



รายงานผลงานวิจัย

เรื่อง แนวทางการผลิตปลาน้ำจืดขนาด 300-600 กรัม เชิงพาณิชย์ในระบบหมุนเวียน
เพื่อเป็นอาหารปลอดภัยในการส่งออก

Commercial production of Sand Goby (*Oxyeleotris marmoratus* Bleeker)

Culture In Recirculated System for Exports Food Safety

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การวิจัยและพัฒนาระบบการผลิตทรัพยากร
ประมงเพื่อเป็นอาหารปลอดภัยและสร้างมูลค่าเพิ่มวัตถุดิบท้องถิ่น

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2552-2553

จำนวน 493,593 บาท

หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุญ

กิตติกรรมประกาศ

ด้วยโครงการวิจัย เรื่องแนวทางการผลิตปลาน้ำจืดขนาด 300-600 กรัม เชิงพาณิชย์ในระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อเป็นอาหารปลอดภัยในการส่งออก (Commercial production of Sand Goby (*Oxyeleotris marmoratus* Bleeker) Culture In Recirculated System for Exports Food Safety โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการวิจัยและพัฒนาระบบการผลิตทรัพยากร ประมงเพื่อเป็นอาหารปลอดภัยและสร้างมูลค่าเพิ่มวัตถุดิบท้องถิ่น ได้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2552 – 2553 ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยและ เจ้าหน้าที่ประมงอำเภอสารภีที่อนุเคราะห์ข้อมูลและแหล่งพันธุ์ปลาน้ำจืดในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ประจวบ ฉายบุญ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๙
บทคัดย่อ	1
Abstract	3
คำนำ	4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
ตรวจเอกสาร	6
วิธีการวิจัย	26
ผลและวิจารณ์ผล	34
สรุปผลการวิจัย	86
เอกสารอ้างอิง	87

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมี	27
2	การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	29
3	การทดลองศึกษาการเจริญเติบโตของปลาบู่ทรายที่เลี้ยงด้วยวัสดุกรองที่แตกต่างกันที่ระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน	30
4	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอด หลังสิ้นสุดการทดลอง ของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรอง แสตน และกรองใยแก้ว	36
5	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแสตน และกรองใยแก้ว	37
6	ความเป็นกรด-ด่างของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแสตน และกรองใยแก้ว	37
7	ปริมาณอุณหภูมิน้ำของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแสตน และกรองใยแก้ว	38
8	ปริมาณไนไตรท์ของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแสตน และกรองใยแก้ว	39
9	ปริมาณไนเตรทของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแสตน และกรองใยแก้ว	39
10	ปริมาณฟอสฟอรัสของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแสตน และกรองใยแก้ว	40
11	ปริมาณแอมโมเนียของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแสตน และกรองใยแก้ว	41
12	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอด หลังสิ้นสุดการทดลอง ของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 10 และ 15 ตัว	42
13	อัตราการเจริญเติบโต (ADG) และน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของการเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	46
14	คุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลาที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุตัวกลางระยะเวลา 75 วัน	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
15	ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	53
16	ระดับความเข้มข้นของไนไตรท์ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	55
17	ระดับความเข้มข้นของไนเตรทในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	58
18	ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	60
19	ระดับความเข้มข้นของ DO ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	62
20	ระดับ pH ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	64
21	ระดับอุณหภูมิในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	66
22	ระดับ alkalinity ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	68
23	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	70
24	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	72
25	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้ออวน	74

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	15
2	ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ	16
3	การเพิ่มความหนาของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ที่เกาะบนตัวกรองชีวภาพที่ระยะเวลาต่างๆ	19
4	กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ	22
5	(A) เซลล์ของจุลินทรีย์ (B) ลักษณะการยึดเกาะของจุลินทรีย์	22
6	เปรียบเทียบการเกาะยึดของจุลินทรีย์บนวัสดุที่มีลักษณะพื้นผิวแตกต่างกัน	23
7	บ่อทดลองเลี้ยงปลา	31
8	ระบบกรองน้ำ	31
9	ปลาที่เลี้ยงใช้ในการทดลอง	31
10	การเก็บข้อมูลน้ำหนัก	32
11	ปลาที่เลี้ยงใช้ในการทดลองที่ฝึกให้กินอาหารสำเร็จรูปแล้ว	32
12	การทำอาหารที่ให้ปลาที่เลี้ยง	32
13	วัสดุกรองที่ใช้ในการทดลอง ก. วัสดุกรองไบโอบอล ข. วัสดุกรองดาข่ายพรางแสง ค. วัสดุกรองเนื้ออวน	33
14	อัตราการเจริญเติบโตของปลาที่ระดับความหนาแน่น 6 10 และ 14 ตัว/ตารางเมตร	47
15	อัตราการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่าย พรางแสงและเนื้ออวน	47
16	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ระดับความหนาแน่น 6 10 และ 14 ตัว/ตารางเมตร	48
17	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่าย พรางแสงและเนื้ออวน	48
18	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุ ตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	49
19	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุ ตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	49
20	ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลาที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	54
21	ระดับความเข้มข้นของไนไตรท์ในถังเลี้ยงปลาที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับ การใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
22	ระดับความเข้มข้นของไนเตรทในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	57
23	ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	61
24	ระดับความเข้มข้นของ DO ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	63
25	ระดับ pH ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	65
26	ระดับอุณหภูมิในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	67
27	ระดับ alkalinity ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	69
28	ปริมาณของแข็งทั้งหมดในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	71
29	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	73
30	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน	75
31	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของวัสดุตัวกรองไบโอบอล, ดาข่ายกรองแสงและ เนื้ออวน	76
32	ประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์ของวัสดุตัวกรองไบโอบอล, ดาข่ายกรองแสงและ เนื้ออวน	77
33	ประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรทของไบโอบอล, ดาข่ายกรองแสงและ เนื้ออวน	77
34	ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยของไบโอบอล, ดาข่ายกรองแสง และเนื้ออวน	78
35	การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิวไบโอบอลที่ระยะเวลา 35 วันของการเลี้ยงปลาตู้ทรายระบบปิด	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

36	การขีดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงที่ระยะเวลา 35 วัน ของการเลี้ยงปลาบู่ทรายระบบปิด	81
37	การขีดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางเนื้อวนที่ระยะเวลา 35 วันของการเลี้ยงปลาบู่ทรายระบบปิด	82
38	การขีดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางไบโอบอลที่ระยะเวลา 70 วันของการเลี้ยงปลาบู่ทรายระบบปิด	83
39	การขีดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงที่ระยะเวลา 70 วันของการเลี้ยงปลาบู่ทรายระบบปิด	84
40	การขีดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางเนื้อวนที่ระยะเวลา 70 วันของการเลี้ยงปลาบู่ทรายระบบปิด	85

