

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๗/๒๕๖๗



Technical Paper No. 7/2567

ผลการใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิล (Microbubbles)
ในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมจากขนาด 2 นิ้ว เป็น 5 นิ้ว

The Effects of Using Microbubble Aeration Technology for Nursing
Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) in
Concrete Tanks from 2 inches to 5 inches

มาลาศรี คำศรี
กรัณย์ วณิชชีวะ
จินตนา ดำรงไตรภพ

Malasri Khumsri
Karun Wanichachewa
Jintana Dumrongtripob

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

กรมประมง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Inland Aquaculture Research and
Development Division

Department of Fisheries

Ministry of Agriculture and Cooperatives



ผลการใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิล (Micro-bubbles)
ในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมจากขนาด 2 นิ้ว เป็น 5 นิ้ว

The Effects of Using Microbubble Aeration Technology for Nursing
Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) in
Concrete Tanks from 2 inches to 5 inches

มาลาศรี คำศรี
กรณีย์ วณิชชีวะ
จินตนา ดำรงไตรภพ

Malasri Khumsri
Karun Wanichachewa
Jintana Dumrongtripob

กลุ่มวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงและพัฒนาธุรกิจ

กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

กรมประมง

๒๕๖๗

Aquaculture Research and
Development and Business Group
Inland Aquaculture Research and
Development Division
Department of Fisheries
2567

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	4
วิธีดำเนินการ	4
1. การวางแผนการทดลอง	4
2. วิธีการทดลอง	4
3. การวิเคราะห์ข้อมูล	7
ผลการศึกษา	9
1. การเติบโตและอัตราการเติบโต	9
2. อัตรารอดตาย	18
3. อัตราแลกเนื้อ	18
4. ชีตความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพในการผลิต	20
5. คุณภาพน้ำ	22
6. ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์	26
วิจารณ์ผลการศึกษา	29
1. การเติบโตและอัตราการเติบโต	29
2. อัตราการรอดและอัตราแลกเนื้อ	30
3. คุณภาพน้ำ	30
4. ชีตความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพการผลิต	32
5. ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์	33
สรุปผลการศึกษา	34
ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเติบโตโดยความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	11
2	การเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	11
3	การทดสอบสถิติของข้อมูลการเติบโตโดยความยาวและน้ำหนักจากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	12
4	การทดสอบสถิติของข้อมูลอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มและน้ำหนักเพิ่มจากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	16
5	การกระจายของขนาดความยาวลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	17
6	การทดสอบสถิติของข้อมูลอัตราการรอดตายและอัตราแลกเนื้อจากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	19
7	การประมาณค่าความยาวลูกปลาดุกอุยเทศที่สามารถอนุบาลได้ที่ระดับขีดความสามารถในผลิตของบ่อคอนกรีตกลมที่มีการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกัน	20
8	ประสิทธิภาพในการผลิตของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยจำนวนและชีวมวลที่ได้รับเมื่อสิ้นสุดการทดลองด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	21
9	ข้อมูลคุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	23
10	การทดสอบสถิติของข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์จากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	24
11	ต้นทุนและผลตอบแทนของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	27

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะการติดตั้งระบบการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลขนาด 0.45 แรงม้า ที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้า 300 วัตต์ต่อชั่วโมง	5
2	การจัดเตรียมอุปกรณ์การเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมผ่านหัวทรายขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 หัว และเครื่องไมโครบับเบิลที่ให้ปริมาณออกซิเจนละลาย 4.5-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	5
3	ผังการทดลองแบบ 3x2 แฟคทอเรียล ของปัจจัยการเพิ่มอากาศ (a) ปัจจัยความหนาแน่น (b) และซ้ำของการทดลอง (r) ในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร ในอาคารโรงเพาะฟักของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี	6
4	การดำเนินงานทดลองอนุบาลลูกปลาตุ๊กตาทูในบ่อคอนกรีตกลมโดยปัจจัยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในอาคารโรงเพาะฟักของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี	7
5	การเติบโตโดยความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	11
6	การเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	12
7	ความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	12
8	อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลความยาวและน้ำหนักของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน	13
9	อัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มและน้ำหนักเพิ่มของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	15
10	อัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มเฉลี่ยและน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	15
11	อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มและน้ำหนักเพิ่มของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน	16
12	การกระจายของความยาวลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	17
13	อัตรารอดตายและอัตราแลกเนื้อของลูกปลาตุ๊กตาทูที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	18

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลอัตราการรอดตายและอัตราแลกเนื้อของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน	19
15	การประมาณค่าความยาวลูกปลาดุกอุยเทศที่สามารถอนุบาลได้ที่ระดับขีดความสามารถในผลผลิตของบ่อคอนกรีตกลมที่มีการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกัน	20
16	จำนวนและชีวมวลของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	21
17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลาย (มก./ล.) ของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	23
18	ปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์ของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	24
19	อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์ของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน	25
20	ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายกับแอมโมเนียรวม และปริมาณออกซิเจนละลายกับไนไตรท์ จากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	26
21	ต้นทุนและผลตอบแทนของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน	28
22	การประมาณค่าความยาวลูกปลาปลาสดที่สามารถอนุบาลได้ที่ระดับขีดความสามารถในการผลิตของการอนุบาลในกระชังที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน 4 ระดับ	33

ผลการใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิล (Microbubbles) ในการอนุบาลลูกปลาตุ๊กตาทองในบ่อคอนกรีตกลมจากขนาด 2 นิ้ว เป็น 5 นิ้ว

มาลาศรี คำศรี^{1*} กรณ์ย์ วนิชชีวะ² และ จินตนา ดำรงไตรภพ²

¹กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี

บทคัดย่อ

การศึกษาผลการใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิล (Microbubbles) ในการอนุบาลลูกปลาตุ๊กตาทองในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร จากลูกปลาขนาด 2 นิ้ว เป็น 5 นิ้ว วางแผนการทดลองแบบ 3x2 แฟคทอเรียล โดยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยการเพิ่มอากาศในบ่ออนุบาล (ไม่มีการเพิ่มอากาศ เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมผ่านหัวทราย 1 นิ้ว และเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล) และปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย (1,000 และ 2,000 ตัว/ลบ.ม.) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอนุบาลลูกปลาโดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำ การเติบโต อัตรารอดตาย อัตราแลกเนื้อ ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี เมื่อเริ่มการทดลองลูกปลามีความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 5.07 ± 0.95 เซนติเมตร และน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 1.19 ± 0.47 กรัม ดำเนินการอนุบาลเป็นระยะเวลา 49 วัน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายน 2567

ผลการทดลองพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในข้อมูลการเติบโต อัตราการเติบโต อัตรารอดตาย และอัตราแลกเนื้อ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของปัจจัยแรกนั้นไม่ขึ้นอยู่กับแต่ละระดับของปัจจัยที่สอง ในขณะที่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในข้อมูลคุณภาพน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์ เมื่อทดสอบสถิติระหว่างชุดการทดลองของทั้งสองปัจจัยพบว่าเกือบทุกพารามิเตอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลองในแต่ละปัจจัยที่ศึกษาดังกล่าว ในส่วนของการเติบโตของลูกปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบมีความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ย 9.49-12.99 เซนติเมตร และ 6.91-8.48 กรัม มีอัตรารอดตายเฉลี่ยร้อยละ 51.08-80.75 และอัตราแลกเนื้อเฉลี่ย 0.62-1.47 ส่วนพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่สำคัญพบปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.10-2.99, 1.84-3.63 และ 0.17-1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้ผลตอบแทนต่อการนำไปปฏิบัติที่ดีที่สุด โดยมีกำไรสุทธิ 10,498 บาท และมีผลตอบแทนต่อการลงทุนร้อยละ 306 รองลงมาคือการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีกำไรสุทธิ 8,387 บาท และมีผลตอบแทนต่อการลงทุนร้อยละ 272 ตามลำดับ

ผลการศึกษาโดยรวมบ่งชี้ว่าการนำเทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลมาใช้ในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุบาลในเชิงพาณิชย์ได้อย่างมาก ทั้งด้านการเติบโต อัตราการเติบโต อัตราแลกเนื้อ คุณภาพน้ำ ผลตอบแทน และการเพิ่มคุณภาพของลูกปลา อีกทั้งการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตของระบบอนุบาลซึ่งสนับสนุนให้มีการผลิตลูกปลาโดยจำนวนตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.65 และ 10.93 และโดยชีวมวลเพิ่มขึ้นร้อยละ 60.70 และ 22.77 เมื่อเปรียบเทียบกับการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศและการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปลาตุ๊กตาทอง, อัตราการเติบโต, การเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิล, ความหนาแน่น

***ผู้รับผิดชอบ:** กลุ่มวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงและพัฒนาธุรกิจ กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด 10900 โทร 0 2579 6687 E-mail : malasrikhumsri@gmail.com

The Effects of Using Microbubble Aeration Technology for Nursing Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) from 2 inches to 5 inches in Concrete Tanks

Malasri Khumsri^{1*} Karun Wanichachewa² Jintana Dumrongtripob²

¹Inland Aquaculture Research and Development Division

²Inland Fisheries Research and Development Center

Abstract

This study on the effectiveness of using micro-bubble aeration technology in the nursing hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) fry from 2-inches to 5-inches in concrete tanks with a diameter of 2.5 m. A 3x2 factorial experimental design was employed with completely randomized to study two factors: the aeration method used (i.e. no aeration, conventional air pump aeration, and aeration using a microbubble generator aeration) and the stocking density (i.e. 1,000 and 2,000 fish/m³). The aim was to compare the efficiency of nursing methods in terms of water quality parameters, growth, survival rate, feed conversion ration (FCR), and costs and returns. It was conducted at the Chonburi Freshwater Aquaculture Research and Development Center over 49 days from February to June 2024. The initial average size of the fry was 5.07±0.95 cm in length and 1.19±0.47 g in weight.

The results indicated no statistically significant interaction ($p>0.05$) between aeration methods and stocking density for growth, growth rate, survival rate, and FCR, suggesting that the effect of one factor was independent of the levels of the other. However, there was a statistically significant interaction ($p<0.05$) between the two factors in level of dissolved oxygen, total ammonia, and nitrite. The results also shows significant differences ($p<0.05$) in nearly all parameters across experimental groups for both factors. By the end of the experiment, the growth performance showed an average length and weight of 9.49±1.10 to 12.99±0.37 cm. and 6.91±0.61 to 8.48±0.04 g, respectively. The average survival rate was 51.08-80.75% and average FCR was 0.62-1.47, the dissolved oxygen, total ammonia, and nitrite parameters were 0.10-2.99, 1.84-3.63 and 0.17-1.84 mg/l, respectively. Economic analysis showed that nursing with microbubble aeration at a density of 2,000 fish/m³ provided the highest economic return, with a net profit of 10,498 Baht and a return on investment of 306%. This was followed by nursing with air pump aeration at the same density, with a net profit of 8,387 Baht and return on investment of 272%.

The findings highlight that the use of microbubble aeration technology in the nursery rearing of Hybrid Catfish greatly enhances the efficiency of commercial nursery operations, improving growth, growth rate, survival rate, FCR, water quality, economic benefit returns, and fish seed quality. Furthermore, the use of microbubble aeration boosts the production capacity of the nursery system, resulting in a 27.65% and 10.93% increase in the number of fish and a 60.70% and 22.77% increase in biomass compared to nursery systems without aeration and those using conventional air pump aeration, respectively.

Keywords: Hybrid Catfish, Growth rate, Microbubble aeration, stocking density

* Corresponding author: Inland Aquaculture Research and Development Division.

Tel. 0 2579 6687 E-mail : malasrikhumsri@gmail.com

คำนำ

ปลาดุกอุยเทศ (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) เป็นสัตว์น้ำจืดเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยในปี 2565 และ 2566 พบมีรายงานการผลิตมากเป็นอันดับสองรองมาจากปลานิล ซึ่งมีผลผลิตปลาดุกอุยเทศปีละประมาณ 91,000-93,600 ตัน หรือคิดเป็นมูลค่าประมาณ 4,331-4,354 ล้านบาท (กรมประมง, 2566, 2567) ด้วยเหตุที่ปลาดุกอุยเทศเป็นสัตว์น้ำที่มีผู้นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายจึงทำให้เป็นที่ต้องการของตลาดทั่วประเทศ ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงปลาดุกอุยเทศยังคงประสบปัญหาการตายที่สืบเนื่องมาจากการเกิดโรค ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มจำนวนการเพาะเลี้ยงปลาดุกอุยเทศมากขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการลูกพันธุ์ปลาดุกอุยเทศเพิ่มมากขึ้น และเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมเลี้ยงด้วยแนวทางปฏิบัติในรูปแบบการปล่อยปลาลงเลี้ยงแบบหนาแน่นมากอย่างยิ่ง จึงทำให้เกิดปัญหาการติดเชื้อและเกิดโรคระบาดได้ง่าย ทั้งจากการจัดการด้านการเพาะเลี้ยงที่ไม่เหมาะสม เช่น การปล่อยปลาต่อหน่วยพื้นที่มากเกินไป และการให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไปความต้องการของปลา ทำให้อาหารเหลือและเกิดเป็นของเสีย ส่งผลให้คุณภาพน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงเสื่อมโทรมลง จึงเป็นสาเหตุให้ปลาเกิดความเครียด อ่อนแอ และเกิดโรคติดเชื้อต่างๆ ปัญหาเหล่านี้ได้ส่งผลกระทบทำให้การเลี้ยงปลาดุกอุยเทศมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิล ที่มีอนุภาคฟองอากาศขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-50 ไมโครเมตร สามารถคงตัวอยู่ในน้ำได้นานมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างแพร่หลาย รวมทั้งเริ่มนำมาใช้ในระบบการเพาะพันธุ์ปลาดุกอุยเทศด้วย ระบบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของปริมาณออกซิเจนในน้ำให้ดีขึ้น สืบเนื่องจากฟองอากาศที่มีขนาดเล็กมากนี้สามารถลอยตัวอยู่ได้นานซึ่งสอดคล้องกับ Supatra *et al.* (2018) อ้างตาม Agarwal *et al.* (2011) ที่รายงานว่า การเพิ่มออกซิเจนละลายในระยะเวลาอันสั้นด้วยอนุภาคฟองนาโนหรือไมโครซึ่งถูกสร้างขึ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบปั๊มจุ่มพร้อมแรงดันอากาศและการปล่อยน้ำ ซึ่งเทคโนโลยีนี้ได้รับการพัฒนาในประเทศญี่ปุ่นในปี ค.ศ. 1950 (Alheshibri *et al.*, 2016) เป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้เพื่อช่วยย่อยสลายของเสียที่เป็นของเหลว (Yamasaki *et al.*, 2010) และจดสิทธิบัตรในปี 2005 ในประเทศญี่ปุ่น (Yamasaki *et al.*, 2009) ดังนั้นการนำเทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงสามารถเพิ่มการละลายของออกซิเจนในน้ำได้มากกว่าฟองอากาศทั่วไป ส่งผลให้ลูกปลาได้รับปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยเฉพาะช่วยลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ จึงเป็นการช่วยลดสารพิษและเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ และเนื่องจากฟองอากาศของอนุภาคขนาดเล็กนี้มีประจุลบจึงสามารถไปจับกับตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในน้ำทำให้ตกตะกอนและกลายเป็นอาหารเสริมให้กับจุลินทรีย์ในน้ำด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุที่สามารถช่วยให้น้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้กระบวนการย่อยสลายของเสียภายในบ่อมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และทำให้ลูกปลาได้รับปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้มีการเผาผลาญอาหารที่ดีขึ้น สนับสนุนให้มีการเติบโตได้เร็วขึ้น จึงทำให้ลูกปลามีความต้านทานต่อโรคและลดความเครียด รวมทั้งช่วยลดอัตราการตายของลูกปลาในบ่ออนุบาลได้อีกด้วย

การใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มศักยภาพการผลิตลูกปลาดุกอุยเทศให้ได้ปริมาณมากขึ้นอีกวิธีการหนึ่ง รวมทั้งสามารถอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในระบบปิดในระยะเวลาสั้นขึ้นเพื่อได้ขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งตรงกับความต้องการของเกษตรกรรายย่อยที่ต้องการลูกพันธุ์ปลาดุกอุยเทศขนาดใหญ่ขึ้น หรือมีขนาดความยาวมากกว่า 2 นิ้ว หรือ 5 เซนติเมตร ขึ้นไป เพื่อลดระยะเวลาการเลี้ยงอันเนื่องมาจากข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณน้ำและการลดความเสียหายจากการเกิดภัยแล้งในระหว่างการเลี้ยง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลกับรูปแบบการ

อนุบาลแบบเดิมว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาเพิ่มศักยภาพการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศ ตลอดจนแนวทางการพัฒนาต่อยอดการใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร จากการอนุบาลลูกปลาขนาด 2 นิ้ว ให้เป็นปลา 5 นิ้ว (หรือลูกปลาขนาด 5.0 เซนติเมตร เป็นขนาด 12.5 เซนติเมตร) โดยใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลและปั๊มลมที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน 2 ระดับ โดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำ การเติบโต อัตราการเติบโต อัตรารอดตาย อัตราแลกเนื้อ กำลังผลิตของระบบ และต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการอนุบาลลูกปลา

วิธีดำเนินการ

1. การวางแผนการทดลอง

1.1 แผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ 3x2 แฟคทอเรียล โดยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (3x2 factorial experiment in CRD) ประกอบด้วยปัจจัยหลักที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) ปัจจัยการเพิ่มอากาศในการอนุบาล และ 2) ปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยอนุบาล โดยชุดการทดลองที่ดำเนินการในแต่ละปัจจัยร่วมมีจำนวน 2 ซ้ำ ซึ่งสืบเนื่องมาจากข้อจำกัดของจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มอากาศของเครื่องไมโครบับเบิลมีไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม จำนวนซ้ำที่ลดลงดังกล่าวยังคงมีความสามารถในการตรวจสอบทางสถิติและแสดงให้เห็นแนวโน้มของผลการศึกษาและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่ศึกษาในระดับที่ยังยอมรับได้ โดยรายละเอียดของชุดการทดลองในแต่ละปัจจัยหลักที่ศึกษาและปัจจัยร่วม (treatment combination) มีดังนี้

การทดลองอนุบาล ลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลม		ปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย (B) ตัว/ลบ.ม.	
		b1=1,000 ตัว/ลบ.ม.	b2=2,000 ตัว/ลบ.ม.
ปัจจัยการเพิ่มอากาศในการอนุบาล (A)	a1=อนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ	a1b1	a1b2
	a2=อนุบาลโดยเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมผ่านหัวทราย 1 นิ้ว	a2b1	a2b2
	a3=อนุบาลโดยเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	a3b1	a3b2

