocking Density on Growth Performance, Production Trait, Food Utilization and Body Composition, of Meagre (*Argyrosomus regius). World J. Eng. Tech.* 6 (3): 37-47.

Greaves, K. and S. Tuene. 2001. The Form and Context of Aggressive Behavior in Farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*. 193 (1-2): 139-147.

Harrison, I. J. and H. Senou. 1999. Mugilidae. In: K. E. Carpenter and V. H. Niem (eds.). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Pacific, Vol. 4. Bony Fishes Part 2 (Mugilidae to Carangidae). FAO, Rome. pp. 2069-2108.

Hepher, B. 1988. Nutrition of Pond Fisheries. Cambidge University Press. New York. 388 pp.

Islam, M. S., N. Begum and S. L. Rahman. 2017. Culture Potentials of Green Back Mullet, *Chelon subviridis* (Parse) under Different Stocking Densities in South-Western Region of Bangladesh. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.* 5 (2): 533-537.

Jana, S. N., S. K. Garg, and B. C. Patra. 2004. Effect of Periphyton on Growth Performance of Grey Mullet, *Mugil cephalus* (Linn.), in Inland Saline Groundwater Ponds. *J. Appl. Ichthyol*. 20:110-117.

Jobling, M. 1983. Effect of Feeding Frequency on Food Intake and Growth of Arctic Charr, *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish Biol.* 23 (2): 177-185.

Karim, E. M. Z., A. Mohammed, M. S. Haque, K. Kuli and M. J. Rahman. 2011. Optimization of Stocking Density for Growth and Production of Striped Mullet, *Mugil cephalus* L. in Pond Culture System. *Bangladesh J. Fish. Res.* 15-16: 103-114.

Khairnar S. O., H. S. Dhaker, P. U. Kapse, B. V. Solanki, P. E. Shingare and G. S. Ghode. 2021. Effect of Stocking Density on Growth and Survival of Gold-Spot Mullet, *Liza parsia* (Hamilton-Buchanan,1822) Fry During Nursery Rearing in Cages. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 10 (2): 156-161.

Kousoulaki K, B. S. Saether, S. Albrektsen, C. Noble. 2015. Review on European Seabass (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758) Nutrition and Feed Management: A Practical Guide for Optimizing Feed Formulation and Farming Protocols. *Aquacult Nutr*. 21: 129-151.

Kumar, T. S., D. R. K. Reddy, P. Dharmakar, K. S. J. Swaroop, A. C. Rao and N. Madhavan. 2021. Studies on Growth and Survival in Nursery Rearing Phase of Grey Mullet (*Mugil cephalus*) for Mariculture. *J. Entomol. Zool. Stud*. 9 (1): 175-178.

Leonard, N., J. P. Blancheton and J. P. Guiraud. 2000. Population of Heterotrophic Bacteria in an Experimental Recirculating Aquaculture System. *Aquacult. Eng.* 22: 345-358.

Moniruzzaman, M., K. B. Uddin, S. Basak, Y. Mahmud, M. Zaher and S. C. Bai. 2015. Effects of Stocking Density on Growth, Body Composition, Yield and Economic Returns of Monosex Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) under Cage Culture System in Kaptai Lake of Bangladesh. *J. Aquac. Res. Dev.* 6 (8): 1-7.

Mohammed, R. A., M. F. A. Abdel-Aziz, R. M. Abou-Zied, and S. M. Allam. 2017. Effect of Feeding Rate and Diet Oil Source on Growth Performance and Feed Utilization of Rabbitfish *Siganus rivulatus* Fry. *J. Fish. Aqua. Dev*. 123 (5): 1-13.

Rostami, S. A. M. H., K. Amini, F. Khani and M. H. Kolangi. 2016. Grey Mullet (*Mugil cephalus*) Rearing Normative as a New Species in Gomishan, Golestan Province. *Nat. Resour. Res*. 4 (1): 45-55.

Samad, A. P. A., N. F. Hua and L. M. Chou. 2014. Effects of Stocking Density on Growth and Feed Utilization of Grouper (*Epinephelus coioides*) Reared in Recirculation and Flow-Through Water System. *Afr. J. Agric. Res.* 9 (9): 812-822.

Shelbourn, J. E., J. R. Brett and S. Shirahata. 1973. Effect of Temperature and Feeding Regime on the Specific Growth Rate of Sockeye Salmon Fry (*Oncorhynchus nerka*), with a Consideration of Size Effect. *J. Fish. Res. Board Can.* 30 (8): 1191-1194.

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. 2nd ed. Department of Fisheries and the Environment Fisheries and Marine Service Scientific Information and Publications Branch, Ottawa, Canada, 310 pp.

Tan, C., D. Sun, H. Tan, W. Liu, G. Luo and X. Wei. 2018. Effects of Stocking Density on Growth, Body Composition, Digestive Enzyme Levels and Blood Biochemical Parameters of *Anguilla marmorata* in a Recirculating Aquaculture System. *Turkish J. Fish. Aquat. Sci*. 18 (1): 9-16.