แนวทางการผลิตปลาน้ำจืดขนาด 300-600 กรัม เจริญเติบโตในระบบน้ำหมุนเวียน

เพื่อเป็นอาหารปลอดภัยในการส่งออก

COMMERCIAL PRODUCTION OF SAND GOBY

(*OXYELEOTORIS MARMORATUS* BLEEKER) CULTURE

IN RECIRCULATED SYSTEM FOR EXPORTS FOOD SAFETY

ประจวบ ฉายบุ

Prachub chaibu

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 20590

บทคัดย่อ

การศึกษาแนวทางการผลิตปลาน้ำจืดที่เลี้ยงในระบบปิดแบบระบบน้ำหมุนเวียนได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน โดยระดับแรกการศึกษาผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโต ระดับที่ 2 ศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาน้ำจืดโดยพิจารณาคุณสมบัติของน้ำ ระดับที่ 3 ศึกษาการเจริญเติบโตของปลาน้ำจืดในระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนโดยใช้วัสดุกรองชีวภาพที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าปลาน้ำจืดที่เลี้ยงความหนาแน่น 5, 10 และ 15 ตัวต่อตารางเมตรมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มขึ้น เท่ากับ 32.14 ± 16.34 , 21.63 ± 7.14 และ 18.6 ± 10.87 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) พบว่าปลาน้ำจืดที่เลี้ยง 5 ตัวต่อตารางเมตรให้แนวโน้มที่ดีกว่า 10 และ 15 ตัวต่อตารางเมตร อัตราการรอดตายของปลาน้ำจืดเฉลี่ยเท่ากับ 73.33%, 76.07% และ 60.00% ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลอัตราการรอดวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยปลาน้ำจืดที่เลี้ยง 10 ตัวต่อตารางเมตร มีแนวโน้มอัตราการรอดตายดีที่สุด การทดลองส่วนที่ 2 แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองชีว ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรอง แสตน และชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 100, 120 และ 80 กรัม ศึกษาปริมาณที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอด จากการศึกษ พบค่าเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 32.14 ± 16.34 , 21.63 ± 7.14 และ 18.6 ± 10.87 กรัม อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 1.40 ± 0.12 , 2.50 ± 0.25 และ 1.94 ± 0.18 อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เท่ากับ 1.07 ± 0.20 , 0.72 ± 0.09 และ 0.62 ± 0.08 กรัมและอัตราการรอด มีค่า 73.33, 76.67 และ 60.00 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพน้ำทำการศึกษา ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง

อุณหภูมิ ในไตรท์ ไนเตรท ฟอสฟอรัส และแอมโมเนีย พบว่าคุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ การทดลองส่วนที่ 3 ศึกษาการเลี้ยงปลาบู่ทรายระบบปิดที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัว/ตารางเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่นทั้ง 3 ระดับ พบว่าคุณภาพน้ำของถังเลี้ยงปลาทั้ง 3 ระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด พบว่าวัสดุกรองตาข่ายกรองแสงมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย ในไตรท์ ไนเตรทและปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ดีกว่าวัสดุตัวกรองอื่น ในเบื้องต้นสามารถประเมินได้ว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 14 ตัว/ตารางเมตร ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อพิจารณาถึง น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการเจริญเติบโต ในส่วนของวัสดุตัวกลางจะพบว่าวัสดุกรองตาข่ายกรองแสง มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำได้ดีที่สุด ซึ่งจะสามารถพัฒนาสู่การเลี้ยงปลาบู่ในระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน โดยใช้วัสดุกรองชีวภาพเพื่อช่วยบำบัดคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ : ปลาบู่ ปลาบู่ทราย การเลี้ยงปลาแบบปิด

Abstract

The Sand Goby (*Oxyeleotris marmoratus* Bleeker) culture in recirculated system was studied. The study was divided into 3 parts. The 1st part was to determine effect of stocking densities on growth; 2nd experiment was to examine the suitable culture and water qualities in Sand Goby (*Oxyeleotris marmoratus* Bleeker) culture, 3rd experiment was to investigate the growth and different supporting media used in water treatment for Sand Goby culture. The result showed the weight gain of Sand Goby cultured 5, 10 and 15 fishes/m² were 32.14±16.34, 21.63±7.14 and 18.6±10.87 g respectively. There were no significant difference in average daily gain of marble Goby. But 5 fishes/m² stocking trended to gain the highest production. The survival rates of Sand Goby were 73.33% , 76.07% , 60.00 % respectively. There were no significant differences in survival rate. But the treatment of 10 fishes/m² trended to provide the highest survival rate. In the second experiment; the 1st treatment was to determine the water quality in fish cultured at on 5 fishes/m² with brick filter system, 2nd treatment was to determine the water quality 10 fishes/m² with shading net filter system. While the 3rd treatment was to determine the water quality in 15 fishes/m² with fiber glass filter system. The mean weight gain were 32.14±16.34, 21.63±7.14 and 18.6±10.87 g respectively. FCR were 1.40±0.12, 2.50±0.25 and 1.94±0.18 g, ADG were 1.07 ± 0.20, 0.72±0.09 and 0.62±0.08 g/day respectively. Survival rate were 7.33% , 76.17% and 60.00% respectively. It was not significantly different in the water quality in fish rearing ponds (p>0.05). In the third experiment, the closed system culture of Sand Goby with three stocking densities was undected. The treatment of 14 fishes/m² had the highest average gain and average daily gain weight.. It was significantly different in the water quality. Shading net media performed better in water treatment efficiency than bio-ball and net media. In summary 14 fishes/m² Sand goby culture gained the best growth and shading net media performed better water treatment efficiency.

Key words: Sand Goby (*Oxyeleotris marmoratus* Bleeker), Sand Goby cultured

คำนำ

ปลานู๋ทราย *Oxyeleotris marmoratus* (Bleeker, 1852) จัดเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย (ณรงค์, 2542) ความต้องการปลานู๋ทรายมีเพิ่มมากขึ้นทุกปีเป็นผลให้ปลานู๋ทรายมีราคาแพงขึ้น จึงมีเทคนิคต่างๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตปลานู๋ทรายให้เพียงพอับความต้องการของตลาด รูปแบบการเลี้ยงปลานู๋ทรายมีทั้งการเลี้ยงในกระชังและในบ่อดิน สำหรับปัญหาที่พบในการเลี้ยงปลานู๋ทรายมีดังนี้คือ ปัญหาการติดเชื้อซึ่งมีสาเหตุจาก *Aeromonas hydrophila* และ *Lernaea cyprinacea* , การเจริญเติบโตช้า, อัตราการตายสูง, ไม่กินอาหารสำเร็จรูป, ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ (Cheah *et al.*, 1994; Lin and Kaewpaitoon, 2000)

อีกทั้งปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีแนวโน้มเปลี่ยนจากการเลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำซึ่งนิยมทำในระบบเปิดโดยใช้น้ำจากธรรมชาติเข้าสู่การเลี้ยงแบบพัฒนา (ระดับความหนาแน่นสูง) และในระบบปิดซึ่งมีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำอยู่ภายในระบบ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดมีข้อดีคือสามารถเพิ่มผลผลิต ป้องกันการติดโรค และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง แต่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบนี้มักประสบปัญหาแอมโมเนียสะสมในระดับความเข้มข้นสูง ซึ่งมีสาเหตุจากการให้อาหารในปริมาณมาก การขับถ่ายของสัตว์น้ำ และจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารที่เหลือจากการบริโภคโดยแบคทีเรียภายในบ่อเลี้ยง