1.2 สถานที่และระยะเวลาดำเนินการ

ดำเนินการทดลองที่อาคารโรงเพาะฟักของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี จังหวัดชลบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายน 2567 โดยทำการทดลองอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ หรือ 49 วัน ในช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม 2567

2. วิธีการทดลอง

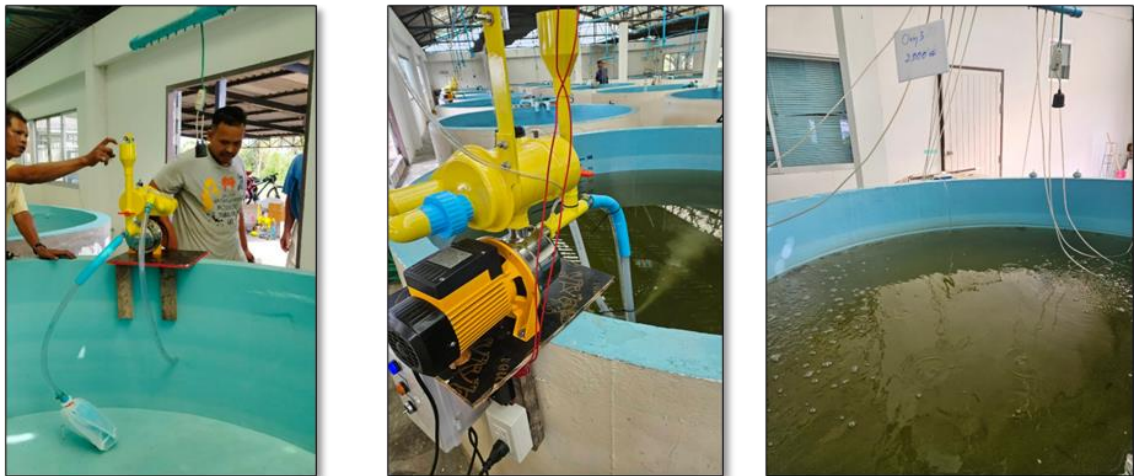
2.1 การเตรียมบ่อทดลอง น้ำที่ใช้ทดลอง และการเพิ่มอากาศ

ก่อนเริ่มต้นการทดลองได้จัดเตรียมและทำความสะอาดบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร ความสูง 1 เมตร และเตรียมน้ำที่ใช้ทดลองโดยเติมและพักไว้ในบ่อคอนกรีตกลมภายในอาคาร

เดียวกันกับหน่วยทดลองเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นจึงนำมาเติมลงในบ่อทดลอง โดยแต่ละบ่อทดลองเติมน้ำที่ระดับความลึก 0.45 เมตร มีปริมาตรน้ำประมาณ 2.0 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 12 บ่อ และจัดเตรียมเครื่องเพิ่มอากาศแบบไมโคร บับเบิลขนาด 0.45 แรงม้า ที่อัตราการใช้ไฟฟ้า 300 วัตต์ต่อชั่วโมง จำนวน 4 เครื่อง และเครื่องปั๊มลมหัวทรายขนาด 1 นิ้ว โดยจัดวางบ่อทดลองและการให้อากาศตามผังการทดลองที่กำหนด (ภาพที่ 1, 2 และ 3)



ภาพที่ 1 ลักษณะการติดตั้งระบบการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลขนาด 0.45 แรงม้า ที่อัตราการใช้ไฟฟ้า 300 วัตต์ต่อชั่วโมง



ภาพที่ 2 การจัดเตรียมอุปกรณ์การเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมผ่านหัวทรายขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 หัว และเครื่องเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลที่ให้ปริมาณออกซิเจนละลาย 4.5-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 3 ผังการทดลองแบบ 3x2 แฟคทอเรียล โดยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของปัจจัยการเพิ่มอากาศ (a) ปัจจัยความหนาแน่น (b) และซ้ำของชุดการทดลอง (r) ในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร ในอาคารโรงเพาะฟักของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี

2.2 การเตรียมลูกปลาทดลอง

เตรียมลูกปลาดุกอุยเทศที่ซื้อจากฟาร์มเพาะพันธุ์ของเอกชนจากการเพาะในชุดเดียวกัน ที่มีขนาดความยาวน้อยกว่า 2 นิ้ว จำนวน 40,000 ตัว โดยก่อนเริ่มการทดลองได้นำลูกปลาดุกอุยเทศไปปรับสภาพและเลี้ยงโดยให้อาหารที่จัดเตรียมไว้สำหรับการทดลองเพื่อให้คุ้นชินในสภาพบ่อทดลองประมาณ 5 วัน จากนั้นจึงคัดขนาดปลาที่มีความยาวประมาณ 2 นิ้ว (5.0 เซนติเมตร) จำนวนรวมทั้งสิ้น 36,000 ตัว โดยทำการวัดความยาวและชั่งน้ำหนักปลาเมื่อเริ่มทดลองและใส่ลงในชุดการทดลองตามผังการทดลองที่วางไว้ ดังนี้

- ชุดการทดลอง a1b1 อนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ ที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปล่อยลูกปลาจำนวน 2,000 ตัวต่อบ่อ
- ชุดการทดลอง a1b2 อนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ ที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปล่อยลูกปลาจำนวน 4,000 ตัวต่อบ่อ
- ชุดการทดลอง a2b1 อนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมหัวทรายขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 หัว ที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปล่อยลูกปลาจำนวน 2,000 ตัวต่อบ่อ
- ชุดการทดลอง a2b2 อนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมหัวทรายขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 หัว ที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปล่อยลูกปลาจำนวน 4,000 ตัวต่อบ่อ
- ชุดการทดลอง a3b1 อนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปล่อยลูกปลาจำนวน 2,000 ตัวต่อบ่อ
- ชุดการทดลอง a3b2 อนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปล่อยลูกปลาจำนวน 4,000 ตัวต่อบ่อ

2.3 อาหารและการให้อาหารปลาในระหว่างการทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารสำเร็จรูปประเภทอาหารปลาดุกเล็กที่มีปริมาณโปรตีนไม่ต่ำกว่า 32 เปอร์เซ็นต์ สำหรับใช้ในการทดลอง โดยจัดเตรียมในปริมาณที่เพียงพอตลอดการทดลอง และเมื่อเริ่มการทดลองดำเนินการให้อาหารสำเร็จรูปปลาดุกเล็กวันละ 2 มื้อ เวลา 09.00 น. และ 16.00 น. โดยให้กินแบบกินจนอิ่ม (feed to satiation) สังเกตจากปริมาณอาหารที่ลูกปลากิน ถ้าหากหมดเร็วก็จะเพิ่มปริมาณในมื้อถัดไป (ภาพที่ 4)

2.4 การสุ่มตัวอย่างชั่งวัดปลาทดลองและการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการทดลอง

ทำการติดตามการเติบโตของปลาทดลองโดยสุ่มตัวอย่างชั่งวัดทุก 7 วัน จากจำนวนตัวอย่างสุ่ม 130 ตัวต่อบ่อ คำนวณขนาดตัวอย่างตาม [วิธีศักดิ์ \(2563\)](#) เพื่อตรวจสอบความยาวปลามีหน่วยเป็นเซนติเมตร และน้ำหนักปลามีหน่วยเป็นกรัม พร้อมเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตราส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดให้สิ้นสุดการทดลองเมื่อมีชุดการทดลองใดชุดการทดลองหนึ่งที่ปลามีขนาดความยาวไม่น้อยกว่า 12.5 เซนติเมตร (ขนาด 5 นิ้ว) ([ภาพที่ 4](#))

2.5 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อทดลองสัปดาห์ละ 2 วัน คือทุกวันที่ 3 และวันที่ 7 ของทุกรอบ 7 วัน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง ([ภาพที่ 4](#)) โดยมีวิธีการดังนี้

- อุณหภูมิ น้ำ โดยเครื่องวัดอุณหภูมิยี่ห้อ EZDO รุ่น 7031 มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยใช้ pH Meter ยี่ห้อ Horiba รุ่น pH 1200
- ปริมาณออกซิเจนละลาย โดยใช้ DO Meter ยี่ห้อ EZDO รุ่น 7031 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร
- ความเค็มและความกระด้างของน้ำ โดยวิธีไตเตรท ตามวิธีที่กล่าวอ้างโดย [ไมตรี และจากรวรรณ \(2528\)](#) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต
- แอมโมเนียรวม โดยวิธี Phenol-hypochlorite method ตามวิธีของ [Grasshoff \(1976\)](#) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo รุ่น biomate3s มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร
- ไนโตรท์ โดยวิธี Diazotization method ตามวิธีของ [Boyd and Tucker \(1992\)](#) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo รุ่น biomate3s มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4 การดำเนินงานทดลองอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมโดยปัจจัยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในอาคารโรงเพาะฟักของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของปัจจัยการเพิ่มอากาศในระบบอนุบาลและปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยปลาดุกอุยเทศ โดยข้อมูลที่วิเคราะห์มีดังนี้

3.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำที่สำคัญ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนโตรท์

3.2 ข้อมูลการเติบโตและอัตราการเติบโตของปลาทดลอง ได้แก่ ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) และน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มต่อวัน (เซนติเมตร/วัน) และน้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/วัน) ซึ่งมีสูตรดังนี้ Average Daily Gain (ADG) หรืออัตราการเจริญเติบโต/ตัว/วัน

$$ADG = \frac{(\text{น้ำหนัก/ความยาวสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนัก/ความยาวเริ่มต้นการทดลอง})}{\text{ระยะเวลาทดลอง}}$$

3.3 ข้อมูลอัตราการรอด (Survival rate; เปอร์เซ็นต์)

$$\text{Survival rate} = \frac{\text{จำนวนลูกปลาดุกอยู่เทศเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนลูกปลาดุกอยู่เทศเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

3.4 ข้อมูลอัตราแลกเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR)

$$\text{FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

3.5 ข้อมูลศักยภาพการผลิตของระบบอนุบาล โดยการวิเคราะห์ขีดความสามารถในการผลิตของระบบอนุบาลตามวิธีของ [Hepher \(1978\)](#) ด้วยการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มต่อวันและความยาวรายสัปดาห์ระหว่างการทดลอง เพื่อประมาณค่าความยาวสูงสุดที่ระบบสามารถสนับสนุนให้ได้

3.6 ข้อมูลการกระจายของความยาวลูกปลาดุกอยู่เทศ (size distribution) โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลความยาวลูกปลาในแต่ละชุดการทดลองมาแจกแจงความถี่ตามช่วงขนาดความยาวของปลาเพื่อเปรียบเทียบการกระจายของขนาดความยาวลูกปลาในแต่ละชุดการทดลอง

3.7 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต โดยการนำต้นทุนการอนุบาลลูกปลาดุกอยู่เทศทั้งหมดมาวิเคราะห์ตามแนวทางด้านเศรษฐศาสตร์ ตามวิธีของ [สมศักดิ์ \(2530\)](#) และ [Kay \(1986\)](#) ข้อมูลที่วิเคราะห์มีดังนี้

- ต้นทุนการผลิตต่อตัว	=	$\frac{\text{ต้นทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{จำนวนลูกปลาที่ได้ทั้งหมด (ตัว)}}$
- ต้นทุนทั้งหมด	=	ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร
- ต้นทุนคงที่	=	ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน
- ต้นทุนผันแปร	=	ค่าพันธุ์ลูกปลาดุกอยู่เทศ + ค่าอาหาร + ค่าแรงงาน + ค่าไฟฟ้า + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน
- ค่าเสียโอกาสในการลงทุน	=	คำนวณจากต้นทุนคงที่หรือต้นทุนผันแปรจากอัตราดอกเบี้ยฝากประจำ 3 เดือน ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) ปี 2567 ผลตอบแทนร้อยละ 1.20
- ค่าเสื่อมราคา	=	$\frac{\text{มูลค่าซื้อหรือจ้าง}}{\text{อายุการใช้งาน}}$

ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์คิดค่าเสื่อมราคาแบบวิธีเส้นตรง โดยกำหนดให้มูลค่าซากเป็นศูนย์เมื่อหมดอายุการใช้งานตามประเภทอุปกรณ์

รายได้และผลตอบแทน สำหรับรายได้และผลตอบแทนคำนวณจากสูตรดังนี้

- รายได้ทั้งหมด	=	จำนวนผลผลิต (ตัว) × ราคาที่จำหน่าย (บาท/ตัว)
- รายได้สุทธิ	=	รายได้ทั้งหมด - ต้นทุนผันแปร
- ผลตอบแทนการลงทุน (%)	=	$\frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{ต้นทุนทั้งหมด}} \times 100$

3.8 การทดสอบสถิติ ประกอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1) การกระจายของความยาวลูกปลา โดยนำจำนวนลูกปลาตามช่วงขนาดความยาวในแต่ละอัตราภาคขึ้นมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ([กัลยา, 2543](#)) ด้วยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

2) ขนาดลูกปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเติบโต อัตรารอดตาย อัตราแลกเนื้อ และคุณภาพน้ำบางประการ โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง ส่วนข้อมูลที่มีค่าเป็นร้อยละ (อัตรารอดตาย) นำมา

แปลงข้อมูลด้วยวิธี arcsine transformation ก่อนนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (กัลยา, 2543) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ในการศึกษาค้นคว้านี้มีการตั้งสมมติฐานของการทดสอบสถิติดังนี้

- ทดสอบว่าระดับของปัจจัยการเพิ่มอากาศในการอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศมีผลต่อพารามิเตอร์ที่ศึกษาหรือไม่ เช่น คุณภาพน้ำ ขนาดปลา อัตราการเติบโต อัตรารอดตาย และอัตราแลกเนื้อ เป็นต้น
- ทดสอบว่าระดับความหนาแน่นของการอนุบาลมีผลต่อพารามิเตอร์ที่ศึกษาดังกล่าวหรือไม่
- ทดสอบว่ามีอิทธิพลร่วมหรือมีปฏิสัมพันธ์ (interaction effect) ระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของการอนุบาลลูกปลาหรือไม่

หากพบว่ามีอิทธิพลร่วมหรือมีปฏิสัมพันธ์กันแสดงว่าแต่ละรูปแบบของการเพิ่มอากาศในแต่ละระดับความหนาแน่นมีผลที่ต่างกัน หากเป็นเช่นนั้นจะทำการทดสอบต่อโดยแบ่งกลุ่มตามระดับความหนาแน่น (1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) โดยแต่ละกลุ่มประกอบด้วย 3 ชุดการทดลองของการเพิ่มอากาศ เพื่อเปรียบเทียบว่าในแต่ละรูปแบบของการเพิ่มอากาศจะส่งผลอย่างไรในแต่ละระดับความหนาแน่น

การตั้งสมมติฐาน:

H_0 : ไม่มีความแตกต่างในผลของการเพิ่มอากาศหรือความหนาแน่นของการปล่อย หรืออิทธิพลร่วม

H_A : มีความแตกต่างในผลของการเพิ่มอากาศหรือความหนาแน่นของการปล่อย หรือมีอิทธิพลร่วม (ปฏิสัมพันธ์) ระหว่างกัน

ผลการศึกษา

การทดลองอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร ที่มีการเพิ่มอากาศต่างกัน 3 แบบ และความหนาแน่นของการปล่อยต่างกัน 2 ระดับ ในระยะเวลาการอนุบาล 49 วัน โดยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ลูกปลาตุ๋กอุยเทศมีความยาวเฉลี่ย 5.07 ± 0.95 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 1.19 ± 0.47 กรัม และกำหนดให้มีช่วงระยะเวลาสิ้นสุดการทดลองเมื่อลูกปลาตุ๋กอุยเทศในชุดการทดลองใดชุดการทดลองหนึ่งสามารถเติบโตได้ขนาดความยาวเฉลี่ยมากกว่า 12.5 เซนติเมตร ขึ้นไป รายละเอียดของผลการทดลองที่พบมีดังนี้

1. การเติบโตและอัตราการเติบโต

1.1 การเติบโตโดยความยาวและน้ำหนัก

การเติบโตของลูกปลาตุ๋กอุยเทศโดยความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยจากการอนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอนุบาลด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นที่ต่างกัน ในระยะเวลาอนุบาล 49 วัน มีรายละเอียดดังในตารางที่ 1, 2 และ 3 และภาพที่ 5, 6, 7 และ 8

จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการเติบโตรายสัปดาห์โดยความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยของลูกปลาตุ๋กอุยเทศพบว่า การเติบโตโดยความยาวเฉลี่ยแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองได้ชัดเจนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงโดยน้ำหนักเฉลี่ย ลูกปลาตุ๋กอุยเทศที่อนุบาลในชุดการทดลอง a3b1 และ a3b2 หรือชุดการทดลองที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเปิ้ลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีการเติบโตดีที่สุดและดีมากรองลงมาตามลำดับ ส่วนลูกปลาที่เหลืออีก 4 ชุดการทดลอง พบมีแนวโน้มของการเริ่มแตกต่างกันอย่างชัดเจนในช่วงการอนุบาลในวันที่ 42-49 หรือช่วงสัปดาห์ที่ 6-7 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 7 ปรากฏว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างชุดการ

ทดลองที่มีการเพิ่มอากาศที่ต่างกัน ในขณะที่ชุดการทดลองโดยความหนาแน่นของการปล่อยทั้ง 2 ระดับ พบว่ามีแนวโน้มของความแตกต่างของความยาวเฉลี่ยของลูกปลาที่อยู่ในรูปแบบการเพิ่มอากาศแบบเดียวกันด้วยเช่นกัน โดยความยาวเฉลี่ยที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่ามากกว่าความยาวเฉลี่ยที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 5 และ 6)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองลูกปลาดุกอุยเพศที่อนุบาลในชุดการทดลอง a3b1 และ a3b2 หรือที่อนุบาลโดยรูปแบบการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความยาวเฉลี่ย 12.99 ± 0.37 และ 12.06 ± 0.65 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 8.48 ± 0.04 และ 6.91 ± 0.61 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ชุดการทดลอง a2b1 และ a2b2 หรือที่อนุบาลโดยรูปแบบการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความยาวเฉลี่ย 11.38 ± 0.87 และ 11.19 ± 0.81 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 8.23 ± 0.07 และ 7.11 ± 0.94 กรัม ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลอง a1b1 และ a3b2 หรือที่อนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความยาวเฉลี่ย 9.71 ± 0.71 และ 9.49 ± 1.10 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 7.32 ± 0.40 และ 7.53 ± 0.19 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 7)

จากการทดสอบสถิติพบว่าอิทธิพลร่วมของการเติบโตของลูกปลาดุกอุยเพศระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศกับปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทางสถิติของข้อมูลการเติบโตโดยความยาวเฉลี่ย ($p=0.765$) และน้ำหนักเฉลี่ย ($p=0.093$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวบ่งชี้ว่าในการอนุบาลแต่ละรูปแบบของการเพิ่มอากาศและระดับความหนาแน่นของการปล่อยไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือประสิทธิภาพของปัจจัยแรกนั้นไม่ขึ้นอยู่กับแต่ละระดับของปัจจัยที่สอง (ตารางที่ 3 และภาพที่ 8)