Vijayan, M. M. and J. F. Leatherland. 1988. Effect of Stocking Density on the Growth and Stress-Response in Brook Charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture*. 75 (1-2): 159-170.

Wang, N., R. S. Hayward and D. B. Noltie. 2000. Effects of Social Interaction on Growth of Juvenile Hybrid Sunfish Held at Two Densities. *N. Am. J. Aquacult.* 62 (3): 161-167.

ภาพผนวก

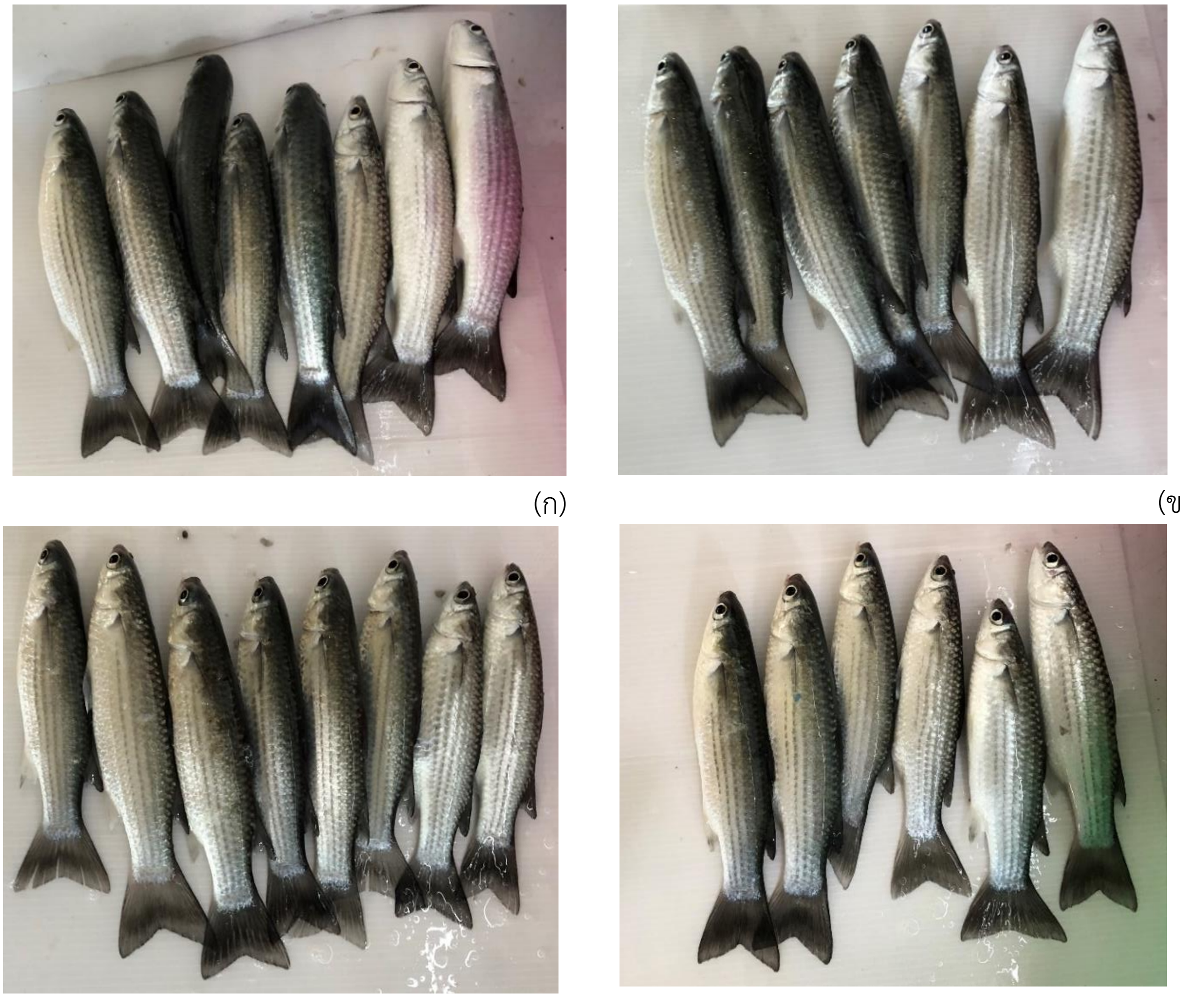
ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะภายนอกของปลากระบอกดำ

ภาพผนวกที่ 2 บ่อทดลองเลี้ยงปลากระบอกดำ

ภาพผนวกที่ 3 อาหารเม็ดสำเร็จรูปปลาทะเล เบอร์ 1

(ก) (ข)

ภาพผนวกที่ 4 การวัดความยาวลำตัวและชั่งน้ำหนักปลากระบอกดำในระหว่างการดำเนินการทดลอง โดย ภาพ ก คือ การวัดขนาดความยาวลำตัวปลา และภาพ ข คือ การชั่งน้ำหนักตัวด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพผนวกที่ 5 ปลากระบอกดำบางส่วนที่รวบรวมได้ของแต่ละชุดการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7 เดือน) โดยที่ ภาพ ก - ง คือ ปลากระบอกดำเมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 - 4 ตามลำดับ