การพัฒนาการเลี้ยงเป็นการเลี้ยงระบบปิดซึ่งจะสามารถเพิ่มผลผลิต ป้องกันการติดโรค ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงและควบคุมคุณภาพน้ำได้ (Su Shiung Lam *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามการเลี้ยงปลาในระบบปิดจะมีของเสียเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกวัน ซึ่งของเสียเหล่านี้มาจากสิ่งที่ปลาขับถ่ายออกมา และมาจากเศษอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อเลี้ยงปลา การกำจัดของเสียขั้นต้นสามารถทำได้โดยการกรองทางกายภาพ ส่วนของเสียที่ผ่านการกรองกายภาพจะถูกย่อยสลายผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันด้วยจุลินทรีย์ เกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียและไนไตรท์ ของเสียเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่จนถึงระดับหนึ่งจะเกิดความเป็นพิษต่อปลา แต่การเลี้ยงปลาในรูปแบบนี้มักประสบปัญหาแอมโมเนียสะสมในระดับความเข้มข้นสูง ซึ่งมีสาเหตุจากการให้อาหารในปริมาณมาก การขับถ่ายของปลา และจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารที่เหลือจากการบริโภคโดยแบคทีเรียภายในบ่อเลี้ยง ด้วยเหตุนี้การเลี้ยงปลานู๋ในระบบปิดจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของปลาน้ำจืดจากระบบการเลี้ยงปลาน้ำจืดเชิงพาณิชย์ในระบบน้ำหมุนเวียน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดเชิงพาณิชย์ในระบบน้ำหมุนเวียน
3. เพื่อประเมินหาแนวทางการเพิ่มผลผลิตปลาน้ำจืดเชิงพาณิชย์ในระบบน้ำหมุนเวียน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มองค์ความรู้ใหม่ๆ ที่สามารถนำมาใช้พัฒนาการเรียนการสอนและการทำวิจัยของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและพัฒนาระบบงานวิจัยสำหรับอาจารย์
2. เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัยขั้นสูงต่อไป เช่นการนำระบบบำบัดน้ำในระบบหมุนเวียนที่เหมาะสมไปใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นต่อไป
3. สามารถบริการความรู้แก่ชุมชนในการใช้ระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการเลี้ยงปลาน้ำจืดเพื่อเป็นอาชีพหลักและอาชีพเสริม
4. สามารถนำผลวิจัยที่ได้ให้บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจที่ผลิตระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดที่มีการหมุนเวียนให้กับผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผู้ประกอบการอื่นต่อไป
5. สร้างแนวทางการผลิตเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ในการผลิตปลาน้ำจืดในระบบปิดที่มีน้ำหมุนเวียนที่มีมาตรฐานและมีศักยภาพในการส่งออกได้

ตรวจเอกสาร

ปลาบู่ทราย มีชื่อสามัญว่า Sand Goby, Marbled Sleepy Goby และชื่อวิทยาศาสตร์ *Oxyleotris marmorata* Bleeker ปลาบู่เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งซึ่งผลผลิตส่วนใหญ่ถูกส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศสามารถ ทำรายได้เข้าประเทศแต่ละปีมีมูลค่าหลายสิบล้านบาท ได้แก่ฮ่องกง สิงคโปร์ มาเลเซีย ฯลฯ เนื่องจากความต้องการปลาบู่ทรายจากต่างประเทศมีเพิ่มขึ้นทุกปีเป็นผลให้ปลาบู่ทรายมีราคาแพงขึ้น ในอดีตการเลี้ยงปลาบู่ทรายนิยมเลี้ยงกันมากในกระชังแถบลุ่มน้ำและลำน้ำสาขาบริเวณภาคกลาง ตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ อุทัยธานี เรื่อยมาจนถึงจังหวัดปทุมธานี โดยมีจังหวัดนครสวรรค์ เป็นแหล่งเลี้ยงส่งออกที่ใหญ่ที่สุด สำหรับปัญหาการเลี้ยงปลาบู่ทรายขณะนี้ มี 3 ประการ คือ

1. พันธุ์ปลาที่นับวันจะหายาก ไม่เพียงพอต่อความต้องการ
2. ผู้เลี้ยงยังขาดความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการเพาะเลี้ยง
3. สภาพสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลง ไม่เอื้ออำนวยต่อการเพาะเลี้ยงปลา

ชีววิทยาของปลาบู่ทราย

1. อนุกรมวิธานของปลาบู่ทราย

ปลาบู่ทรายจัดอยู่ใน Order Perciformes Suborder Gobioidae แต่เดิมจัดอยู่ใน Family Eleotridae (Roberts , 1989) ต่อมา Hoese, 1993 ได้รวมเข้ามาอยู่ใน Family Gobiidae แล้วแยกออกเป็น 2 Subfamily คือ Gobiinar กับ Eleotrinae ซึ่งปลาบู่จัดอยู่ใน Subfamily Eleotrinae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oxyleotris marmoratus* Bleeker, 1852 (เจดีย์ และคณะ, 2538)

2. ลักษณะทั่วไปของปลาบู่

ปลาบู่ มีลักษณะลำตัวกลมยาว ความลึกลำตัวประมาณ 1 ใน 3.5 ของความยาวมาตรฐาน ลำตัว ส่วนหัวยาวเป็น 1 ใน 2.8 ของความยาวมาตรฐานของลำตัว หัวค่อนข้างโด และด้านบนของหัวแบนราบ หัวมีจุดสีดำประปราย ปากกว้างใหญ่เปิด ทางด้านบนตอนมุมปากเฉียงลงและยาวถึงระดับกึ่งกลางตา ขากรรไกรล่างยื่นยาวกว่าขากรรไกรบน ทั้งขากรรไกรบนและล่างมีฟันแหลมซี่เล็กๆ ลักษณะฟันเป็นฟันแถวเดียว ถูกตาลักษณะโปนกลมอยู่บนหัวถัดจากกรามฝักปากบนเล็กน้อย รูจมูกคู่หน้าเป็นหลอดยื่นขึ้นมาอยู่ติดกับร่องที่แบ่งจะงอยปากกับริมฝีปากบน ครีบหูและครีบท้องมีลักษณะกลมมนใหญ่ มีลวดลายดำและสลับขาว มีก้านอ่อนอยู่ 15-16 ก้าน ครีบหลัง 2 ครีบ ครีบท้องสั้นเป็นหนาม 6 ก้าน เป็นก้านครีบท้องและเป็นหนาม ครีบท้องหลังเป็นก้านครีบท้อง 11 ก้าน ครีบท้องหรือครีบอกอยู่แนวเดียวกับครีบหูและมีก้านครีบท้อง 5 ก้าน ครีบอกของปลาบู่ใน Subfamily Eleotrinae แยกจากกันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งแตกต่างจากปลาบู่ชนิดอื่นในครอบครัว Gobiidae ซึ่งมีครีบท้องติดกันเป็นรูปงาน ครีบท้องอยู่ในแนวเดียวกับครีบท้องหลังอันที่ 2 มีก้านครีบท้อง 7 ก้าน และมีอยู่ในแนวเดียวกับครีบท้องหลังอันที่ 2 และมีความยาวเท่ากับครีบท้องหลังอันที่ 2 ส่วนของครีบท้องมีลายสีน้ำตาลดำแดงสลับขาวเป็นแถบๆ และมีจุดสีดำกระจายอยู่ทั่วไป ลำตัวมีเกล็ดแบบหนามคล้ายซี่หวี และมีแถบสีดำขวางลำตัว 4 แถบ ด้านท้องมีสีอ่อน สีตัวของปลาบู่ทรายแตกต่างกันไปตามถิ่นที่อยู่อาศัย