ในส่วนของการทดสอบสถิติของข้อมูลการเติบโตโดยความยาวเฉลี่ยพบว่า ความยาวเฉลี่ยของชุดการทดลองในปัจจัยการเพิ่มอากาศมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.006$) โดยความยาวเฉลี่ยของชุดการทดลองการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล (12.52 ± 0.69 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างไปจากความยาวเฉลี่ยของชุดการทดลองการเพิ่มอากาศแบบปั๊มลม (11.29 ± 0.70 เซนติเมตร) แต่ความยาวเฉลี่ยของทั้งคู่มีความแตกต่างมากกว่าความยาวเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มอากาศ (9.60 ± 0.77 เซนติเมตร) ในส่วนของการทดสอบสถิติในปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยพบว่าความยาวเฉลี่ยของระดับความหนาแน่นของทั้ง 2 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.364$) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 7)

ในทางตรงกันข้าม การทดสอบสถิติของข้อมูลการเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของชุดการทดลองในปัจจัยการเพิ่มอากาศไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.719$)) แต่น้ำหนักเฉลี่ยของชุดการทดลองในปัจจัยความหนาแน่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.024$) โดยน้ำหนักเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (8.01 ± 0.58 กรัม) มีความแตกต่างมากกว่าน้ำหนักเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (7.16 ± 0.58 กรัม) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 7)

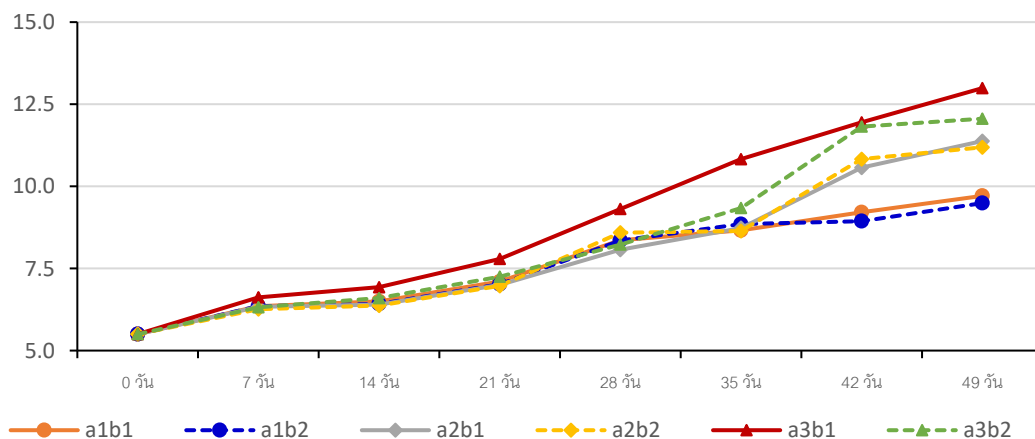
ตารางที่ 1 การเติบโตโดยความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของลูกปลาดุกอุยเพศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ชุดการทดลอง	ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)						
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน
a1b1	6.35±0.72	6.50±0.97	7.10±0.98	8.36±1.17	8.66±0.85	9.10±1.84	9.71±0.71
a1b2	6.35±0.86	6.42±0.62	7.02±0.61	8.35±0.87	8.85±0.97	8.94±1.39	9.49±1.10
a2b1	6.33±0.75	6.40±0.91	7.00±0.92	8.07±0.79	8.73±1.18	10.57±1.56	11.38±0.87
a2b2	6.26±1.06	6.37±0.61	6.97±0.61	8.64±1.01	8.59±1.21	10.83±1.34	11.19±0.81
a3b1	6.62±0.70	6.93±0.57	7.79±0.55	9.31±0.87	10.83±0.92	11.95±1.56	12.99±0.37
a3b2	6.32±0.47	6.60±0.57	7.25±0.59	8.23±0.95	9.34±1.39	11.82±1.30	12.06±0.65

ตารางที่ 2 การเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของลูกปลาดุกอุยเพศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

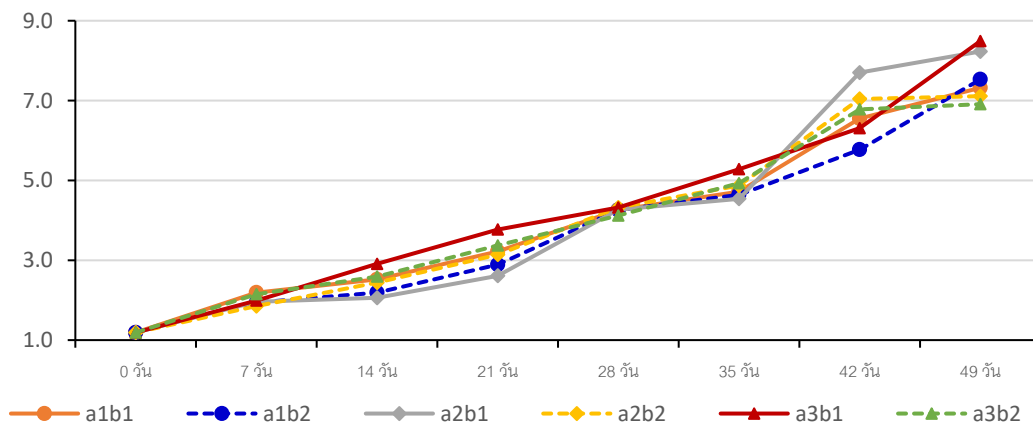
ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)						
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน
a1b1	2.19±0.64	2.52±0.99	3.22±0.99	4.26±1.08	4.72±1.47	6.55±2.32	7.32±0.40
a1b2	1.94±0.66	2.19±0.59	2.89±0.60	4.26±1.11	4.64±1.52	5.77±2.39	7.53±0.19
a2b1	1.96±0.61	2.06±0.54	2.61±0.51	4.27±0.82	4.54±0.97	7.70±2.28	8.23±0.07
a2b2	1.85±0.87	2.44±0.76	3.14±0.75	4.32±0.91	4.87±1.35	7.04±1.84	7.11±0.94
a3b1	1.99±0.59	2.91±0.85	3.77±0.74	4.32±1.53	5.28±0.53	6.31±2.10	8.48±0.04
a3b2	2.15±0.57	2.59±0.59	3.37±0.59	4.12±0.88	4.93±1.32	6.78±2.35	6.91±0.61

ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)



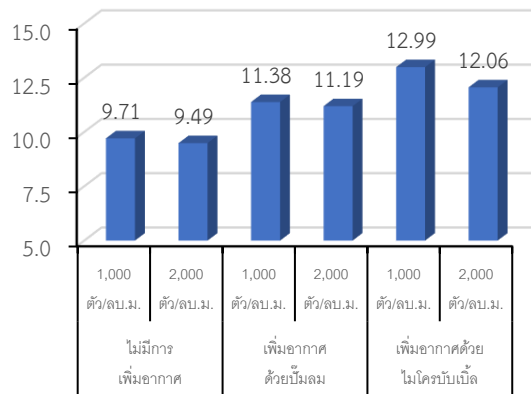
ภาพที่ 5 การเติบโตโดยความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของลูกปลาดุกอุยเพศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)

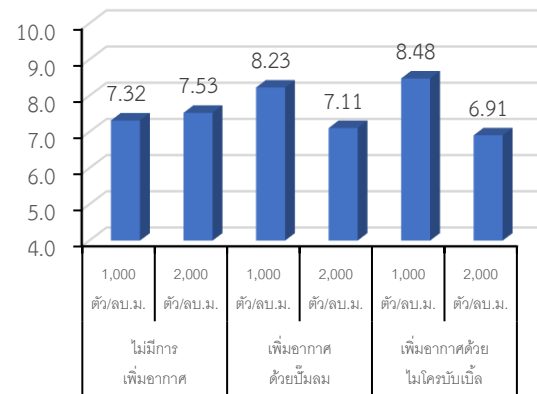


ภาพที่ 6 การเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)



น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)



ภาพที่ 7 ความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ตารางที่ 3 การทดสอบสถิติของข้อมูลการเติบโตโดยความยาวและน้ำหนักจากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

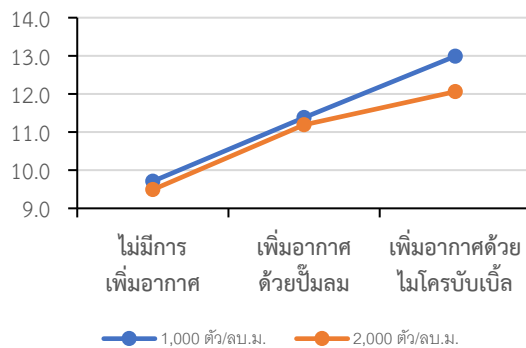
การทดสอบสถิติ	ค่า P-value	
	ความยาวเฉลี่ย	น้ำหนักเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	0.006	0.719
ปัจจัยความหนาแน่น	0.364	0.024
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศกับปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย	0.765	0.093

ความยาวเฉลี่ย	ปัจจัยความหนาแน่น		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000 ตัว/ลบ.ม.	2,000 ตัว/ลบ.ม.	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	9.71±0.71	9.49±1.10	9.60±0.77 ^b
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	11.38±0.87	11.19±0.81	11.29±0.70 ^a
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	12.99±0.37	12.06±0.65	12.52±0.69 ^a
ค่าเฉลี่ย	11.36±1.56 ^a	10.92±1.35 ^a	11.14±1.41

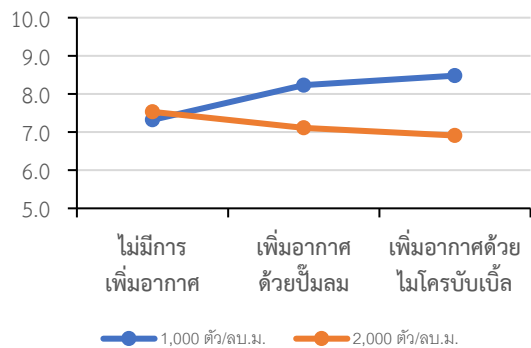
น้ำหนักเฉลี่ย	ปัจจัยความหนาแน่น		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000 ตัว/ลบ.ม.	2,000 ตัว/ลบ.ม.	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	7.32±0.40	7.53±0.19	7.42±0.28 ^a
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	8.23±0.07	7.11±0.94	7.67±0.87 ^a
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	8.49±0.04	6.91±0.61	7.70±0.98 ^a
ค่าเฉลี่ย	8.01±0.58 ^a	7.16±0.58 ^b	7.59±0.71

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (mean ± SD) ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)



น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)



ภาพที่ 8 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลความยาวและน้ำหนักของลูกปลาตุ๊กตาทะเลที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน

1.2 อัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มและน้ำหนักเพิ่ม

อัตราการเติบโตของปลาดุกอุยเทศโดยความยาวเพิ่มและน้ำหนักเพิ่มที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร ในระยะเวลา 49 วัน มีรายละเอียดดังในตารางที่ 4 และภาพที่ 9, 10 และ 11

ลักษณะแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงรายสัปดาห์ของอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มต่อวันของลูกปลาดุกอุยเทศพบว่าในช่วงเริ่มต้นของการอนุบาลจนถึงประมาณวันที่ 28 หรือสัปดาห์ที่ 4 ลูกปลาดุกอุยเทศในทุกชุดการทดลองยังมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเติบโตที่คล้ายคลึงกัน โดยมีแนวโน้มว่าลูกปลาในชุดการทดลองที่ a3b1 หรือที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีแนวโน้มเติบโตดีที่สุด จากนั้นอัตราการเติบโตเริ่มมีความแปรปรวนและมีทิศทางแตกต่างกันมากขึ้นในหลายชุดการทดลอง ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากขีดความสามารถของระบบการอนุบาลของบางชุดการทดลองเริ่มเข้าสู่ขีดจำกัดมากขึ้น ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักเพิ่มต่อวันพบมีความแปรปรวนแตกต่างกันเป็นช่วงๆ ในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องในระบบทั้งพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และโอกาสของคลาตเคลื่อนจากการสูมตัวอย่างในช่วงสัปดาห์นั้นๆ เนื่องจากลูกปลาเริ่มมีขนาดแตกต่างกันมากขึ้น และเป็นการสูมตัวอย่างจากการชั่งน้ำหนักปลาทดลองแบบเปียก ซึ่งทีมวิจัยต้องเร่งดำเนินการเพื่อให้ลูกปลามีความบอบช้ำน้อยที่สุด (ภาพที่ 9)

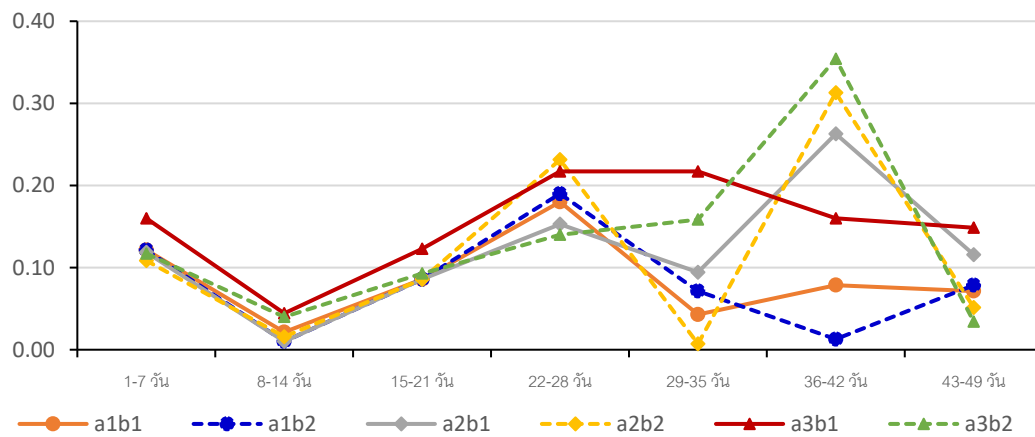
เมื่อสิ้นสุดการทดลองลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในชุดการทดลอง a3b1 และ a3b2 หรือที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ย 0.153 ± 0.007 และ 0.135 ± 0.013 เซนติเมตรต่อวัน และมีน้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ย 0.149 ± 0.014 และ 0.117 ± 0.013 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ในขณะที่ชุดการทดลอง a2b1 และ a2b2 หรือที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความยาวเพิ่มเฉลี่ย 0.121 ± 0.018 และ 0.117 ± 0.016 เซนติเมตรต่อวัน และน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย 0.144 ± 0.007 และ 0.121 ± 0.019 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลอง a1b1 และ a1b2 หรือที่อนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความยาวเพิ่มเฉลี่ย 0.086 ± 0.014 และ 0.081 ± 0.023 เซนติเมตรต่อวัน และน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย 0.125 ± 0.008 และ 0.129 ± 0.004 กรัมต่อวัน ตามลำดับ (ภาพที่ 10)

จากการทดสอบสถิติพบว่าอิทธิพลร่วมของอัตราการเติบโตของลูกปลาดุกอุยเทศระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศกับปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทางสถิติของข้อมูลอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ย ($p=0.767$) และน้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ย ($p=0.097$) ซึ่งผลทดสอบสถิติดังกล่าวบ่งชี้ว่าในแต่ละรูปแบบของการเพิ่มอากาศและระดับความหนาแน่นของการปล่อยไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือประสิทธิภาพของปัจจัยแรกนั้นไม่ขึ้นอยู่กับแต่ละระดับของปัจจัยที่สอง (ตารางที่ 4 และภาพที่ 11)

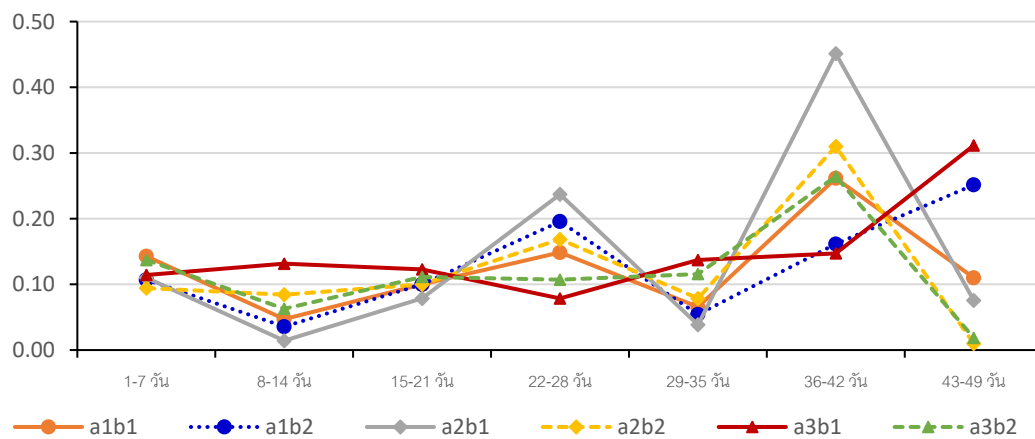
ในส่วนของการทดสอบสถิติของข้อมูลอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ยพบว่า ความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของชุดการทดลองในปัจจัยการเพิ่มอากาศมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.005$) โดยความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของชุดการทดลองการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล (0.144 ± 0.014 ซม./วัน) ไม่มีความแตกต่างไปจากชุดการทดลองของการเพิ่มอากาศแบบปั๊มลม (0.119 ± 0.014 ซม./วัน) แต่ความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของชุดการทดลองทั้งคู่มิมีความแตกต่างมากกว่าความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มอากาศ (0.084 ± 0.016 ซม./วัน) ส่วนการทดสอบสถิติของข้อมูลความยาวเพิ่มต่อวันเฉลี่ยในปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยไม่พบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.373$) (ตารางที่ 4 และภาพที่ 10)

ในทางตรงกันข้าม การทดสอบสถิติของข้อมูลอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ยพบว่า น้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของชุดการทดลองในปัจจัยการเพิ่มอากาศไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.706$) ส่วนน้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของชุดการทดลองในปัจจัยความหนาแน่นพบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.028$) โดยน้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (0.139 ± 0.012 ก./วัน) มีความแตกต่างมากกว่าน้ำหนักเพิ่มต่อวันเฉลี่ยของความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (0.122 ± 0.012 ก./ต่อวัน) (ตารางที่ 4 และภาพที่ 10)

ความยาวเพิ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร/วัน)