ปลาบู่ทรายจัดเป็นปลาน้ำจืดและเป็นปลาชนิดเดียวในครอบครัวนี้ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ปกติมีขนาดประมาณ 30 เซนติเมตร เคยพบยาวถึง 60 เซนติเมตร (เจ็ดฉันทและคณะ, 2538)

3. การแพร่กระจายและแหล่งที่อยู่อาศัย

ปลาบู่ทรายเป็นปลาที่สามารถพบได้ทั่วไปในน้ำจืดและน้ำกร่อยเล็กน้อย ในหลายประเทศ โดยเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และหมู่เกาะมาลาเชีย ได้แก่ บอร์เนียว เกาะสุมาตรา อินโดนีเซีย มาเลเซีย จีน ไทย สำหรับในประเทศไทยพบแพร่ขยายพันธุ์ทั่วไปตามแม่น้ำ ลำคลอง และสาขาทั่วทุกภาค ตามหนองบึงและอ่างเก็บน้ำต่างๆ อย่างเช่น แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ ปากน้ำโพ บึงบอระเพ็ด แม่น้ำลพบุรี แม่น้ำท่าจีน นอกจากนี้พบตามอ่างเก็บน้ำทุกภาคของประเทศ อ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น เขื่อนลำนางรอง จ. นครราชสีมา อ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์ อ่างเก็บน้ำบางพระ จ. ชลบุรี อ่างเก็บน้ำบางกลาง จ.ยะลา จ.สุโขทัย จ.พิจิตร จ. พิษณุโลก และยังมีรายงานพบในทะเลน้อย จ. สงขลา สำหรับอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นใหม่พบปลาบู่ทรายที่การเจริญเติบโตเร็วและแพร่ขยายพันธุ์ได้ดี เช่นเดียวกับปลากินเนื้อชนิดอื่น (เจ็ดฉันท และคณะ, 2538)

4. รูปแบบการเลี้ยงปลาบู่

การเลี้ยงปลาบู่ทรายเดิมจะรวบรวมได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติเป็น ส่วนใหญ่แต่มาในระยะหลังความต้องการของผู้บริโภคมีมาก ประกอบกับปลาบู่เป็นปลาที่ราคาแพงและเป็นที่ต้องการของ ตลาดต่างประเทศ จึงมีผู้สนใจเลี้ยงกันอย่างเป็นล่ำเป็นสัน โดยมี การทดลองเลี้ยงกันในบ่อและในกระชัง การเลี้ยงปลาบู่ทรายในบ่อ (วรวิทย์, 2547)

เนื่องจากปลาบู่เป็นปลาที่มีราคาแพงเป็นที่ต้องการของตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ที่ผ่านมามีผู้สนใจเลี้ยงปลาบู่กันเป็นจำนวนมาก การเลี้ยงปลาบู่ที่มีเลี้ยงกันในบ่อบ่อซีเมนต์ บ่อดินและกระชัง แต่ที่นิยมเลี้ยงกันมากเป็นการเลี้ยงในกระชัง ส่วนบ่อดินก็มีผู้เลี้ยงกันอยู่บ้างทั้งในรูปการเลี้ยงแบบเดี่ยว (monoculture) แบบรวม (polyculture) และแบบผสมผสาน การเลี้ยงในบ่อซีเมนต์มีการเลี้ยงอยู่น้อยมากเพราะเป็นการลงทุนสูงและต้องการน้ำสะอาดในการเลี้ยง (เจ็ดฉันท และคณะ, 2538)

1. การเลี้ยงปลาบู่ในกระชัง

เริ่มจากต้องตรวจดูสภาพน้ำที่จะใช้เลี้ยงปลาบู่ แบ่งเป็นกระชังน้ำไหลและกระชังน้ำนิ่ง กระชังน้ำไหลคือกระชังที่ลงไว้ในคลอง หรือในแม่น้ำ ส่วนกระชังน้ำนิ่งคือลงกระชังไว้ในบ่อขนาดใหญ่ (พื้นที่ไม่ควรต่ำกว่า 3 ไร่ และลึกไม่ต่ำกว่า 2 เมตร) มีกระชัง 2 ลักษณะ คือกระชังไม้และกระชังอลูมิเนียม ซึ่งกระชังไม้จะมีความมั่นคงแข็งแรงกว่า แต่ก็มีค่าก่อสร้างสูงกว่า โดยปกติ จะปล่อยลงเลี้ยงได้ประมาณ ตารางเมตรละ 20-70 ตัว แต่ที่ลงเลี้ยงแล้วเจริญเติบโตดีที่สุด ที่ ตารางเมตรละ 30 ตัว พันธุ์ปลาที่จะลงเลี้ยง ควรคัดเลือกที่มีสภาพดี มีขนาดใกล้เคียงกัน ปล่อยปลาช่วงเช้า สาย หรือเย็น จะดีกว่าช่วงบ่ายๆ เพราะอากาศไม่ร้อน ปลาจะไม่เครียดมาก หลังจากปล่อยปลาลงกระชังแล้ว 2 วัน ก็เริ่มให้อาหาร โดยผสมสูตรอาหารดังนี้

1.ปลาเปิด 10 ส่วน

2.ปลาปน 2 ส่วน

3.เกลือเม็ด 1 ส่วน

นำส่วนผสมทั้งหมดมาสับหรือบดให้ละเอียด จะดีกว่าสับเป็นชิ้นเพราะก้างปลาอาจจะไปทิ่มทะลุท้องของปลานูได้(เคยเจอมาแล้ว) และควรผสมวิตามินลงไป ในอาหารด้วยที่สำคัญคือปลาที่ปล่อยเลี้ยงลงใหม่จะมีปลาลอยขึ้นมาตาย เนื่องจากปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ไม่ได้ จะเสียหาย 15-80 (ปกติจะเสียหายประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์) วิธีแก้ไขปัญหาดังนี้คือต้องผสมยาเหลืองลงในอาหารทุกมื้อจนกว่าปลาจะหยุดตาย(ประมาณ 1 เดือน) และควรหมั่นถ่ายน้ำบ่อยๆ ยังสามารถถ่ายได้ทุกวันยิ่งดี เพราะจะลดความเครียดของปลา ทำให้ปลาทายน้อยลง หลังจากนั้นเมื่อปลาหยุดตายแล้วก็ไม่ต้องผสมยาลงในอาหารให้ปลานูกิน ให้อาหารปลาวันเว้นวัน หรือทุกวันก็ได้ (เลี้ยงทุกวันปลากินอาหารประมาณ 5 % และวันเว้นวันกิน 10 %ของน้ำหนักตัวของปลา) และใช้เวลาเลี้ยงประมาณ 7-10 เดือนจะได้ไซส์ 4 จีด - 1 กก. ก็สามารถจับขายได้แล้ว

2. การเลี้ยงปลานูในบ่อดิน

ในที่นี้จะไม่พูดถึงการเลี้ยงร่วมกับปลาชนิดอื่น เพราะมักไม่ค่อยได้ผลเท่าที่ควร จริงอยู่ไม่มีค่าอาหารก็จริง แต่บางครั้งปลาที่เราปล่อยไว้ก็ไม่โต บางทีผอมเหลือแต่ก้างก็มี และราคาที่เราจะจำหน่ายจะถูกกว่าปลาที่เลี้ยงสมบูรณ์ กิโลกรัมละประมาณ 40-50 บาท และที่จะกล่าวถึงคือการเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ โดยเลี้ยงปลานูในบ่อดินเพียงชนิดเดียว ไม่ให้มีปลาอื่นมาแย่งอาหาร โดยเริ่มแรกต้องตรวจสอบสภาพบ่อน้ำว่าเป็นอย่างไร บ่อที่จะเลี้ยงควรมีขนาดประมาณ 1 งาน ถึง 2 ไร่ ระดับน้ำลึกประมาณ 1.5 เมตรไม่ควรใหญ่กว่านี้ เพราะจะดูแลยาก และต้องสามารถถ่ายน้ำออกได้ อย่าง น้อย 2 อาทิตย์/ครั้ง โดยหากสามารถถ่ายได้บ่อยเท่าไรยิ่งเป็นการดี เนื่องจากปลานูกินอาหารสดจะทำให้ น้ำเสียง่ายหากเราเลี้ยงไปเรื่อยๆ โดยไม่ถ่ายน้ำเลย ปลาจะเครียด กินอาหารลดลง และอาจจะเกิดโรคได้ เรื่องพันธุ์ปลากับสูตรอาหารก็เหมือนกับสูตรที่เลี้ยงในกระชัง แต่ปริมาณอาหารจะไม่เท่ากัน หากเลี้ยง ทุกวันปลาจะกินอาหาร 2% หากเลี้ยงวันเว้นวันปลาจะกินอาหารประมาณ 3% ของน้ำหนักตัว ในการเลี้ยงบ่อดินจะเสียเปรียบตรงที่จะต้องถ่ายน้ำถ้าต้องใช้เครื่องสูบน้ำก็จะมีต้นทุนเพิ่มขึ้น และปลาจะโตช้ากว่าเลี้ยงในกระชัง แต่ดีกว่าตรงที่สามารถควบคุมสภาพน้ำได้ดีกว่า น้ำไม่ดีก็ไม่ต้องสูบน้ำใส่บ่อ และปลาที่เลี้ยงกระชังถ้าไม่ดีปลาอาจตายกระชังได้ (วรวิฑูรี, 2547)

อรภา และคณะ (2526) ทดลองเลี้ยงปลานูขนาด 9-10 ซม. ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 10.5 กรัม จำนวน 200 ตัวในบ่อดินขนาด 200 ตรม. และให้อาหาร 2 สูตร คือสูตรที่ 1 ได้แก่ ปลาสดผสมรำและปลายข้าวคั่วในอัตรา 8:1:1 สูตรที่ 2 ได้แก่ ใ้ไก่ผสมรำและปลายข้าวคั่วในอัตรา 8:1:1 ใช้เวลาเลี้ยง 8 เดือน พบว่าอาหารสูตรที่ 1 ให้ผลด้านการเจริญเติบโตดีกว่าสูตรที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามปลานูนี้มีการเจริญเติบโตช้ามากและผู้ทดลองแนะนำให้ใส่ปลาที่สามารถออกลูกได้เร็วเป็นจำนวนมาก สำหรับให้เป็นอาหารปลานูอีกด้วย

ทวี และคณะ (2530) ทดลองเลี้ยงปลานูขนาด 5 ซม. จำนวน 3,000 ตัว ในบ่อปูนซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร (60 ตัว/ ตรม.) โดยสูบน้ำเขียวใส่ในบ่อเลี้ยงวันเว้นวันและใส่ไรแดงเป็นระยะๆ นอกจากนั้นให้

อาหารปลาโดยใช้สูตร ปลาเป็ด 94 % รำละเอียด 5% และวิตามินเกลือแร่ 1% ด้วยระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน ได้อัตราการรอด 84.53% จากลูกปลาที่มีขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 1.46 กรัม เพิ่มขึ้นเป็น 4.97 กรัม และจากความยาวเริ่มต้น 5.01 ซม. เพิ่มขึ้นเป็น 7.55 ซม. นอกจากนี้ ทวี และคณะ (2530) ทดลองติดตั้งระบบน้ำหมุนเวียน โดยดึงน้ำจากบ่อพักขนาดครึ่งไร่ขึ้นมาเลี้ยงลูกปลานูแล้วปล่อยกับตู้บ่อดินหมุนเวียนตลอดเวลาในบ่อปูนซีเมนต์ 6 ตร.ม. ในเวลา 199 วัน ได้อัตราการรอดเฉลี่ย 93.67% น้ำหนักปลาเริ่มต้น 1.75 กรัม เพิ่มขึ้นเป็น 9.04 กรัม และความยาวเฉลี่ยจาก 5.35 ซม. เพิ่มขึ้นเป็น 9.77 ซม.

สำเนาวิ และคณะ (2545) ทดลองเลี้ยงปลานูทรายขนาด 2-3 เซนติเมตรเลี้ยงในบ่อพลาสติกกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร น้ำลึก 50 เซนติเมตร โดยปล่อยลูกปลานูละ 30 ตัว เลี้ยงด้วยอาหารผสม (อาหารปลาดุก ซึ่งมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 4 ชั่วโมง 120 วัน ให้อาหารประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว วันละ 1 ครั้ง พบว่าปลานูที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมมีน้ำหนักเฉลี่ย 45.93 กรัม และเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดมีน้ำหนัก 41.63 กรัม โดยมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยประมาณ 10.00-12.00 กรัมต่อเดือน และมีอัตราการรอดตายร้อยละ 9.20 และร้อยละ 6.67 ตามลำดับ

5. อัตราการปล่อย

พันธุ์ปลานูที่นิยมนำมาเลี้ยงส่วนใหญ่มีขนาด 100-300 กรัม ปลานูมีนิสัยชอบนอนนิ่งอยู่บริเวณกันกระชังทำให้สามารถปล่อยปลานูได้หนาแน่นประมาณ 70-100 ตัว/ตร.ม. หรือประมาณ 10-30 กก./ลบ.ม. อัตราปล่อยดังกล่าวนี้ใช้กับแหล่งน้ำที่มีการไหลถ่ายเทของน้ำดีผ่านใน กระชัง แต่ถ้าแหล่งน้ำใดมีคุณสมบัติที่ไม่ดีและไหลถ่ายเทช้า ควรปล่อยอัตรา 40-50 ตัว/ตร.ม. ก่อนปล่อยพันธุ์ปลาลงในกระชังควรทำให้ปลามีความคุ้นเคยกับน้ำที่เลี้ยงและควรมีการฆ่าเชื้อป้องกันโรคเสียก่อน (เนติฉิน และคณะ, 2538)