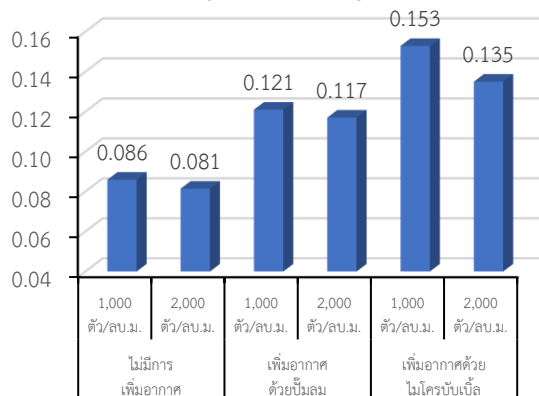


น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (กรัม/วัน)

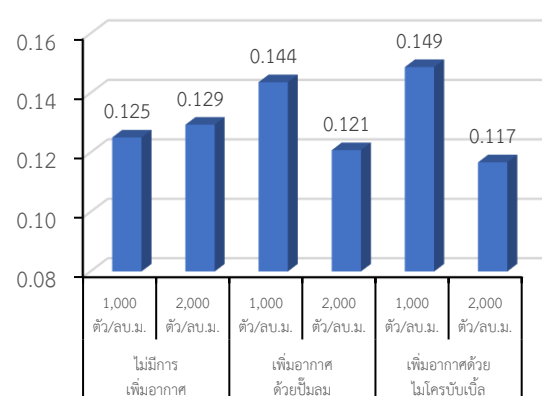


ภาพที่ 9 อัตราการเติบโตด้านความยาวเพิ่มต่อวันและน้ำหนักเพิ่มต่อวันของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมโดยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นที่ต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ความยาวเพิ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร/วัน)



น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (กรัม/วัน)



ภาพที่ 10 อัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มเฉลี่ยและน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ตารางที่ 4 การทดสอบสถิติของข้อมูลอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มและน้ำหนักเพิ่มจากการอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

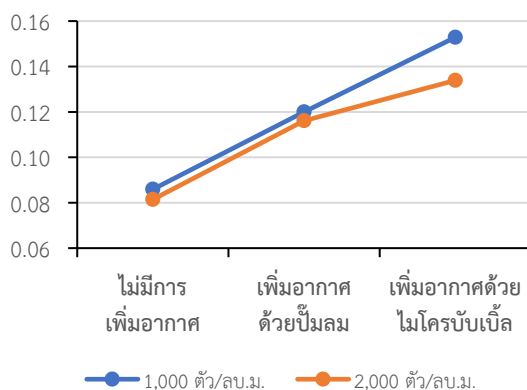
การทดสอบสถิติ	ค่า P-value	
	ความยาวเพิ่มต่อวัน	น้ำหนักเพิ่มต่อวัน
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	0.005	0.706
ปัจจัยระดับความหนาแน่น	0.373	0.028
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศกับปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย	0.767	0.097

ความยาวเพิ่มต่อวัน	ปัจจัยความหนาแน่น		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000 ตัว/ลบ.ม.	2,000 ตัว/ลบ.ม.	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	0.086±0.014	0.081±0.023	0.084±0.016 ^b
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	0.121±0.018	0.117±0.016	0.119±0.014 ^a
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	0.153±0.007	0.135±0.013	0.144±0.014 ^a
ค่าเฉลี่ย	0.120±0.032 ^a	0.110±0.027 ^a	0.115±0.029

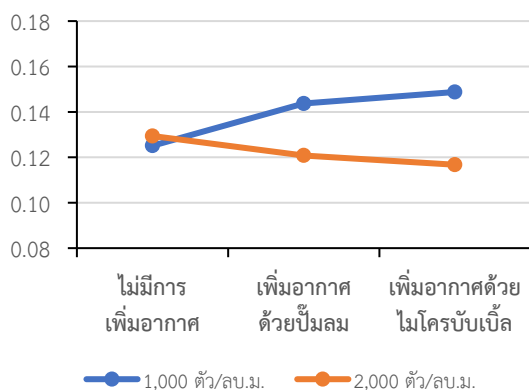
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน	ปัจจัยความหนาแน่น		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000 ตัว/ลบ.ม.	2,000 ตัว/ลบ.ม.	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	0.125±0.008	0.129±0.004	0.127±0.006 ^a
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	0.144±0.007	0.121±0.019	0.132±0.017 ^a
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	0.149±0.014	0.117±0.013	0.133±0.020 ^a
ค่าเฉลี่ย	0.139±0.012 ^a	0.122±0.012 ^b	0.131±0.014

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (mean ± SD) ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ความยาวเพิ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร/วัน)



น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (กรัม/วัน)



ภาพที่ 11 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มและน้ำหนักเพิ่มของลูกปลาตุ๋กอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน

1.3 การกระจายของขนาดความยาวปลา (size distribution)

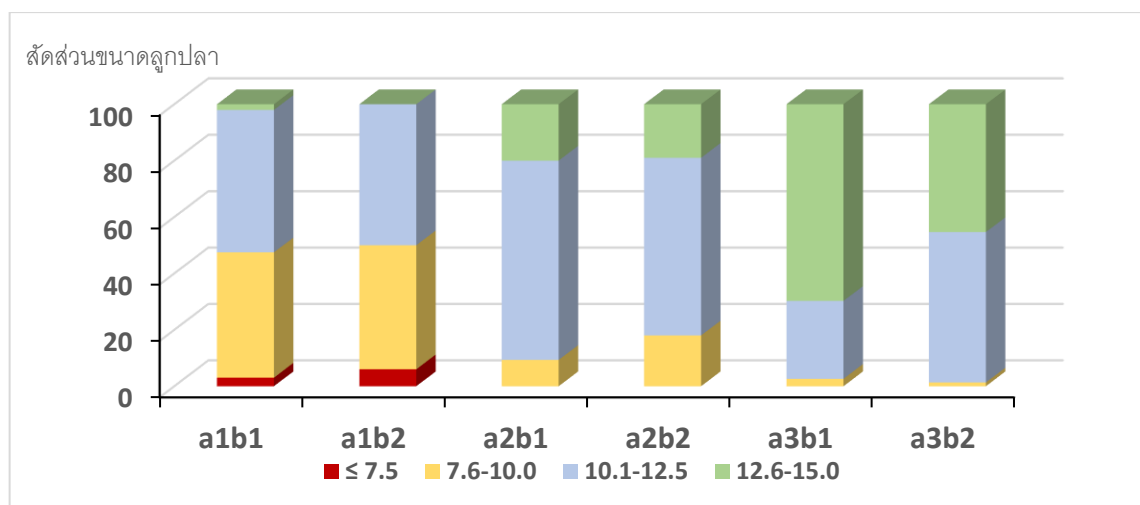
การกระจายโดยขนาดความยาวของลูกปลาดุกอุยเทศเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 49 วัน จากการอนุบาลในรูปแบบการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นที่ต่างกัน พบลูกปลาทั้งหมดมีความยาวอยู่ระหว่าง 7.0-14.8 เซนติเมตร เมื่อจัดแบ่งอันตรภาคชั้นของช่วงความยาวออกเป็น 4 ช่วง พบว่าลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีสัดส่วนการกระจายของขนาดปลาที่ช่วงความยาว 12.6-15.0 เซนติเมตร มากที่สุด จำนวนร้อยละ 69.74 รองลงมาคือลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีสัดส่วนการกระจายของขนาดปลาที่ช่วงความยาว 12.6-15.0 เซนติเมตร จำนวนร้อยละ 45.33 ในขณะที่ชุดการทดลองที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมมีสัดส่วนของขนาดลูกปลาส่วนใหญ่อยู่ที่ช่วงความยาว 10.1-12.5 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่อนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศมีสัดส่วนของลูกปลาส่วนใหญ่อยู่ที่ช่วงความยาว 7.6-10.0 และ 10.1-12.45 เซนติเมตร (ตารางที่ 5 และภาพที่ 12)

ผลการทดสอบสถิติของค่าสัดส่วนการกระจายของช่วงความยาวลูกปลาที่จัดแบ่งออกเป็น 4 ช่วง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.001$) ของช่วงขนาดความยาวลูกปลาระหว่าง 12.6-15.0 เซนติเมตร โดยลูกปลาที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (a3b1) มีค่าสัดส่วนมากกว่าค่าสัดส่วนของช่วงความยาวเดียวกันในทุกชุดการทดลอง และลูกปลาที่อนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ (a1b1 และ a1b2) มีค่าสัดส่วนน้อยกว่าค่าสัดส่วนของช่วงความยาวเดียวกันในทุกชุดการทดลองเช่นกัน

ตารางที่ 5 การกระจายของขนาดความยาวลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ช่วงความยาว (เซนติเมตร)	การกระจายขนาดความยาวของลูกปลา (ร้อยละ)						P-value
	a1b1	a1b2	a2b1	a2b2	a3b1	a3b2	
≤ 7.5	3.03	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.567
7.6 - 10.0	44.44	44.00	9.33	18.00	2.63	1.34	0.095
10.1 - 12.5	50.51	50.00	70.67	63.00	27.63	53.33	0.075
12.6 - 15.0	2.02 ^a	0.00 ^a	20.00 ^{ab}	19.00 ^{ab}	69.74 ^c	45.33 ^b	0.001

หมายเหตุ สัดส่วนการกระจายความยาว (ร้อยละ) ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 12 การกระจายของความยาวลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

2. อัตรารอด

การตอบสนองของอัตราการรอดต่อการอนุบาลลูกปลาตุ๋นอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง การอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลมีอัตราการตายสูงสุดร้อยละ 75.79 ± 5.92 โดยที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 80.75 ± 2.47 และ 70.83 ± 0.60 ในขณะที่อัตราการตายของการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมมีค่าสูงมากรองลงมาที่ร้อยละ 66.75 ± 5.16 โดยที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70.00 ± 5.66 และ 63.50 ± 2.40 ส่วนการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศมีอัตราการตายเฉลี่ยต่ำสุดร้อยละ 56.04 ± 5.81 โดยที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 61.00 ± 1.41 และ 51.08 ± 0.95 ตามลำดับ

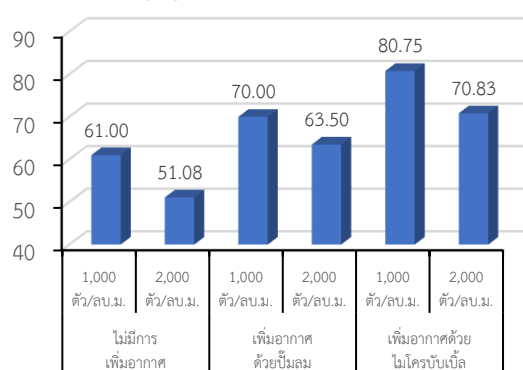
เมื่อทำการทดสอบสถิติพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p=0.631$) ในขณะที่ปัจจัยการเพิ่มอากาศมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.000$) โดยอัตราการตายของการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลมีค่ามากกว่าอัตราการตายของการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม และอัตราการตายของปั๊มลมมีค่ามากกว่าอัตราการตายโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ ส่วนปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยพบอัตราการตายของการอนุบาลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (70.58 ± 9.29) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.002$) มากกว่าอัตราการตายของการอนุบาลที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (61.80 ± 9.01) (ตารางที่ 6 และภาพที่ 13 และ 14)

3. อัตราแลกเนื้อ

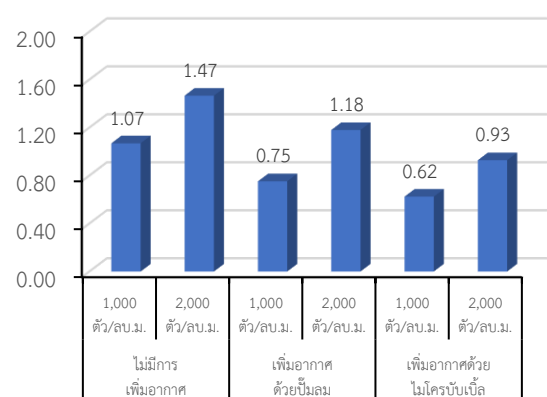
การตอบสนองของอัตราแลกเนื้อต่อการอนุบาลลูกปลาตุ๋นอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง การอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลมีอัตราแลกเนื้อต่ำสุด 0.78 ± 0.20 โดยที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 0.62 ± 0.06 และ 0.93 ± 0.14 ในขณะที่การอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมมีอัตราแลกเนื้อเฉลี่ย 0.96 ± 0.25 โดยที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 0.75 ± 0.06 และ 1.18 ± 0.04 ส่วนการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศมีค่าเฉลี่ย 1.27 ± 0.27 โดยที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 1.07 ± 0.02 และ 1.47 ± 0.26 ตามลำดับ

เมื่อทำการทดสอบสถิติพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p=0.793$) ในขณะที่อัตราแลกเนื้อของการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ (1.27 ± 0.27) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.005$) มากกว่าอัตราแลกเนื้อของการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม (0.96 ± 0.25) และด้วยเครื่องไม่โครบับเบิล (0.78 ± 0.20) อัตราแลกเนื้อของการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเครื่องไม่โครบับเบิลไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนอัตราแลกเนื้อของการอนุบาลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (0.82 ± 0.21) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.002$) น้อยกว่าอัตราแลกเนื้อของการอนุบาลที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (1.19 ± 0.27) (ตารางที่ 6 และภาพที่ 13 และ 14)

อัตราการตาย (%)



อัตราแลกเนื้อ



ภาพที่ 13 อัตราการตายและอัตราแลกเนื้อของลูกปลาตุ๋นอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ตารางที่ 6 การทดสอบสถิติของข้อมูลอัตราการรอดตายและอัตราแลกเนื้อจากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเพศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

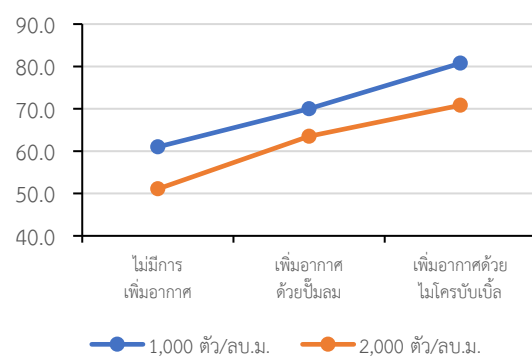
การทดสอบสถิติ	ค่า P-value	
	อัตราการรอด	อัตราแลกเนื้อ
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	0.000	0.005
ปัจจัยความหนาแน่น	0.002	0.002
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศกับปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อย	0.631	0.793

อัตราการรอดตาย	ปัจจัยความหนาแน่น (ตัว/ลบ.ม.)		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000	2,000	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	61.00±1.41	51.08±0.95	56.04±5.81 ^c
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	70.00±5.66	63.50±2.40	66.75±5.16 ^b
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	80.75±2.47	70.83±0.60	75.79±5.92 ^a
ค่าเฉลี่ย	70.58±9.29 ^a	61.80±9.01 ^b	66.19±9.86

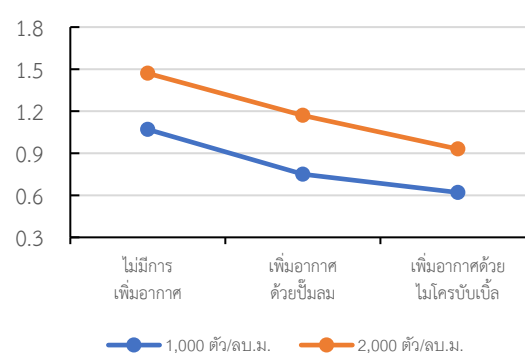
อัตราแลกเนื้อ	ปัจจัยความหนาแน่น (ตัว/ลบ.ม.)		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000	2,000	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	1.07±0.02	1.47±0.26	1.27±0.27 ^a
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	0.75±0.06	1.18±0.04	0.96±0.25 ^b
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	0.62±0.06	0.93±0.14	0.78±0.20 ^b
ค่าเฉลี่ย	0.82±0.21 ^b	1.19±0.27 ^a	1.00±0.30

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (mean ± SD) ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

อัตราการรอดตาย (%)



อัตราแลกเนื้อ



ภาพที่ 14 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลอัตราการรอดตายและอัตราแลกเนื้อของลูกปลาดุกอุยเพศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน

4. ชีตความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพในการผลิต

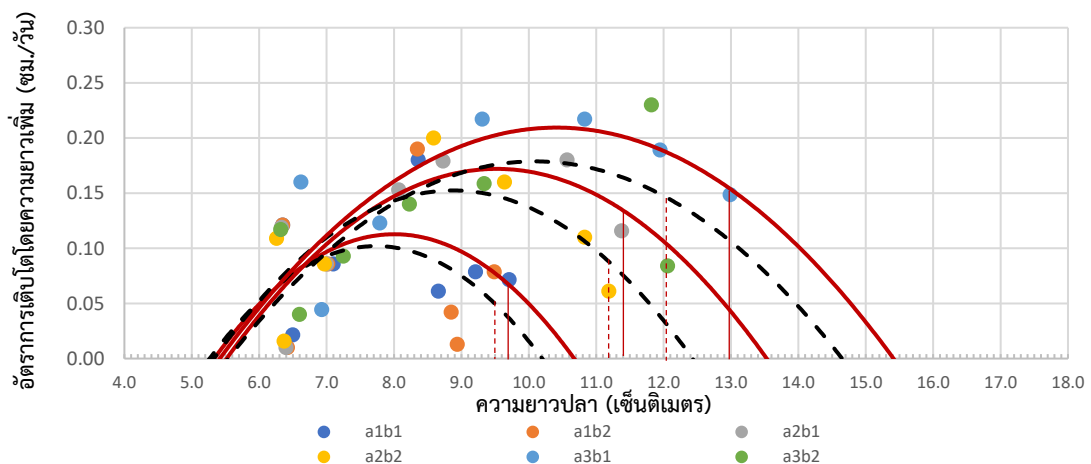
4.1 ชีตความสามารถในการผลิต

การประมาณค่าชีตความสามารถในการผลิตของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลม คือการประมาณค่าขนาดชีวมวลปลาสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้อย่างยั่งยืน โดยไม่กระทบต่อสุขภาพปลา คุณภาพน้ำ หรือเสถียรภาพโดยรวม ซึ่งถูกกำหนดโดยความสมดุลระหว่างอัตราการเติบโตของปลาและความสามารถของระบบในการใช้ทรัพยากรที่จำเป็นในการอนุบาล เช่น ปริมาณออกซิเจนละลาย อาหาร และพื้นที่ ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าความยาวปลาที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาการอนุบาลกับอัตราการเติบโตโดยความยาวเพิ่มต่อวัน

การประมาณค่าชีตความสามารถในการผลิตโดยความยาวลูกปลาที่สามารถรองรับได้ของการอนุบาล ลูกปลาใน 3 รูปแบบ และ 2 ความหนาแน่น พบมีรายละเอียดดังในตารางที่ 7 และภาพที่ 15 โดยผลการประเมิน พบว่าขนาดความยาวสูงสุดที่ระบบการอนุบาลสามารถสนับสนุนให้ลูกปลาไปถึงได้โดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่อง ไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ 15.4 และ 14.6 เซนติเมตร ในขณะที่การอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ 13.5 และ 12.4 เซนติเมตร ส่วนการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ 10.7 และ 10.2 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยภาพรวมพบลูกปลาดุกอุยเทศที่ความ หนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีศักยภาพในการเติบโตด้านความยาวปลามากกว่าลูกปลาที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนลูกปลาที่อนุบาลแบบไม่มีการเพิ่มอากาศมีความยาวที่เป็นไปได้เฉลี่ย 10.45 เซนติเมตร และลูกปลาที่อนุบาลด้วยการเพิ่มอากาศแบบปั๊มลมและเครื่องไมโครบับเบิลมีความยาวปลาที่เป็นไปได้ เฉลี่ย 12.95 และ 15.00 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 7 การประมาณค่าความยาวลูกปลาดุกอุยเทศที่สามารถอนุบาลได้ที่ระดับชีตความสามารถในการผลิต ของบ่อคอนกรีตกลมที่มีรูปแบบการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกัน

ความยาวลูกปลา (ซม.)	อนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ		อนุบาลโดยเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม		อนุบาลโดยเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	
	1,000 ตัว/ม ³	2,000 ตัว/ม ³	1,000 ตัว/ม ³	2,000 ตัว/ม ³	1,000 ตัว/ม ³	2,000 ตัว/ม ³
ที่ระดับชีตความสามารถในการผลิต	10.7	10.2	13.5	12.4	15.4	14.6
ที่ระดับเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	9.7	9.5	11.4	11.2	13.0	12.1
ที่ระดับค่าความยาวเพิ่มสูงสุด	5.4	5.1	6.8	6.2	7.7	7.3



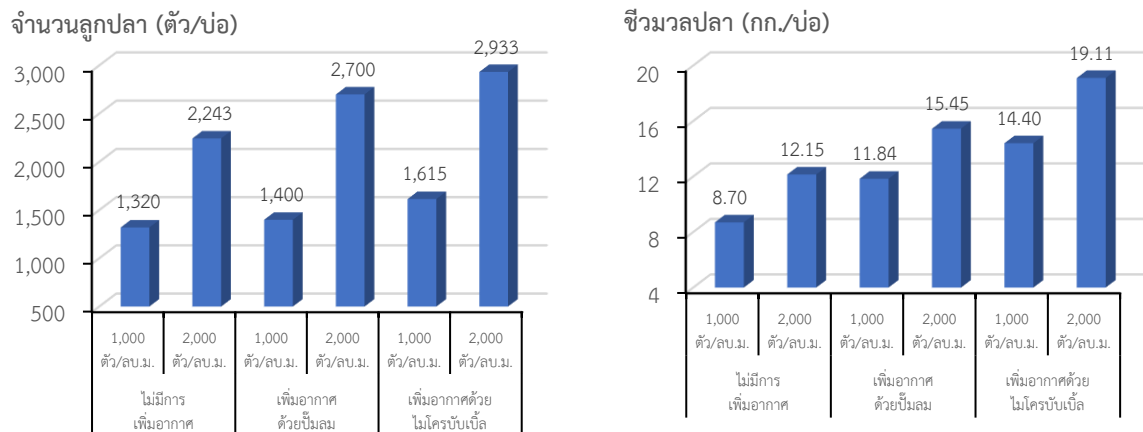
ภาพที่ 15 การประมาณค่าความยาวลูกปลาดุกอุยเทศที่สามารถอนุบาลได้ที่ระดับชีตความสามารถในการผลิตของ บ่อคอนกรีตกลมที่มีการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกัน

4.2 ประสิทธิภาพในการผลิต

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตของรูปแบบการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศที่มีการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันพบมีรายละเอียดดังใน **ตารางที่ 8** และ **ภาพที่ 16** การประเมินค่าประสิทธิภาพในการผลิตของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยจำนวนและชีวมวลที่เหลือรอดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าจำนวนปลาและชีวมวลปลาที่เหลือรอดสูงสุดคือการอนุบาลในรูปแบบการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 2,274 ตัว/บ่อ และ 16.75 กิโลกรัม/บ่อ ในขณะที่การอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมมีค่าเฉลี่ย 2,050 ตัว/บ่อ และ 13.65 กิโลกรัม/บ่อ ส่วนการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศมีค่าเฉลี่ย 1,782 ตัว/บ่อ และ 10.43 กิโลกรัม/บ่อ ตามลำดับ

จากการประเมินความสามารถในการผลิตของการอนุบาลโดยจำนวนพบว่า ประสิทธิภาพในการผลิตจากการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเครื่องไม่โครบับเบิลเปรียบเทียบกับการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศพบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.07 และ 27.65 ในขณะที่ประสิทธิภาพในการผลิตของการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลเปรียบเทียบกับปั๊มลมพบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.93 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของจำนวนปลาได้มากขึ้นอีกร้อยละ 15.07-27.65 และประสิทธิภาพในการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมถึงเกือบสองเท่าตัว

ในขณะที่การประเมินความสามารถในการผลิตของการอนุบาลโดยชีวมวลพบว่าประสิทธิภาพในการผลิตจากการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเครื่องไม่โครบับเบิลเปรียบเทียบกับการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศพบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.89 และ 60.70 ในขณะที่ประสิทธิภาพในการผลิตของการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลเปรียบเทียบกับปั๊มลมพบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 22.77 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของชีวมวลปลาได้มากขึ้นอีกร้อยละ 30.89-60.70 และประสิทธิภาพในการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมถึงเกือบสองเท่าตัวเช่นกัน



ภาพที่ 16 จำนวนและชีวมวลของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพในการผลิตของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศโดยจำนวนและชีวมวลปลาที่ได้รับเมื่อสิ้นสุดการทดลองด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

การอนุบาลปลาดุกอุยเทศ โดยการเพิ่มอากาศ ที่ต่างกัน	จำนวนลูกปลา (ตัว) จากการอนุบาล					ชีวมวลปลา (กก.) จากการอนุบาล				
	ความหนาแน่น			ประสิทธิภาพ		ความหนาแน่น			ประสิทธิภาพ	
	1,000 ตัว/ม ³	2,000 ตัว/ม ³	เฉลี่ย	a2:a1 a3:a1	a3:a2	1,000 ตัว/ม ³	2,000 ตัว/ม ³	เฉลี่ย	a2:a1 a3:a1	a3:a2
	ตัว/ม ³	ตัว/ม ³	เฉลี่ย			ตัว/ม ³	ตัว/ม ³	เฉลี่ย		
a1=ไม่มีการเพิ่มอากาศ	1,320	2,243	1,782	-	-	8.70	12.15	10.43	-	-
a2=เพิ่มด้วยปั๊มลม	1,400	2,700	2,050	15.07	-	11.84	15.45	13.65	30.89	-
a3=เพิ่มด้วยไม่โครบับเบิล	1,615	2,933	2,274	27.65	10.93	14.40	19.11	16.75	60.70	22.77
เฉลี่ย	1,445	2,625	2,035	-	-	11.65	15.57	13.61	-	-

5. คุณภาพน้ำ

การเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่สำคัญจากการอนุบาลลูกปลาตุ๊กตาคูในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร ที่มีรูปแบบการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นของการปล่อยที่ต่างกันในระยะเวลา 49 วัน พบมีรายละเอียดดังใน [ตารางที่ 9 และ 10 และภาพที่ 17, 18 และ 19](#)

ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ติดตามตรวจสอบรายสัปดาห์ระหว่างการอนุบาลลูกปลาตุ๊กตาคูในบ่อคอนกรีตกลมโดยรูปแบบการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 30.41-30.46 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.85-7.10 ความเป็นด่างและความกระด้างของน้ำอยู่ในช่วง 96.5-159.9 และ 102.5-130.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 0.10-2.99 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวมอยู่ในช่วง 1.90-3.63 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนโตรที่อยู่ในช่วง 0.17-1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ([ตารางที่ 9](#)) โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในกลุ่มอุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นด่าง และความกระด้างนั้นไม่มีแนวโน้มแตกต่างกันในช่วงเวลาระหว่างการอนุบาล ส่วนพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในกลุ่มปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนโตรที่พบมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากระหว่างชุดการทดลองที่มีรูปแบบการเพิ่มอากาศที่ต่างกัน

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำโดยปริมาณออกซิเจนละลายในทุกชุดการทดลองในระยะเวลา 49 วัน พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปค่อนข้างมาก โดยเมื่อเริ่มต้นอนุบาลทุกชุดการทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลาย 4.6-4.8 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นพบว่าในช่วงเวลาหลังวันที่ 3-7 ของการอนุบาลเป็นต้นไป ชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มอากาศมีปริมาณออกซิเจนละลายเหลืออยู่ในระดับต่ำมากใกล้เคียง 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ชุดการทดลองโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมมีปริมาณออกซิเจนละลายเหลืออยู่ 1.0-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดการทดลองโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลมีปริมาณออกซิเจนละลายเหลืออยู่ 1.5-3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งระบบการอนุบาลที่มีการเพิ่มอากาศที่ต่างกัน 3 แบบ มีความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนละลายแบ่งเป็น 3 กลุ่ม อย่างชัดเจน ([ภาพที่ 17](#))

เมื่อนำข้อมูลคุณภาพน้ำของ 3 พารามิเตอร์สำคัญมาทดสอบสถิติของอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยที่ศึกษาพบว่าปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลาย ($p=0.001$) แอมโมเนียรวม ($p=0.002$) และไนโตร ($p=0.000$) และเมื่อพบว่าปัจจัยหลักที่ศึกษามีปฏิสัมพันธ์กันทางสถิติซึ่งแสดงว่าประสิทธิภาพของปัจจัยแรกนั้นขึ้นอยู่กับแต่ละระดับของปัจจัยที่สอง จึงได้ทำการทดสอบสถิติแบบแยกกลุ่มตามปัจจัยที่ศึกษาโดยใช้ระดับความหนาแน่นของการปล่อยเป็นกลุ่มย่อย ประกอบด้วยกลุ่มชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร แล้วทำการทดสอบและเปรียบเทียบพารามิเตอร์คุณภาพน้ำจากชุดการทดลองดังกล่าวดังรายละเอียดใน [ตารางที่ 10](#)

การทดสอบสถิติของข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายพบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ในทิศทางเดียวกันทั้งกลุ่มความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร โดยชุดการทดลองการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิล (2.99 และ 2.28 มก./ล.) มีค่ามากกว่าชุดการทดลองการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม (2.24 และ 1.54 มก./ล.) และการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมก็มีค่ามากกว่าการอนุบาลที่ไม่มีการเพิ่มอากาศ (0.17 และ 0.11 มก./ล.)

ในส่วนของการทดสอบสถิติของข้อมูลแอมโมเนียรวมในกลุ่มความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าชุดการทดลองการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิล (1.91 มก./ล.) มีค่าไม่แตกต่างไปจากการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม (1.84 มก./ล.) แต่ทั้งคู่มีความแตกต่างน้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มอากาศ (3.53 มก./ล.) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.004$) และการทดสอบสถิติของข้อมูลแอมโมเนียรวมในกลุ่มความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบชุดการทดลองทั้งการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ (3.47 มก./ล.) การเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม (3.63 มก./ล.) และการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิล (3.06 มก./ล.) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.204$)

ในขณะที่การทดสอบสถิติของข้อมูลไนโตรที่พบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p=0.000$, $p=0.001$) ในทิศทางเดียวกันทั้งในกลุ่มความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร โดยชุดการทดลองการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิล (1.70 และ 1.29 มก./ล.) มีค่าไม่แตกต่างไปจากการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม (1.84 และ 1.41 มก./ล.) แต่ทั้งคู่มีความแตกต่างมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มอากาศ (0.18 และ 0.43 มก./ล.)

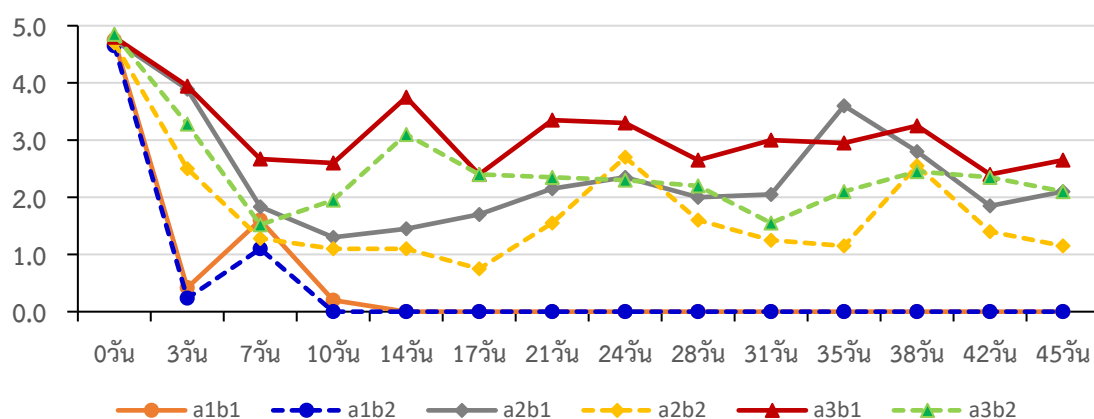
ในส่วนของการศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณออกซิเจนละลายกับค่าแอมโมเนียรวม และการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณออกซิเจนละลายกับค่าไนโตรที่พบว่ามีปริมาณออกซิเจนละลายมีแนวโน้มสัมพันธ์ในทิศทางเชิงผกผันกับปริมาณค่าแอมโมเนียรวม และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณค่าไนโตรที่ (ภาพที่ 20) โดยชุดการทดลองที่พบมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้นก็จะพบปริมาณค่าของแอมโมเนียรวมลดลงและมีปริมาณค่าของไนโตรที่สูงขึ้นตามกัน โดยปริมาณออกซิเจนละลายที่มีค่าสูงขึ้นจะช่วยสนับสนุนให้แบคทีเรียในกลุ่ม Nitrifying bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในน้ำในการหายใจและย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไปเป็นไนโตรเจนในรูปของไนโตรที่และไนเตรทผ่านกระบวนการที่เรียกว่าไนตริฟิเคชัน ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ข้อมูลคุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาลลูกปลาตุ๋นเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

คุณภาพน้ำ	ค่า เหมาะสม	ชุดการทดลอง					
		a1b1	a1b2	a2b1	a2b2	a3b1	a3b2
1. อุณหภูมิน้ำ (°C)	25-30*	30.44 ±1.20	30.46 ±1.15	30.42 ±1.09	30.44 ±1.20	30.42 ±1.14	30.41 ±1.10
2. ความเป็นกรด-ด่าง	6.5-8.5*	7.04 ±0.12	6.95 ±0.11	7.10 ±0.41	6.98 ±0.20	6.97 ±0.33	6.85 ±0.18
3. ความเป็นด่าง (มก./ล.)	50-300***	136.5 ±29.47	157.3 ±49.65	96.5 ±27.74	159.9 ±46.79	106.8 ±20.66	145.8 ±34.49
4. ความกระด้าง (มก./ล.)	40-300**	112.3 ±25.74	130.5 ±41.49	102.5 ±13.93	113.5 ±25.33	103.9 ±20.80	104.7 ±11.90
5. ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	>4.0*	0.17 ±0.030	0.10 ±0.009	2.24 ±0.141	1.54 ±0.028	2.99 ±0.013	2.28 ±0.092
6. แอมโมเนียรวม (มก./ล.)	< 0.01*	3.52 ±0.037	3.46 ±0.154	1.84 ±0.295	3.63 ±0.300	1.90 ±0.068	0.269 ±1.11
7. ไนไตรท์ (มก./ล.)	<1.0*	0.17 ±0.036	0.43 ±0.082	1.84 ±0.027	1.41 ±0.007	1.69 ±0.103	1.29 ±0.057

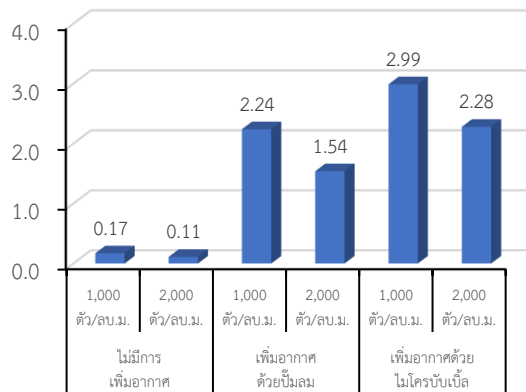
อ้างอิงจาก * Subhan et al.(2021) **Boyd et al. (2016) ***นฤมล (2544)

ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)

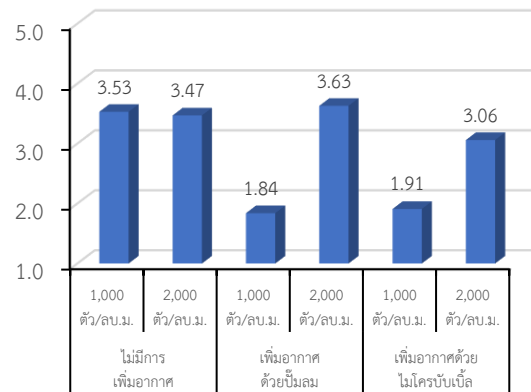


ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลาย (มก./ล.) ของการอนุบาลลูกปลาตุ๋นเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

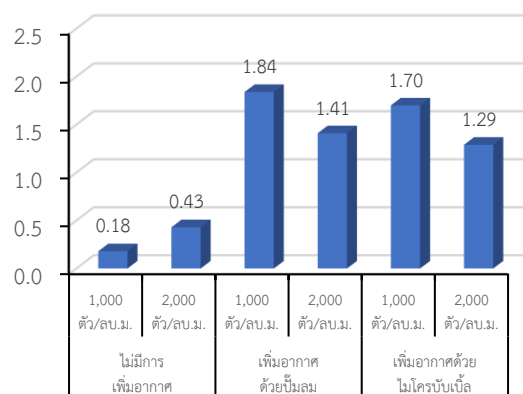
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)



แอมโมเนีย (มก./ล.)



ไนไตรท์ (มก./ล.)