จิระภา และคณะ (2551) ทดลองเลี้ยงปลานูที่อัตราการปล่อย 25, 50, 75 และ 100 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารเม็ดเต็มวัยกินจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง ปลาทดลองมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.34 ± 0.02 , 0.34 ± 0.04 , 0.36 ± 0.03 และ 0.34 ± 0.01 กรัม ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น 3.00 ± 0.08 , 3.04 ± 0.01 , 2.98 ± 0.06 , และ 3.05 ± 0.01 เซนติเมตร ตามลำดับ เลี้ยงในบ่อซีเมนต์ขนาด 2×3 เมตร จำนวน 12 บ่อ ระดับน้ำ 50 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 3,000 ลิตร โดยใช้ความเค็ม 10 ppt ใช้ระบบกรองน้ำในบ่อ ผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 25 ตัว/ตารางเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักเพิ่มต่อวัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับปลานูที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 50 ตัว/ตารางเมตร แต่มากกว่าปลานูที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 75 ตัว/ตารางเมตร และ 100 ตัว/ตารางเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p < 0.05$) และความยาวเฉลี่ยสุดท้ายของทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของทุกชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 25 ตัว/ตารางเมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับปลานูที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 50 และ 70 ตัว/ตารางเมตร แต่มากกว่าปลานูที่เลี้ยงด้วยอัตราปล่อย 100 ตัว/ตารางเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตายทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้านต้นทุนการผลิตต่อตัวมีค่าเท่ากับ 7.22, 4.44, 3.68 และ 3.15 บาท และผลตอบแทนต่อการลงทุนมีค่าเท่ากับ -41.75, -30.75, -29.47 และ -19.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิต

และผลตอบแทน พบว่าการอนุบาลปลาบู่ที่อัตราการปล่อย 100 ตัว/ตารางเมตร ในบ่อซีเมนต์เป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุด

6. อาหารและการให้อาหาร

ปลาบู่จัดเป็นปลากินเนื้อ ดังนั้นอาหารที่ดีควรมี โปรตีน 38-40 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5-8 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 9 - 12 เปอร์เซ็นต์ วิตามินและแร่ธาตุ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ อาหารใช้เลี้ยงปลาบู่แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. อาหารแบบพื้นบ้าน เป็นอาหารสดได้จากการนำปลาเปิดจากทะเลหรือปลาน้ำจืดมาสับให้ปลากิน หรือใช้เครื่องบดอาหารซึ่งมีผลดีทำให้กระดูกปลาเปิดป่นย่อยละเอียดไม่เป็นอันตรายต่อลำไส้ปลาบู่ประหยัดเวลาและแรงงาน ส่วนสูตรอาหารปลาที่ใช้คือ ปลาเปิดสดบดละเอียด 94 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียด 5 เปอร์เซ็นต์ วิตามินและเกลือแร่ 1 เปอร์เซ็นต์ (เกษตรกรบางรายผสมหัวอาหารหมูหรือไก่ลงไปด้วย) นอกจากนี้ควรใส่เกลือป่นในอัตรา 100 กรัม ต่ออาหาร 3 กิโลกรัม ผสมลงไปเพื่อให้อาหารจับตัวเหนียวขึ้นป้องกันการละลายหรือลอยตัวของอาหาร

2. อาหารผสมสูตรสำเร็จแบบเปียก อาหารชนิดนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเตรียมจากวัสดุอาหารแห้งและเปียก สะดวกในการจัดเก็บได้นานในตู้เย็น เตรียมง่าย และถูกสุขลักษณะทั้งยังสามารถเดิมยาปฏิชีวนะและฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโต เนื่องจากปลาบู่กินอาหารเชิงซากกว่าปลาชนิดอื่น จึงควรป้อนเป็นก้อนใส่ถาดแขวนไว้ในกระชังให้ต่ำกว่าระดับผิวน้ำประมาณ 50 เซนติเมตร การให้อาหารทำได้ 2 แบบคือ แบบที่ 1 จะให้อาหารทุก ๆ วัน ละ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลาในกระชัง และแบบที่ 2 เป็นการให้ 2 วันครั้ง โดยให้ 8 - 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลา อย่างไรก็ตามการให้อาหารควรสังเกตว่าปลากินอาหารหมดหรือไม่และค่อยปรับเปลี่ยนหรือลดอาหาร (เจ็ดฉันทน์ และคณะ, 2538)

7. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

อัตราการแลกอาหารเป็นเนื้อปลาบู่ที่เลี้ยงด้วยปลาเปิดอยู่ระหว่าง 8-9 : 1 แต่จากการศึกษาอาหารและผลตอบแทนของการเลี้ยงปลาบู่ในกระชังที่จังหวัดนครสวรรค์ พบว่าปลาบู่ที่เลี้ยงด้วยปลาเปิด 94 % ผสมรำละเอียด 5% และเกลือแร่ 1% ได้อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ระหว่าง 7.3 - 12.2 : 1 สาเหตุนี้เนื่องจากปัจจัยของขนาดปลาที่ใช้ทดลอง อัตราการปล่อยปลาหนาแน่น คุณสมบัติน้ำ และการหมุนเวียนน้ำ (เจ็ดฉันทน์ และคณะ, 2538)

8. อัตรารอด

อัตราการรอดตายในการเลี้ยงปลาบู่ขึ้นอยู่กับปัจจัยความแข็งแรงของพันธุ์ปลา คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ความสามารถและความชำนาญในการเลี้ยง และสภาพสิ่งแวดล้อม อีกทั้งสภาพสิ่งแวดล้อมในแต่ละปีอีกด้วย

9. อัตราการเจริญเติบโต

อัตราการเจริญเติบโตของปลาบู่ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ อาทิ อัตราปล่อย คุณภาพและปริมาณอาหาร คุณสมบัติน้ำ ฯลฯ จากการเลี้ยงปลาบู่ที่แม่น้ำน่าน จ. นครสวรรค์ พบว่าอัตราปล่อย ตารางเมตรละ 32 ตัว ใช้เวลา 7 เดือนจะให้ผลผลิตสูงสุด

10. โรคพยาธิและการป้องกัน

เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาน้ำจืดส่วนใหญ่มีความวิตกเรื่องโรคที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นการป้องกันโรคไว้ก่อนจึงเป็นทางเดียวที่จะไม่ทำให้ปลาน้ำจืดเป็นโรค ซึ่งผู้เลี้ยงต้องคอยเอาใจใส่ดูแลสุขภาพของปลาน้ำจืดการจัดการที่ดีทำให้ปลาน้ำจืดสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรงอีกทั้งต้องหมั่นสังเกตสภาพแวดล้อมโดยรอบของกระชัง เช่น คุณภาพน้ำทางดินน้ำอากาศเป็นโรคของปลาในธรรมชาติ สำหรับโรคพยาธิที่พบในปลาน้ำจืด แบ่งเป็น 6 ประเภท คือ

1. พยาธิภายนอก

1.1 พยาธิภายนอกที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่

- หนอนสมอ พบมากตามซอกเกล็ด ครีบและในช่องปาก พยาธิพวกนี้จะดูดเลือดปลาทำให้ปลาอ่อนแอ