ภาพที่ 18 ปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์ของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเพศในบ่อคอนกรีต กลมด้วยรูปแบบการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

ตารางที่ 10 การทดสอบสถิติของข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์จากการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเพศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

การทดสอบสถิติ	ค่า P-value		
	ออกซิเจนละลาย	แอมโมเนียรวม	ไนไตรท์
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	0.000	0.001	0.000
ปัจจัยระดับความหนาแน่น	0.000	0.000	0.002
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศกับปัจจัยความหนาแน่น	0.001	0.002	0.000

ปริมาณออกซิเจนละลาย	ปัจจัยความหนาแน่น		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000 ตัว/ลบ.ม.	2,000 ตัว/ลบ.ม.	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	0.17±0.03 ^c	0.11±0.01 ^c	0.14±0.04
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	2.24±0.14 ^b	1.54±0.03 ^b	1.89±0.41
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	2.99±0.01 ^a	2.28±0.09 ^a	2.64±0.41
ค่าเฉลี่ย	1.80±1.31	1.31±0.99	1.56±1.136
ค่า P-value	0.000	0.000	-

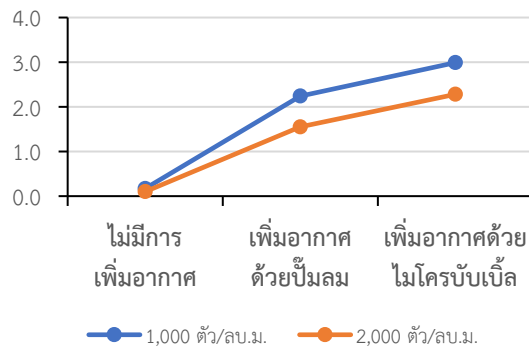
ตารางที่ 10 (ต่อ)

แอมโมเนียรวม	ปัจจัยความหนาแน่น		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000 ตัว/ลบ.ม.	2,000 ตัว/ลบ.ม.	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	3.53±0.04 ^a	3.47±0.15 ^a	3.50±0.09
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	1.84±0.30 ^b	3.63±0.30 ^a	2.74±1.06
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	1.91±0.06 ^b	3.06±0.27 ^a	2.48±0.69
ค่าเฉลี่ย	2.42±0.86	3.39±0.33	2.90±0.80
ค่า P-value	0.004	0.204	-

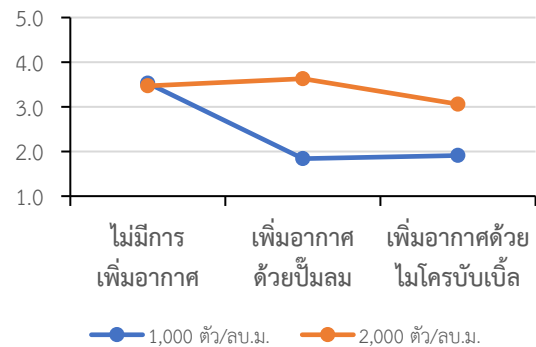
ไนโตรเจน	ปัจจัยความหนาแน่น		ค่าเฉลี่ย
ปัจจัยการเพิ่มอากาศ	1,000 ตัว/ลบ.ม.	2,000 ตัว/ลบ.ม.	
ไม่มีการเพิ่มอากาศ	0.18±0.04 ^b	0.43±0.09 ^b	0.30±0.16
เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม	1.84±0.02 ^a	1.41±0.01 ^a	1.62±0.25
เพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิล	1.70±0.11 ^a	1.29±0.06 ^a	1.49±0.24
ค่าเฉลี่ย	1.24±0.83	1.04±0.48	1.14±0.65
ค่า P-value	0.000	0.001	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (mean ± SD) ที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่งและแนวนอนในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

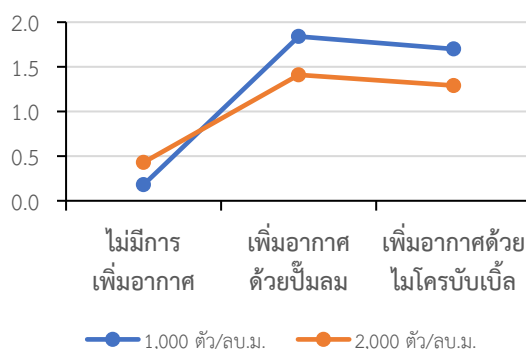
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)



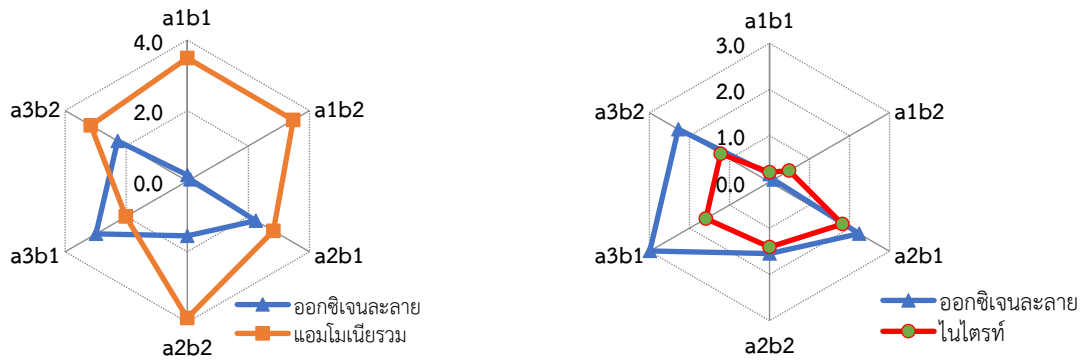
แอมโมเนียรวม (มก./ล.)



ไนโตรเจน (มก./ล.)



ภาพที่ 19 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นของข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนโตรเจนของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในบ่อคอนกรีตกลมในระยะเวลา 49 วัน



ภาพที่ 20 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายกับแอมโมเนียรวม และปริมาณออกซิเจนละลายกับไนโตรเจน จากการอนุบาลลูกปลาตุ๋นเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

6. ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

6.1 ต้นทุนการอนุบาล

การศึกษาต้นทุนของการอนุบาลลูกปลาตุ๋นเทศในบ่อคอนกรีตกลมโดยระบบการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลาอนุบาล 49 วัน พบมีรายละเอียดดังในตารางที่ 11 และภาพที่ 21 ผลการศึกษาโดยรวมพบว่าชุดการทดลองของการอนุบาลลูกปลาที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าชุดการทดลองของการอนุบาลลูกปลาที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ในวงเงินประมาณ 800 บาทต่อบ่อ หรือเพิ่มขึ้นอีกเกือบประมาณหนึ่งเท่าตัว ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนค่าพันธุ์ปลาและค่าอาหารปลาที่มีความแตกต่างกันในปริมาณดังกล่าว ในขณะที่ต้นทุนค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์การเพิ่มอากาศของการอนุบาลโดยเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลพบมีความแตกต่างกันประมาณ 360 บาทต่อบ่อต่อระยะเวลาอนุบาล 49 วัน

ในส่วนของต้นทุนการผลิตทั้งหมดพบว่าการอนุบาลลูกปลาตุ๋นเทศโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 1,589.32 และ 2,771.55 บาทต่อบ่อ ในขณะที่การอนุบาลลูกปลาตุ๋นเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 1,871.24 และ 3,088.04 บาทต่อบ่อ ส่วนการอนุบาลลูกปลาตุ๋นเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 2,234.94 และ 3,433.38 บาทต่อบ่อ (ตารางที่ 11 และภาพที่ 21) โดยมีรายละเอียดของการคำนวณต้นทุนดังนี้

1) ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย

- ค่าเสื่อมราคาของเครื่องเพิ่มอากาศแบบปั๊มลมขนาดท่อ 4 นิ้ว ราคา 90,000 บาท มีอายุใช้งาน 5 ปี ใช้ได้รวม 10 บ่อ มีค่าเสื่อมราคาต่อบ่อต่อช่วงเวลาอนุบาล 49 วัน เท่ากับ 241.64 บาท
- ค่าเสื่อมราคาของเครื่องเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลขนาด 0.45 แรงม้า ราคา 9,000 บาท มีอายุการใช้งาน 2 ปี มีค่าเสื่อมราคาต่อบ่อต่อช่วงเวลาอนุบาล 49 วัน เท่ากับ 604.11 บาท
- ค่าเสียโอกาสในการลงทุน คำนวณจากต้นทุนทั้งหมด จากดอกเบี้ยฝากประจำ 3 เดือน ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ ปี 2567 ผลตอบแทนร้อยละ 1.20

2) ต้นทุนผันแปร ประกอบด้วย

- ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องเพิ่มอากาศทั้ง 2 แบบ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยวันละ 1.11 บาทต่อบ่อ
- ค่าแรงงานในการให้อาหาร ใช้เวลาดำเนินการวันละ 10 นาทีต่อบ่อ เมื่อคำนวณจากค่าแรงขั้นต่ำของจังหวัดชลบุรีที่กำหนดไว้ 363 บาทต่อวัน มีค่าแรงงานในช่วงอนุบาล 49 วัน เท่ากับ 370.56 บาทต่อบ่อ
- ค่าลูกพันธุ์ปลาตุ๋นเทศ ขนาด 2 นิ้ว ราคาตัวละ 0.45 บาท
- ค่าอาหารปลาตุ๋นเทศ ราคา กิโลกรัมละ 34 บาท

6.2 ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณค่าผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลม โดยการอนุบาลในระบบการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกัน ในระยะเวลา 49 วัน มีรายละเอียดดังนี้

1) ราคาจำหน่ายลูกปลาตุ๋กอุยเทศ ในการคำนวณค่าได้อ้างอิงขนาดปลาตามขนาดความยาวเฉลี่ย เมื่อสิ้นสุดการทดลองในหน่วยความยาวเป็นนิ้ว และอ้างอิงราคาจำหน่ายลูกพันธุ์ปลาตุ๋กอุยเทศตามเกณฑ์ราคาตลาดทั่วไปที่มีการกำหนดราคาตามขนาดความยาวปลาที่ความยาว 1 นิ้ว มีราคา 1 บาท โดยในการคำนวณได้ปรับช่วงรายละเอียดของขนาดลูกปลาเป็นช่วงละ 0.25 นิ้ว หรือมีเกณฑ์ราคาเพิ่มขึ้นช่วงละ 0.25 บาท

2) รายได้ทั้งหมด ในการคำนวณใช้จำนวนลูกปลาที่เหลือรอดคูณกับราคาตามขนาดความยาวเฉลี่ยของลูกปลาในชุดการทดลองนั้น ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีรายได้เฉลี่ย 4,950 และ 8,411 บาทต่อบ่อ ในขณะที่การอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีรายได้เฉลี่ย 6,300 และ 11,475 บาทต่อบ่อ ส่วนการอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีรายได้เฉลี่ย 8,075 และ 13,932 บาทต่อบ่อ

3) กำไรสุทธิ คำนวณจากรายได้ทั้งหมดหักต้นทุนทั้งหมด พบว่า การศึกษาผลการอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบมีกำไรสุทธิเฉลี่ย 3,361 และ 5,640 บาท ในขณะที่การอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีกำไรสุทธิเฉลี่ย 4,429 และ 8,387 บาท ส่วนการอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีกำไรสุทธิเฉลี่ย 5,840 และ 10,498 บาท

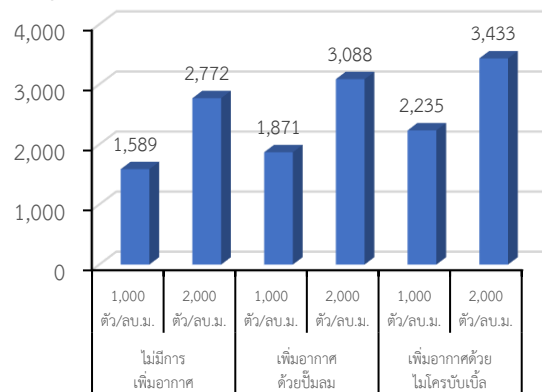
ตารางที่ 11 ต้นทุนและผลตอบแทนของการอนุบาลลูกปลาตุ๋กอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกัน ในระยะเวลา 49 วัน

ต้นทุน/ผลตอบแทน	ชุดการทดลอง					
	a1b1	a1b2	a2b1	a2b2	a3b1	a3b2
รวมต้นทุนคงที่ (บาท/บ่อ)	-	-	242.03	242.03	602.08	605.08
- ค่าเสื่อมอุปกรณ์เพิ่มอากาศ	-	-	241.64	241.64	601.11	604.11
- ค่าเสียโอกาสลงทุน	-	-	0.39	0.39	0.97	0.97
รวมต้นทุนผันแปร (บาท/บ่อ)	1,589.32	2,771.55	1,629.21	2,846.01	1,632.86	2,828.30
- ค่าไฟฟ้า	-	-	54.45	54.45	54.45	54.45
- ค่าแรงงาน	370.56	370.56	370.56	370.56	370.56	370.56
- ค่าพันธุ์ปลา	900	1,800	900	1,800	900	1,800
- ค่าอาหารปลา	316.20	596.53	301.58	616.42	305.22	598.74
- ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	2.56	4.46	2.62	4.58	2.63	4.55
รวมต้นทุนทั้งหมด (บาท/บ่อ)	1,589.32	2,771.55	1,871.24	3,088.04	2,234.94	3,433.38
ผลผลิตลูกปลาตุ๋กอุยเทศ (ตัว)	1,320	2,243	1,400	2,700	1,615	2,933
ราคาจำหน่ายลูกปลาตุ๋ก	3.75	3.75	4.50	4.25	5.00	4.75
รายได้ทั้งหมด (บาท/บ่อ)	4,950.00	8,411.25	6,300.00	11,475.00	8,075.00	13,931.75
รายได้สุทธิ (บาท/บ่อ)	3,360.68	5,639.70	4,670.79	8,628.99	6,442.14	11,103.45
กำไรสุทธิ (บาท/บ่อ)	3,360.68	5,639.70	4,428.76	8,386.96	5,840.06	10,498.37
ผลตอบแทนการลงทุน (%)	211.45	203.49	236.67	271.60	261.31	305.77
ต้นทุนการผลิต (บาท/ตัว)	1.20	1.24	1.34	1.14	1.38	1.17

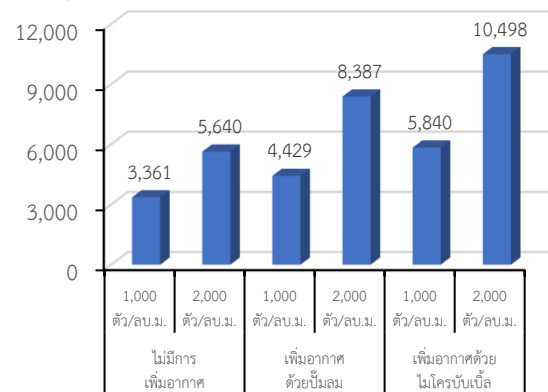
4) ต้นทุนการผลิต การอนุบาลลูกปลาตกอุยเทศโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีต้นทุนผลิตเฉลี่ย 1.20 และ 1.24 บาทต่อตัว ในขณะที่การอนุบาลลูกปลาตกอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 1.34 และ 1.14 บาทต่อตัว ส่วนการอนุบาลลูกปลาตกอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 1.38 และ 1.17 บาทต่อตัว

5) ผลตอบแทนต่อการลงทุน จากการศึกษพบการอนุบาลลูกปลาตกอุยเทศโดยไม่มีการเพิ่มอากาศที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีผลตอบแทนต่อการลงทุนเฉลี่ย 211.5 และ 203.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การอนุบาลลูกปลาตกอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีผลตอบแทนต่อการลงทุนเฉลี่ย 236.7 และ 271.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการอนุบาลลูกปลาตกอุยเทศโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีผลตอบแทนต่อการลงทุนเฉลี่ย 261.3 และ 305.8 เปอร์เซ็นต์

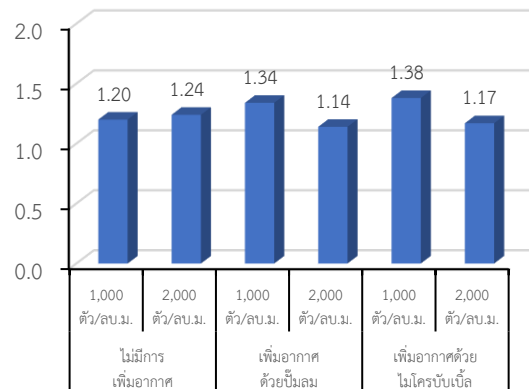
ต้นทุนทั้งหมด (บาท/บ่อ)



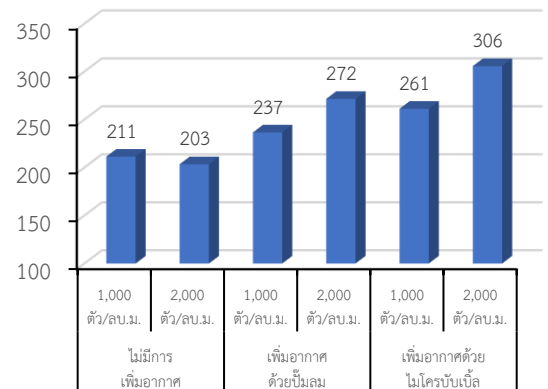
กำไรสุทธิ (บาท/บ่อ)



ต้นทุนการผลิต (บาท/ตัว)



ผลตอบแทน (%)



ภาพที่ 21 ต้นทุนและผลตอบแทนของการอนุบาลลูกปลาตกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมด้วยการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน

วิจารณ์ผลการศึกษา

โดยภาพรวมของการศึกษาผลของการใช้เทคโนโลยีเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศ (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) ในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร จากลูกปลาขนาด 2 นิ้ว เป็นขนาด 5 นิ้ว เพื่อศึกษาอิทธิพลของ 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยการเพิ่มอากาศในการอนุบาลที่ต่างกัน 3 แบบ และปัจจัยความหนาแน่นของการปล่อยปลาอนุบาล 2 ระดับ ในระยะเวลา 49 วัน พบมีการวิจารณ์ผลการศึกษาในประเด็นที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การเติบโตและอัตราการเติบโต

จากการศึกษาการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมที่ระบบการเพิ่มอากาศต่างกัน 3 แบบ และความหนาแน่นต่างกัน 2 ระดับ ในระยะเวลา 49 วัน โดยมีความยาวปลาเริ่มต้นเฉลี่ย 5.07 ± 0.95 เซนติเมตร และน้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ย 1.19 ± 0.47 กรัม พบว่าการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศที่มีการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลและการอนุบาลโดยเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมพบมีค่าความยาวเฉลี่ยสูงกว่าการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ ทั้งนี้การอนุบาลปลาดุกอุยเทศที่มีการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลมีค่าความยาวเฉลี่ยมากกว่าการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม และทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Boyd (1992) ที่ได้รายงานไว้ว่า ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำ โดยอัตราการใช้ออกซิเจนจะแตกต่างกันไปตามชนิดสัตว์น้ำ เช่น ปลาทองและปลาไนที่ถูกกระตุ้นให้เคลื่อนไหวจะใช้ออกซิเจนในอัตรา 237 และ 885 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (Basu, 1959) ปลานิลใช้ออกซิเจนในอัตรา 220-458 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (Farmer and Beamish, 2011)

ในส่วนน้ำหนักเฉลี่ยของปลาดุกอุยเทศที่ได้จากการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เช่นกัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความหนาแน่นที่ต่ำกว่าจะมีการเติบโตโดยความยาวและน้ำหนักมากกว่า ส่วนการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลทำให้มีการเติบโตโดยความยาวและน้ำหนักมากกว่าการอนุบาลโดยเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม หรือการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ Hapher (1978); Ambeker and Doyle (1990) และ Robinson and Doyle (1990) ที่รายงานว่า การเติบโตและอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำมีความสัมพันธ์ในลักษณะปฏิภาคผกผันกับอัตราความหนาแน่น คือเมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยอัตราที่หนาแน่นมากขึ้น การเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาจะลดลง เนื่องจากกำลังการผลิตของบ่อปลาจำกัดจากสาเหตุที่ระดับความหนาแน่นมากขึ้นมีผลทำให้สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น เช่น ทำให้พื้นที่อยู่อาศัยลดลง เกิดการแข่งขันด้านต่างๆ ระหว่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้คืออัตราการรอดตายในชุดการทดลองที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจะมีค่าสูงกว่า และการอนุบาลโดยมีการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลจะส่งผลให้มีอัตราการรอดตายสูงกว่าการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม และการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศ

การเติบโตโดยความยาวของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความยาวเฉลี่ยสูงสุด 12.99 ± 0.37 เซนติเมตร มีอัตราแลกเนื้อต่ำสุดที่ 0.62 ± 0.06 และมีอัตราการรอดตายสูงสุดร้อยละ 80.75 ± 2.47 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการอนุบาลด้วยการเพิ่มอากาศจากปั๊มลมและไม่มีการเพิ่มอากาศ ส่วนการเติบโตด้านน้ำหนักที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลด้วยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเครื่องไมโครบับเบิลมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด 8.23 ± 0.07 และ 8.49 ± 0.04 กรัม ในขณะที่ลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศมีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำสุด 7.32 ± 0.40 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมี

ความสอดคล้องกับการศึกษาของ Setyono *et al.* (2023) ที่รายงานว่าปลาอุก (*Clarias* sp.) ที่เลี้ยงในระบบการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลและไม่มีการเพิ่มอากาศในระยะเวลา 45 วัน พบการเติบโตโดยความยาวเฉลี่ย 7.06 ± 0.4 และ 3.51 ± 0.2 เซนติเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ย 8.00 ± 0.3 กรัม และ 4.95 ± 0.3 กรัม และอัตราการรอดร้อยละ 85 ± 4.2 และ 53.5 ± 8.7 ตามลำดับ

2. อัตราการรอดและอัตราแลกเนื้อ

ในส่วนของการแลกเนื้อพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราแลกเนื้อของลูกปลาดุกอุกเทศที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลที่ความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพุท (2558) ที่กล่าวว่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายเป็นตัวแปรสำคัญที่จำกัดการกินอาหารของกุ้งที่จะส่งผลถึงผลผลิตและประสิทธิภาพในการให้อาหารในรูปแบบของอัตราแลกเนื้อ สำหรับอิทธิพลของการขาดแคลนออกซิเจนในน้ำต่อการกินอาหารของสัตว์น้ำนั้นได้มีการรายงานในสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น ในปลาเทราท์ พบว่าการกินอาหารลดลงร้อยละ 29 ในสภาวะขาดแคลนออกซิเจนเมื่อเทียบกับสภาวะที่ออกซิเจนปกติ (Saravanan *et al.*, 2013) ในกึ่งทะเล *Fenneropenaeus chinensis* พบการเติบโต การกินอาหาร และอัตราแลกเนื้อของกุ้งลดลงตามลำดับตามการลดลงของออกซิเจน (Wei *et al.*, 2009) นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายที่มีค่าสูงยังช่วยเพิ่มกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและการย่อยของเอนไซม์ และลดปริมาณกลูโคสและกรดแลคติก (Li *et al.*, 2020) ปริมาณออกซิเจนละลายที่มีสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของปลากะพงขาว (Romano *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม ปริมาณออกซิเจนละลายที่มีค่าอยู่ในระดับต่ำหรือสูงเกินไปจะส่งผลทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอและติดโรคร่าง โดยปริมาณออกซิเจนที่สูงมากถึงระดับ 150 เปอร์เซ็นต์ของจุดอิ่มตัวจะมีผลให้ปลาเป็นโรคมามากขึ้น (Boyd, 1992)

3. คุณภาพน้ำ

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในระหว่างการอนุบาลลูกปลาดุกอุกเทศในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร โดยมีการเพิ่มอากาศและความหนาแน่นต่างกันในระยะเวลา 49 วัน พบว่า อุณหภูมิของชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 30.41-30.46 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.85-7.10 ความเป็นด่างและความกระด้างมีค่าอยู่ในช่วง 96.5-159.9 และ 102.5-130.6 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพโดยรวมยังอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามที่ไมตรี และจรรุวรรณ (2528); มั่นสิน และไพพรรณ (2544); นฤมล (2544) ได้ระบุว่าเป็นกรด-ด่างควรมีค่า 6.5-9.0 ความเป็นด่างของน้ำควรมีค่า 50-300 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้างควรมีค่า 75-300 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ปริมาณออกซิเจนละลายมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-2.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมที่ระบุไว้ควรมีค่ามากกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ การใช้เครื่องเพิ่มอากาศแบบไม่โครบับเบิลในการอนุบาลนอกจากสามารถช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำแล้ว ยังช่วยลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ด้วย (รุ่งระวี, 2560) เมื่อพิจารณาจากการทดลองพบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายกับแอมโมเนียรวมมีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายกับไนไตรท์มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายลดลง ค่าแอมโมเนียรวมจะเพิ่มขึ้น และค่าไนไตรท์จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Wajsbrol *et al.* (1991) ที่รายงานว่าแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายที่มีในน้ำลดลง

นอกจากนี้ การใช้เครื่องเพิ่มอากาศแบบไม่โครบับเบิลในการอนุบาลหรือเลี้ยงปลาจะสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำแล้ว ยังส่งเสริมให้สัตว์น้ำให้มีการเติบโตที่ดี โดยช่วยควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีอีกด้วย โดยเฉพาะการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ เนื่องจากฟองอากาศอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้มีประจุลบซึ่งสามารถไปจับกับตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในน้ำให้ตกตะกอน และเสริมให้จุลินทรีย์ในน้ำทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต ดังนั้นเมื่อในน้ำมีปริมาณออกซิเจนในปริมาณมากขึ้น กระบวนการย่อยสลายของเสียภายในบ่อก็มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งเทคโนโลยีของไม่โครบับเบิลยังจัดเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด ปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และมีศักยภาพในการ

ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย (รุ่งระวี, 2560) โดยทั่วไป กระบวนการเติมอากาศจะเกิดขึ้นจากการแพร่กระจายหรือการใช้อุปกรณ์หรือใช้เครื่องเติมอากาศ การสัมผัสกันระหว่างน้ำและอากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการถ่ายเทออกซิเจนเพราะก๊าซจะสามารถถ่ายเทไปสู่ของเหลวได้ ดังนั้นขนาดของฟองอากาศที่เติมเข้าสู่บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีส่วนเสริมสร้างประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน โดยที่ฟองอากาศขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสน้ำสูงมากกว่าฟองอากาศขนาดใหญ่ (มะลิวัลย์, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ เนื่องจากการอนุบาลโดยมีการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลส่งผลให้มีการเติบโตและอัตราการรอดดีกว่าชุดการทดลองที่มีการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม และไม่มีเครื่องเพิ่มอากาศ

ด้วยเหตุที่กล่าวมาดังกล่าวข้างต้น ระบบเทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเติมอากาศที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากในระดับไมโครเมตรหรือนาโนเมตรในน้ำ และเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำให้เพิ่มขึ้น ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการรอดและการเติบโตของปลา (Jia et al., 2021; Ren et al., 2020) ระดับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่สูงขึ้นยังช่วยรักษาเสถียรภาพของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้าระบบการอนุบาลและการเลี้ยงปลา มีค่าปริมาณออกซิเจนละลายต่ำจะส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของกระบวนการเผาผลาญ และยับยั้งการเติบโต (Li et al., 2012) เพิ่มฮอร์โมนความเครียด และเปลี่ยนแปลงการทำงานของภูมิคุ้มกัน (Y Jia et al., 2021) และพลาสมาโปรตีนทั้งหมด (Tan et al., 2018) รวมทั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยา (Fazio et al., 2017; Yarahmadi et al., 2015) สภาวะการควบคุมคุณภาพน้ำที่ไม่ดี การเปลี่ยนแปลงน้ำที่มีจำกัด และการไม่สามารถเติมอากาศได้ จะกระตุ้นสภาวะความเครียด ทำให้ลดการเติบโตและผลผลิต (Abdel-Latif et al., 2020) การเพิ่มขึ้นของปริมาณกลูโคสในเลือดปลาเป็นตัวบ่งชี้ความเครียดอย่างหนึ่งในปลา เนื่องจากเป็นกลไกในการเอาชนะสภาวะสมดุลจากความเครียดต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา (Bao et al., 2018) ดังนั้นระบบการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลจึงสามารถช่วยแก้ไขปัญหการอนุบาลและเลี้ยงสัตว์น้ำได้

เมื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทั้ง 3 พารามิเตอร์ โดยมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำเป็นตัวแปรสำคัญในขบวนการไนไตรติฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้กลายเป็นไนไตรท์ โดยแบคทีเรียที่มีบทบาทคือไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) ในสภาวะที่มีออกซิเจน ปฏิกริยาของไนตริฟิเคชันสามารถเกิดได้ควรต้องมีระดับของออกซิเจนละลายที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป และถ้าในแหล่งน้ำมีค่าออกซิเจนอยู่ในช่วง 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันพร้อมกัน เรียกว่า SND (Simultaneous Nitrification-Denitrification) ในการเปลี่ยนไนไตรท์และไนเตรทให้เป็นแก๊สไนโตรเจน (สุนิภา, 2560) ซึ่งสอดคล้องกับการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในระบบการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่มีความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบมีค่าออกซิเจนละลายสูงกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าแอมโมเนียรวมต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ซึ่งแสดงถึงการเกิดขบวนการแบบไนตริติฟิเคชัน (Nitrification) ที่ทำให้ค่าไนไตรท์สูงขึ้น ส่วนชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มอากาศทั้ง 2 ความหนาแน่น พบมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายต่ำมาก และมีค่าแอมโมเนียรวมสูง มีผลทำให้ไม่เกิดขบวนการไนตริติฟิเคชัน (Nitrification) จึงพบค่าไนไตรท์ที่ต่ำมาก

ในภาพรวมของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศเชิงพาณิชย์โดยการใช้การเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลมีประโยชน์หลายประการ ได้แก่ 1) สามารถสนับสนุนให้มีการเพิ่มของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยมีอนุภาคของฟองอากาศมีขนาดเล็กมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำสูงและละลายออกซิเจนได้ดีกว่าการให้อากาศทั่วไป 2) ช่วยลดการเกิดของเสียและการสะสมของแอมโมเนียรวม โดยระดับออกซิเจนละลายที่มีค่าสูงในบ่อช่วยให้ระบบการย่อยสลายของเสียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสะสมแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อปลา ช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพปลา 3) ช่วยลดการใช้น้ำและพลังงาน การเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลช่วยลดความจำเป็นในการเปลี่ยนน้ำให้น้อยลง เพราะคุณภาพน้ำดีขึ้น รวมถึงลดการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำและให้อากาศ 4) ส่งผลให้การเติบโตและอัตราการรอดสูงขึ้น โดยสภาวะแวดล้อมที่ดีขึ้นจากการใช้เครื่องเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลจะช่วยให้ลูกปลาดุกอุยเทศเติบโตได้ดีขึ้นและมีอัตราการรอดสูงขึ้น ทำให้ระบบการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น และ 5) ช่วยลด

ความเครียดของปลา โดยที่การมีระดับออกซิเจนละลายที่เพียงพอทำให้ปลาดุกอุยเทศไม่เครียดและมีสภาวะการเติบโตที่ดี ลดการเกิดโรคที่เกิดจากความเครียดดังกล่าว

4. ชีตความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพการผลิต

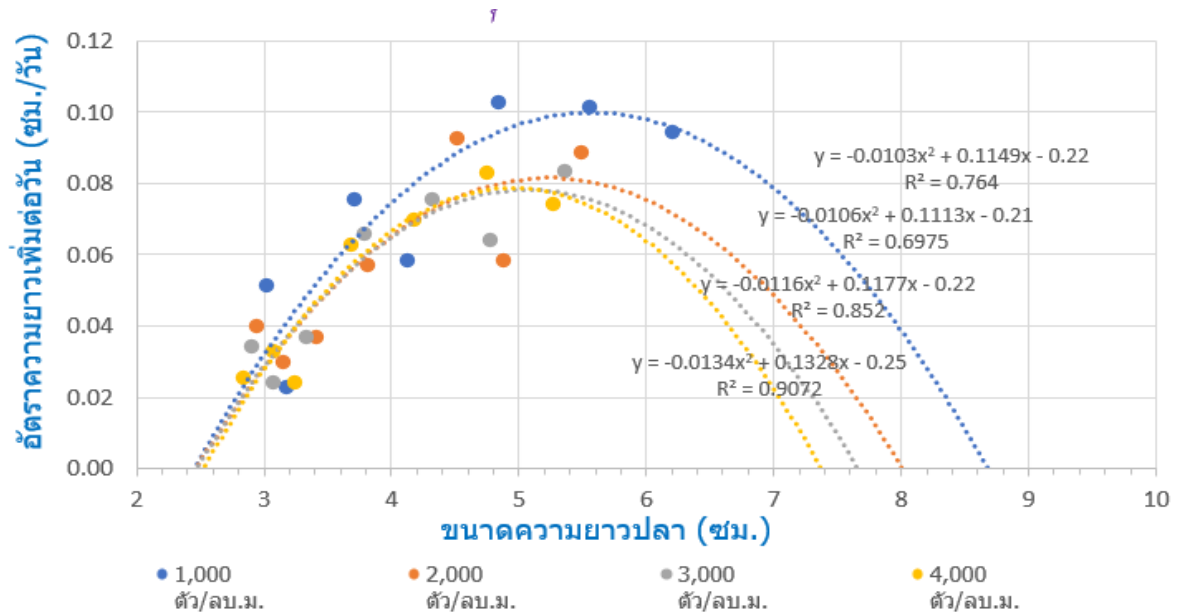
การศึกษาชีตความสามารถในการผลิตของระบบอนุบาลในครั้งนี้ทำให้มีความเข้าใจถึงศักยภาพในการผลิตโดยรวมของการอนุบาลหรือเลี้ยงปลามากขึ้น ทั้งนี้ถ้าหากระบบการเลี้ยงหรือการอนุบาลใดใดมีความแตกต่างกันในปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งก็จะส่งผลให้มีความสามารถในการผลิตที่แตกต่างกันไป ซึ่งรวมถึงปัจจัยด้านชนิดพันธุ์สัตว์น้ำที่ดำเนินการเลี้ยงด้วย ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมของระบบการเลี้ยงโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านคุณภาพน้ำนั้นมีความแตกต่างกันมากจึงส่งผลให้มีศักยภาพและประสิทธิภาพในการผลิตสัตว์น้ำที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าในการดำเนินงานด้านการเลี้ยงหรือการอนุบาลจะมีการสนับสนุนปัจจัยในด้านต่าง ๆ ที่เหมือนกัน เช่น ปริมาณการให้อาหาร สภาพบ่อ และการจัดการเลี้ยง

จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นว่าปัจจัยคุณภาพน้ำของปริมาณออกซิเจนละลายเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีความแตกต่างกันไป ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายดังกล่าวได้รับจากรูปแบบการเพิ่มอากาศที่ต่างกัน แล้วส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำอื่นๆ เช่น ปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ จากนั้นจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของด้านชีวภาพของปลาที่อนุบาล ได้แก่ การเติบโต อัตราการเติบโต อัตรารอดตาย อัตราแลกเนื้อ และสุดท้ายส่งผลกระทบต่อต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาชีตความสามารถในการผลิตของการอนุบาลลูกปลา โดยการประมาณค่าความยาวลูกปลาที่สามารถไปถึงได้จากระบบที่ไม่มีการเพิ่มอากาศไปสู่ระบบการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิลในครั้งนี้พบว่า ที่ระดับความหนาแน่น 1,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ลูกปลาดุกอุยเทศสามารถมีศักยภาพในการเติบโตโดยความยาวได้ถึง 10.7, 13.5 และ 15.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ลูกปลาดุกอุยเทศมีศักยภาพในการเติบโตโดยความยาวลดลงที่ 10.2, 12.4 และ 14.6 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าศักยภาพในการเติบโต โดยความยาวของลูกปลาดุกอุยเทศมีศักยภาพสูงมากกว่าศักยภาพการอนุบาลของลูกปลาชนิดอื่นในกระชังของ **อัญชลี และคณะ (2562)** ที่ทดลองอนุบาลลูกปลาชนิดอื่นในกระชังด้วยความหนาแน่นสูง ซึ่งมีขนาดความยาวปลาเริ่มต้น 2.66 เซนติเมตร ในระยะเวลาอนุบาล 49 วัน ที่อัตราความหนาแน่นของการปล่อย 4 ระดับ คือ 1,000, 2,000, 3,000 และ 4,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ในกระชัง 1 ตารางเมตร ที่ลอยในบ่อดินขนาด 4 ไร่ และเติมอากาศโดยปั๊ม rotary blower ขนาด 1 นิ้ว โดยจากระบบการอนุบาลของ **อัญชลี และคณะ (2562)** พบว่าลูกปลาชนิดอื่นมีศักยภาพในการเติบโตโดยความยาวได้ถึงขนาด 8.83, 8.01, 7.64 และ 7.37 เซนติเมตร ที่ความหนาแน่น 1,000 ถึง 4,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (**ภาพที่ 22**) ในขณะที่การศึกษานี้ที่มีระดับความหนาแน่นเดียวกันในระบบการอนุบาลแบบไม่มีการเพิ่มอากาศพบว่า ศักยภาพโดยความยาวของลูกปลาดุกอุยเทศที่สามารถไปถึงได้ (10.7 และ 10.2 เซนติเมตร) มีขนาดความยาวมากกว่าความยาวของลูกปลาชนิดอื่นที่มีศักยภาพในการเติบโตที่ 8.83 และ 8.01 เซนติเมตร ถึงแม้ว่าลูกปลาดุกอุยเทศและลูกปลาชนิดอื่นจะมีวัยช่วยในการหายใจเหมือนกัน แต่ที่มีผลการศึกษาเป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าที่ขนาดความยาวลูกปลาที่เท่ากัน รูปทรงของปลาชนิดอื่นจะมีพื้นที่ผิวภายนอกและมีขนาดชีวมวลปลาที่มากกว่าลูกปลาดุกอุยเทศ จึงส่งผลให้มีความต้องการใช้ปริมาณออกซิเจนที่มากกว่า ทำให้ระบบการอนุบาลมีข้อจำกัดและมีศักยภาพในการผลิตที่ต่างกัน

ในการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าชีตความสามารถในการผลิตของระบบอนุบาลที่มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ จำนวนและชีวมวลปลา ซึ่งทั้งสองพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในเชิงความผันแปร โดยจำนวนปลาที่มีผลต่อปริมาณความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามขนาดและพฤติกรรมของปลาชนิดนั้นๆ ในภาพรวมจากการศึกษาจะเห็นว่าการเพิ่มศักยภาพในการผลิตของระบบโดยจำนวนและชีวมวลของปลาดุกอุยเทศนั้น พบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากการอนุบาลที่ไม่มีการเพิ่มอากาศไปสู่

การเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลที่มีประสิทธิภาพโดยชีวมวลปลาเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 30.9 และ 60.7 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพโดยจำนวนเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.1 และ 27.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 22 การประมาณค่าความยาวลูกปลาสดที่สามารถอนุบาลได้ที่ระดับค่าขีดความสามารถในการผลิตของการอนุบาลในกระชังที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน 4 ระดับ

5. ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศครั้งนี้ เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตทั้งหมดพบว่าต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่เป็นต้นทุนผันแปร โดยการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมจะส่งผลให้มีต้นทุนคงที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งมีจำนวน 242 บาท และ 601 บาท ในการใช้อุปกรณ์การเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและด้วยเครื่องผลิตไมโครบับเบิลในช่วงระยะเวลา 49 วัน ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สามารถถูกชดเชยหรือทดแทนได้จากความสามารถในการลดต้นทุนการผลิตของระบบการอนุบาลจากการใช้ปริมาณอาหารที่ลดลง เนื่องจากระบบการอนุบาลมีอัตราแลกเนื้อที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณค่าใช้จ่ายด้านค่าอาหารปลาที่ใช้ในการอนุบาล ทั้งที่ชุดการทดลองมีจำนวนลูกปลาเหลือรอดมากกว่าและมีการเติบโตที่ดีกว่า แต่ยังใช้จ่ายด้านค่าอาหารปลาเท่ากันหรือใกล้เคียงกันกับชุดการทดลองที่มีจำนวนลูกปลาเหลือรอดน้อยและโตช้ากว่าในชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มอากาศในการอนุบาล

ในส่วนของการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของผลการศึกษาพบว่าต้นทุนการผลิตโดยรวมของการอนุบาลลูกปลาในครั้งนี้มีระดับค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.17-1.38 บาทต่อตัว โดยต้นทุนการผลิตของการอนุบาลลูกปลาที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรของการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเครื่องไมโครบับเบิลมีค่าต่ำสุดและรองลงมาเท่ากับ 1.14 และ 1.17 บาทต่อตัว ตามลำดับ แต่ในทางกลับกัน เมื่อพิจารณาถึงรายได้สุทธิและกำไรสุทธิกลับพบว่าการอนุบาลลูกปลาที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ของการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเครื่องไมโครบับเบิลมีปริมาณรายได้สุทธิและกำไรสุทธิแตกต่างกันอย่างมาก โดยการอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไมโครบับเบิลมีรายได้สุทธิและกำไรสุทธิเท่ากับ 11,103 และ 10,498 บาท ในขณะที่การอนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมมีรายได้สุทธิและกำไรสุทธิน้อยกว่ามาก 8,629 และ 8,387 บาท เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการเติบโตที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีขนาดลูกปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองต่างกัน ทำให้จำหน่ายลูกปลาในราคาไม่เท่ากัน ส่งผล

ทำให้มีรายได้สุทธิและกำไรสุทธิแตกต่างกันมาก ทั้งๆ ที่มีต้นทุนการผลิตต่อตัวของลูกปลาดุกอุยเทศที่เกือบจะเท่ากัน

สรุปผลการศึกษา

1. การอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในบ่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร โดยปัจจัยการเพิ่มอากาศและปัจจัยความหนาแน่นพบว่าข้อมูลการเติบโต อัตราการเติบโต และคุณภาพน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์ มีอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย ซึ่งแสดงว่าในแต่ละรูปแบบของการเพิ่มอากาศและระดับความหนาแน่นมีปฏิสัมพันธ์กัน หรือประสิทธิภาพของปัจจัยแรกจะขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยที่สอง ในขณะที่ข้อมูลอัตราการตายและอัตราแลกเนื้อไม่มีอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยดังกล่าว

2. การเปลี่ยนแปลงการเติบโตและอัตราการเติบโตของลูกปลาดุกอุยเทศที่อนุบาลในระดับความหนาแน่นที่ต่างกันพบผลการตอบสนองของข้อมูลความยาวปลามีความชัดเจนและแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปตามหลักวิชาการมากกว่าข้อมูลน้ำหนัก ในขณะที่การตอบสนองต่อการเพิ่มอากาศที่ต่างกันก็พบแนวโน้มของข้อมูลความยาวตอบสนองชัดเจนมากกว่าข้อมูลน้ำหนักเช่นกัน ส่วนการกระจายของขนาดลูกปลาที่อนุบาลโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิ้ลพบมีสัดส่วนร้อยละของลูกปลาขนาดใหญ่มาทั้ง 2 ระดับความหนาแน่น

3. การอนุบาลลูกปลาโดยปัจจัยการเพิ่มอากาศที่ต่างกัน จากระบบที่ไม่มีการเพิ่มอากาศไปสู่ระบบที่เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิ้ล ส่งผลให้การอนุบาลมีอัตราการรอดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 56.04 เป็นร้อยละ 66.75 และร้อยละ 75.79 ตามลำดับ และทำให้อัตราแลกเนื้อมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ย 1.27 เป็น 0.96 และ 0.78 ตามลำดับ เนื่องจากช่วยลดของเสียและความเครียดของปลาจากการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายให้มากขึ้น

4. การอนุบาลลูกปลาโดยปัจจัยการเพิ่มอากาศที่ต่างกัน จากระบบที่ไม่มีการเพิ่มอากาศไปสู่ระบบที่เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิ้ล ส่งผลทำให้คุณภาพน้ำในระบบการอนุบาลดีขึ้น ทั้งพารามิเตอร์คุณภาพน้ำด้านปริมาณออกซิเจนละลาย แอมโมเนียรวม และไนไตรท์ ซึ่งคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นช่วยให้การเติบโต อัตราการตาย และอัตราแลกเนื้อที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำโดยปริมาณออกซิเจนละลายในช่วงระยะเวลาอนุบาล 49 วัน จากระบบอนุบาลที่ไม่มีการเพิ่มอากาศไปสู่ระบบที่เพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมและเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิ้ลส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายจากที่มีเหลือเพียง 0.10-0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 1.55-2.24 และ 2.28-2.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความหนาแน่น 1,000 และ 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

6. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำโดยปริมาณออกซิเจนละลายที่เพิ่มขึ้นช่วยสนับสนุนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียรวมที่ลดลงและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์ในระบบอนุบาล โดยเป็นการสนับสนุนให้การทำงานของขบวนการไนไตรติฟิเคชัน (Nitrification) ของกลุ่ม Nitrifying bacteria ที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น ทำให้ลดการเกิดของเสียและลดการสะสมของแอมโมเนียรวมที่เป็นพิษต่อปลา

7. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศแสดงให้เห็นว่าการอนุบาลลูกปลาโดยการเพิ่มอากาศด้วยเครื่องไม่โครบับเบิ้ลที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้ผลตอบแทนต่อการนำไปปฏิบัติที่ดีที่สุด โดยมีกำไรสุทธิ 10,498 บาท และมีผลตอบแทนต่อการลงทุนร้อยละ 306 ในขณะที่ผลตอบแทนที่รองลงมาคือการอนุบาลลูกปลาโดยการเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลมที่ความหนาแน่น 2,000 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีกำไรสุทธิ 8,387 บาท และมีผลตอบแทนต่อการลงทุนร้อยละ 272

8. สรุปผลการศึกษาโดยรวมในการนำเทคโนโลยีการเพิ่มอากาศแบบไม่โครบับเบิ้ลมาใช้ในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศเชิงพาณิชย์อย่างมาก ทั้งด้านการเติบโต อัตราการเติบโต อัตราการตาย อัตราแลกเนื้อ คุณภาพน้ำ การลดต้นทุนการผลิต และการเพิ่มคุณภาพของลูกปลา อีกทั้งการเพิ่มอากาศแบบไม่โครบับเบิ้ลยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถของระบบอนุบาลโดย

สนับสนุนให้ระบบมีขีดความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.7 และ 10.9 โดยจำนวนปลา และร้อยละ 60.7 และ 22.8 โดยชีวมวลปลา จากการอนุบาลโดยไม่มีการเพิ่มอากาศและเพิ่มอากาศด้วยปั๊มลม ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยนำร่องในการนำอุปกรณ์การเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลที่มีขนาดแรงดัน 0.45 แรงม้า ให้การเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายได้ 4.5-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มาใช้สนับสนุนการอนุบาลลูกพันธุ์สัตว์น้ำ ผลการศึกษาโดยรวมแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอนุบาลลูกปลาได้มาก โดยเฉพาะการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายและควบคุมคุณภาพน้ำอื่นๆ ดังนั้นเพื่อให้การนำระบบนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ครอบคลุมทุกมิติจึงมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัยดังนี้

1. ข้อเสนอแนะสำหรับกรมประมงในการกำกับเชิงนโยบาย

1) ควรนำผลงานวิจัยไปใช้ในการพิจารณาดำเนินการปรับปรุงหลักเกณฑ์และระเบียบในการกำกับควบคุมการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี โดยอ้างอิงข้อมูลวิชาการเพื่อช่วยสนับสนุนในการปรับปรุงหลักเกณฑ์

2) ควรให้มีการอบรมและเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจในแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้องเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้อุปกรณ์การเพิ่มอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้กับเจ้าหน้าที่ส่วนกลางและส่วนภูมิภาค รวมทั้งพัฒนาคู่มือที่ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติงานในการเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2. ข้อเสนอแนะสำหรับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการนำไปปฏิบัติ

1) ควรพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีการเพิ่มอากาศที่เหมาะสม ถึงแม้ผลการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลมีประสิทธิภาพสูงต่อการเติบโตและอัตราการตาย แต่ก็ควรพิจารณาถึงการนำไปใช้ในระบบการเลี้ยงจริง ซึ่งต้องมีการพัฒนาแนวทางติดตั้งและการจัดวางระบบให้เหมาะสมกับขนาดของบ่อเลี้ยงและชนิดพันธุ์สัตว์น้ำ เพื่อให้ฟองอากาศสามารถกระจายได้ทั่วถึงและมีประสิทธิภาพในการเพิ่มอากาศได้จริง

2) ควรมีการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนหรือความคุ้มค่าของการนำระบบไมโครบับเบิลไปใช้ในการอนุบาลหรือเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิดก่อน เนื่องจากมีต้นทุนในการติดตั้งและการดำเนินงานที่สูงขึ้นกว่าระบบการเพิ่มอากาศทั่วไป ดังนั้นจึงต้องพิจารณาให้แน่ใจว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน

3) ควรมีการพัฒนาวิธีการเลี้ยงและทดสอบความหนาแน่นที่เหมาะสมของสัตว์น้ำแต่ละชนิดในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการจัดการคุณภาพน้ำและของเสียในระบบการเลี้ยงและการอนุบาล

3) ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อยอด

1) ควรมีการศึกษาการใช้ระบบการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลที่เหมาะสมในการเพิ่มศักยภาพการเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจในเชิงพาณิชย์

2) เนื่องจากผลการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาทดลองกับปลาดุกซึ่งมีอวัยวะช่วยหายใจ ดังนั้นควรมีการศึกษาเกี่ยวกับปลาชนิดอื่น โดยเฉพาะปลาที่มีความต้องการออกซิเจนสูง

3) ควรมีการศึกษาการใช้ระบบการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลร่วมกับระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating Aquaculture System) เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มศักยภาพการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดเชิงพาณิชย์

4) ควรมีการศึกษาขนาดและความละเอียดของฟองอากาศที่มีขนาดเล็กจากเครื่องเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลและนาโนบับเบิลที่เหมาะสมในการอนุบาลหรือการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิด

5) ควรมีการศึกษารูปแบบการใช้ระบบการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลที่เหมาะสมร่วมกับเทคนิคอื่น เช่น การดูดไขมันหรือการกำจัดของเสีย เนื่องจากระบบการเพิ่มอากาศแบบไมโครบับเบิลจะช่วยเพิ่ม

ระดับออกซิเจนในน้ำได้ดี แต่อาจเกิดการสะสมของมลพิษในน้ำได้หากใช้งานเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงการบำบัดน้ำและควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมไปพร้อมกัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. 2566. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2565. เอกสารฉบับที่ 9/2566. กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 209 หน้า.
- กรมประมง. 2567. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประจำปี 2566. เอกสารฉบับที่ 4/2567. กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 209 หน้า.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2543. การวิเคราะห์สถิติเพื่อการตัดสินใจ. กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 550 หน้า
- นฤมล แสงประดับ. 2544. การจำแนกคุณภาพน้ำทางชีวภาพด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 3 (1): 6 – 8.
- นวพร ดุลยสิริวิทย์ และ กรณ์ย์ วณิชชีวะ. 2562. การเลี้ยงปลาชะโอนที่ความหนาแน่นแตกต่างกันในบ่อพลาสติกระบบน้ำหมุนเวียน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2562. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชลบุรี, กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. 46 หน้า.
- พุทธ ส่องแสงจินดา. 2558. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่อการกินอาหารผลผลิตและแตราแลกเนื้อของกุ้งขาว. วารสารการประมง ปีที่ 68 ฉบับที่ 5 เดือนกันยายน-ตุลาคม 2558. กองผู้เชี่ยวชาญ กรมประมง. 12 หน้า.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. (2528). คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยทางการประมง. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ. กรมประมง. 125 หน้า.
- วีระศักดิ์ ปัญญาพรวิทยา. 2563. การคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G*power สำหรับงานวิจัยที่มีการใช้สัตว์. คณะสัตวแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 56 หน้า. <https://rid.psu.ac.th/animal/th/assets/document/GPower5-7.pdf>
- สมศักดิ์ เปรียบพร้อม. 2530. หลักและวิธีการจัดการธุรกิจฟาร์ม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 240 หน้า.
- สุนิภา จันทรแก้ว. 2560. ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียโดยเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรียที่คัดแยกจากฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*). วิทยานิพนธ์ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวาริชศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 98 หน้า
- อัญชลี นงค์นวล อาคม เล็กน้อย และนิติกร ผิวพ่อง. 2562. การอนุบาลปลาสลิดในกระชังด้วยอัตราความหนาแน่นสูง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2562 กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, กรมประมง.
- Agarwal, A., Ng, W.J. and Liu, Y. 2011. Principle and Applications of Microbubble and Nanobubble Technology for Water Treatment. Chemosphere, 84, 1175-1180.
- Alheshibri et al. 2016. A History of Nanobubbles. Langmuir 2016, 32, 43, 11086–11100.
- Bagus Dwi Hari Setyono, Lalu Wirahadi Al Baihaqi, Muhammad Marzuki, Lalu Mukhtar Atmawinata, Syawalina Fitria, and Rangga Idris Affandi. 2023. Microbubble Technology to Improve Growth of Catfish (*Clarias* sp.) Jurnal Penelitian Pendidikan IPA Journal of Research in Science Education <http://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa/index> DOI: 10.29303/jppipa.v9i9 .3433

- Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquaculture. Agricultural Experiment Station, Alabama. <http://hdl.handle.net/11200/49690>
- Eny Heriyati¹, Rustadi Rustadi, Alim Isnansetyo, Bambang Triyatmo, Indah Istiqomah, Deendarlianto Deendarlianto and Wiratni Budhijanto. 2022. Microbubble Aeration in A Recirculating Aquaculture System (RAS) Increased Dissolved Oxygen, Fish Culture Performance, and Stress Resistance of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) TRENDS IN SCIENCES 2022; 19(20): 6251 <https://doi.org/10.48048/tis.2022.6251>
- Grasshoff, K. 1976. Methods of Sea Water Analysis. Verlag Chemie, Weinheim and New York. 317 p
- Hepher, B. 1978. Ecology aspects of warm-water fish pond management. In S.D. Gerking (ed.). Ecology of Freshwater Fish Production. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London. pp 447-468.
- Heriyati, E. ., Rustadi, R. ., Isnansetyo, A. ., Triyatmo, B. ., Istiqomah, I. ., Deendarlianto, D. ., & Budhijanto, W. . (2022). Microbubble Aeration in A Recirculating Aquaculture System (RAS) Increased Dissolved Oxygen, Fish Culture Performance, and Stress Resistance of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.). Trends in Sciences, 19 (20), 6251. <https://doi.org/10.48048/tis.2022.6251>
- Kay, R. D. 1986. Farm Managemengt: Planning, Control and Implementation. McGraw Hill Book Co., Singapore. 401 pp.
- Kelana, P. P., Subhan, U., Suryadi, I. B. B., and Haris, R. B. K. 2021. Studi kesesuaian kualitas air untuk budidaya ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) di Kampung Lauk Kabupaten Bandung. Aurelia Journal, 2 (2), 159-164. <http://dx.doi.org/10.15578/aj.v2i2.9887>
- Mahmoud Sami and Deyaaedin A. Mohammad. 2023. Effect of water acidification on growth performance of striped catfish, (*Pangasianodon hypophthalmus*). Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries Zoology Department, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo, Egypt. ISSN 1110–6131 Vol. 27(5): 605– 613 www.ejabf.Journals.ekb.eg
- Saravanan, S., Geurden, I., Figueiredo-Silva, A. C., Nusantara, S., Kaushik, S., Verreth, J., & Schrama, J. W. 2013. Oxygen Consumption Constrains Food Intake in Fish Fed Diets Varying in Essential Amino Acid Composition. PLoS ONE, 8 (8), e72757 <http://doi.org/10.1371/journal.pone.00722757>
- Saputra, H. K., Nirmala, K., Supriyono, E., & Rochman, N. T. 2018. Micro/Nano Bubble Technology :Characteristics and Implications Biology Performance of Koi Cyprinus carpio in Recirculation Aquaculture System (RAS). OmniAkuatika, 14 (2), 244–248.
- Yamasaki, K., Uda, K., Chuhjoh, K. 2009. Wastewater Treatment Equipment and Method of Wastewater Treatment. US Patent 7578942 B2.
- Yamasaki, K., Sakata, K., Chuhjoh, K. 2010. Water Treatment Method and Water Treatment System. US Patent 7662288