- เอือกาซิัส ดูดเลือดตามเหงือกปลา ถ้าเกะกะนาน ๆ ทำให้เหงือกกร่อน ก่อให้เกิดปัญหากับระบบหายใจ

- โกลซิเดีย เป็นตัวอ่อนของหอย 2 ฟา เกะกะตามซอกเหงือก ทำให้ลดพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนออกซิเจน

1.2 พยาธิภายนอกที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่ ทริกโคไคนา ฮีนิกญา อีฟัสไทลิส ซิโลโคเนลลา แคลไทโรจิสต์สอาการปลาน้ำจืดที่มี พยาธิเหล่านี้คือลอยหัว เกล็ดหลุด เหงือกซีด บางครั้งพบจุดขาว ๆ กระจายทั่วไป

2. พยาธิภายใน ได้แก่ พยาธิตัวกลม พยาธิหัวหนาม ทำให้ปลาผอม ไม่กินอาหาร

3. เชื้อรา ได้แก่ แซปโพรเลกเนีย ขึ้นเป็นกระจุกมีแขนงมากมายบริเวณ ผิวหนังของลำตัว เชื้อนี้จะฝังลึกเข้าไปในเนื้อเยื่อทำให้เกิดแผลพุพอง เกิดบาดแผลปลาอ่อนแอ

4. เชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ แอโรโมแนสไฮโดรฟีลา คอรีเนแบคทีเรียม สเตรปโตคอคคัส อาการที่พบคือท้องบวม คาโปน แผลตามลำตัว เกิด น้ำเหลืองในช่องท้อง ไตบวม เป็นต้น สำหรับเชื้อแอโรโมแนสไฮโดรฟีลาเป็นตัวที่ก่อให้เกิดโรคใน ปลาน้ำจืดมากกว่าชนิดอื่น ๆ

5. มะเร็งต่อมน้ำเหลือง ปลาที่ป่วยเป็นโรคนี้น่ากลัว สังเกตจะพบว่าบริเวณแผ่นปิดเหงือกเริ่มกางออกเนื่องจากโคนครีบบวมพองขึ้นมา คล้ายกับก้อนเนื้อพองออกโดยเฉพาะด้านหน้าโคนครีบ ก้อนมะเร็งดังกล่าวจะเติบโตมีขนาดใหญ่ทำให้แผ่นปิดเหงือก กระดุกเหงือกบนครีบบวมและบริเวณส่วน หัว โรคนี้ยังไม่มีวิธีการรักษา

6. โรคตับโต ปลาที่เป็นโรคนี้นี้ไม่มีความผิดปกติตามลักษณะภายนอก พบว่าเหงือกซีดกว่าปกติเนื่องจากเลือดจาง ตับโตมีสีเหลืองอ่อน ม้าม มีขนาดใหญ่และเลือดออก สาเหตุของโรคมาจากการได้รับอาหารไม่ถูกส่วน

การป้องกันรักษา การป้องกันไม่ให้ปลาเป็นโรคเป็นวิธีที่ดีที่สุด ซึ่งขึ้นกับสภาพแวดล้อม และความเอาใจใส่ของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา

11. คุณค่าเนื้อปลา

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารเนื้อของปลานู๋สด จากปลาความยาว 35 เซนติเมตรหนัก 610 กรัม ซึ่งเป็นขนาดที่ตลาดต้องการ เนื้อส่วนที่กินได้ ประมาณ 57.5% ประกอบด้วย

โปรตีน 15.04%

ไขมัน 0.15%

ความชื้น 82.35%

คาร์โบไฮเดรต 2.14%

เถ้า 0.57%

ระบบในการกำจัดของเสียในการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด

Landau (1992) ได้ให้คำจำกัดความของระบบปิดไว้ว่า เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่เกือบทั้งหมด (95 - 100 %) โดยมีการกรองเอาเศษอาหารที่เหลือตกค้าง สิ่งขับถ่ายของปลาและของเสียอื่น ๆ ออกก่อนที่จะหมุนเวียนน้ำมาใช้ใหม่ จะมีน้ำเพียงบางส่วนเท่านั้นที่หายไปเนื่องจากการระเหยและการทำงานของระบบ ซึ่งน้ำส่วนที่หายไปนี้อาจมีการเติมเข้าไปทดแทนได้เพื่อเป็นการรักษาระดับน้ำในระบบให้คงที่ สอดคล้องกับที่ Lee and Newman (1997) ได้กล่าวไว้ว่า ระบบปิดเป็นระบบที่ไม่มีการเติมน้ำใหม่เข้าไปในระบบ แต่จะมีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะมีการกรองเอาเศษอาหารที่เหลือ สิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ และของเสียอื่น ๆ ออกก่อนที่จะนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยข้อดีของระบบปิดคือ ใช้น้ำในปริมาณที่น้อย และไม่ก่อปัญหามลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียของระบบปิดก็คือ จะมีการสะสมเศษอาหารที่เหลือและของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมา ซึ่งถ้าสะสมมากขึ้นจะทำให้หน้าที่ใช้เลี้ยงปลาเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลา การแก้ปัญหานี้โดยทั่วไปใช้วิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 7 - 10 วัน ซึ่งระยะเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดของปลาน้ำจืดของปลา ความหนาแน่นของการเลี้ยง เป็นต้น การเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ๆ อาจก่อความยุ่งยากและเสียเวลา ในที่สุดผู้เลี้ยงปลาจึงอาจเกิดความเบื่อหน่ายในการเลี้ยงได้

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในการเลี้ยงปลาระบบปิด

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงปลาระบบปิดคือ การเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา อันเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ ดังนี้

1. อาหารที่ใช้เลี้ยงปลา ถ้ามีการให้อาหารปลามากเกินไป และคุณภาพของอาหารปลาไม่ดีทำให้อาหารจมตัวเร็ว ก็จะเหลือเศษอาหารตกค้างอยู่ในตู้เลี้ยงปลา และเมื่อมีเศษอาหารเหลือจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำก็จะใช้เศษอาหารที่เหลือเพื่อการเจริญเพิ่มจำนวนทำให้น้ำขุ่นได้ และสารต่าง ๆ ที่เกิดจากเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ก็อาจเป็นพิษต่อปลาได้เช่นกัน นอกจากนั้นถ้าเกิดการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคอาจทำให้ปลาติดโรค ปลาจะอ่อนแอ และในที่สุดอาจตายได้ ดังนั้นอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาจึงควรเหมาะสมกับชนิดและขนาด

ของปลา คุณภาพของอาหารและปริมาณที่ให้แก่ปลาโดย Pe'nztes (1986) แนะนำว่าปริมาณอาหารปลาที่ให้ปลาควรจะกินให้หมดภายใน 2 – 3 นาทีหรือไม่ควรเกิน 30 นาที

2. การจับถ่ายของเสียจากปลา ของเสียนี้เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของปลาและขับถ่ายออกมาจากตัวปลา โดย Spotte (1979) ได้อธิบายไว้ว่า ปลาจะขับถ่ายของเสียออกมาทั้งทางเหงือก ทางไต และทางผิวหนังการสะสมของเศษอาหารที่เหลือ และสิ่งขับถ่ายจากปลาในตู้เลี้ยงปลาแบบปิด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงปลา โดยน้ำเกิดการเน่าเสียและเกิดสารประกอบไนโตรเจนขึ้นในตู้เลี้ยงปลา เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งถ้าเกิดการสะสมจนถึง ระดับหนึ่งจะเกิดความเป็นพิษต่อปลาได้ Gross *et al.* (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสาร ประกอบไนโตรเจนในบ่อปลาและได้รายงานว่า อาหารปลาสำเร็จรูปที่ให้แก่ปลาจะประกอบด้วยโปรตีน 3-25 เปอร์เซ็นต์ หรือไนโตรเจนอินทรีย์ 4 – 5.8 เปอร์เซ็นต์ และปลาจะนำไนโตรเจนในอาหารไปใช้ได้ 25 – 30 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นจะเข้าสู่ระบบนิเวศในบ่อปลา ปริมาณไนโตรเจนในบ่อปลาจะมาจากอาหารที่ให้แก่ปลามากที่สุดและเกิดการ mineralization ไปเป็นแอมโมเนีย โดยเฉลี่ย 59 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งปลาจะจับแอมโมเนียออกมาจากเหงือกมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากแอมโมเนียแล้วยังมีของเสียอื่น ๆ ที่ปลาขับออกมาป็นอยู่ด้วยเล็กน้อย เช่น กรดอะมิโน ยูเรีย และกรดยูริก (วีระพงศ์, 2536)

การกำจัดของเสียและสารประกอบไนโตรเจนในบ่อปลาแบบปิด

วิธีการกำจัดของเสียและสารประกอบไนโตรเจนในบ่อปลาแบบปิด โดยเฉพาะแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทจะมีวิธีการขั้นพื้นฐานอยู่ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทางกายภาพ วิธีการทางเคมี และวิธีการทางชีวภาพ ซึ่งอาจใช้เพียงวิธีเดียวหรือใช้ร่วมกันหลายวิธีก็ได้ (Alderton, 1983; Wilkie, 1985; Scott, 1996)

1. วิธีการทางกายภาพ (mechanical method)

วิธีการนี้เป็นวิธีการขั้นต้นที่อาศัยการกรองเพื่อกรองของเสียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำแต่ไม่สามารถใช้กำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้ การกรองของเสียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจะใช้เครื่องกรองน้ำซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป แต่หลักการทั่วไปจะเหมือนกันคือ เครื่องกรองจะดูดน้ำที่มีอนุภาคของของเสียและตะกอนต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำให้ผ่านวัสดุกรอง แล้วไหลกลับเข้าสู่ตู้ปลาเหมือนเดิม น้ำที่ผ่านวัสดุกรองแล้วนั้นจะเป็นน้ำที่สะอาดขึ้น วัสดุกรองที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายชนิด เช่น โยสังเคราะห์ หิน กรวด ทราย และพลาสติกเป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องกรองน้ำให้สามารถกรองน้ำได้รวดเร็วขึ้น และมีความละเอียดมากขึ้น เช่น ใช้โคอะตอมเป็นวัสดุกรอง ทำให้สามารถกรองตะกอนที่มีขนาดเล็กได้ เครื่องกรองนอกจากจะช่วยกรองสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในตู้ปลาแล้ว ยังทำให้เกิดการหมุนเวียนน้ำ ทำให้น้ำในตู้ปลามีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งตู้ และทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสออกซิเจนได้มากขึ้น (ศิริวัฒน์, 2544)

อย่างไรก็ตาม วิธีการทางกายภาพเป็นเพียงวิธีการขั้นต้นในการกำจัดของเสียในตู้เลี้ยงปลาจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่น ๆ ในการกำจัดของเสียส่วนที่ละลายปนอยู่ในน้ำซึ่งไม่อาจใช้วิธีการกรองกำจัดได้ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Wungkobkiat *et al.* (1997) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ

ไนโตรเจนภายใต้การบำบัดโดยใช้เครื่องกรองน้ำในตู้เลี้ยงปลาของระบบปิด ในการศึกษาใช้ปลาทอง 30 ตัว ต่อตู้เลี้ยงปลาซึ่งมี ขนาด 40 x 75 x 70 ลูกบาศก์เซนติเมตร และบรรจุน้ำในตู้ประมาณ 90 ลิตร ปลาทองที่ใช้ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยประมาณ 15 กรัมต่อตัว และให้อาหารปลาสำเร็จรูปวันละ 5 กรัม พบว่า ถึงแม้จะใช้เครื่อง กรองน้ำและมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นเองภายหลัง ก็ไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ให้อยู่ ในระดับที่ปลอดภัยต่อปลาได้

2. วิธีการทางเคมี (chemical I method)

ระบบนี้เป็นการนำเอากระบวนการทางเคมีมาประยุกต์ใช้ เช่น การนำผงถ่านกัมมันต์(activated carbon) มาใช้ดูดซับและเก็บสารอินทรีย์ และสารประกอบอื่น ๆ ที่ละลายปนอยู่ในน้ำไว้ผงถ่านกัมมันต์จึงมี อายุการใช้งานสั้น นอกจากนี้ยังมีวิธีการทางเคมีอื่น ๆ อีก เช่น การใช้ ionexchange resin หรือ reverse osmosis หรือ electrodialysis เพื่อกำจัดสารพิษในน้ำ (Haugen *et al.*,2002)

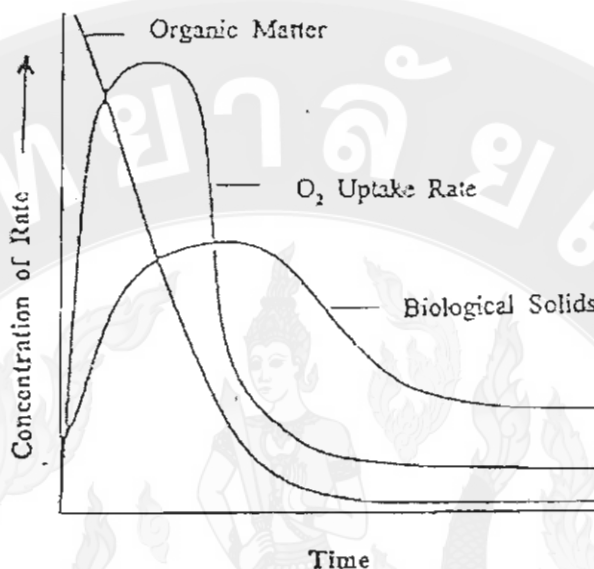
3. วิธีการทางชีวภาพ (biological method)

วิธีการทางชีวภาพเป็นวิธีการที่อาศัยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติและที่ใส่เพิ่มลงไปภายหลังเพื่อช่วยย่อย สลาย และกำจัดของเสียต่าง ๆ ในน้ำ และเปลี่ยนสารประกอบที่เป็นพิษให้กลายเป็นสารประกอบที่ไม่เป็น พิษ เช่น ammonia stripping, breakpoint chlorination (Gonzales, 1995) หรือการใช้ระบบไนตริฟิเคชัน/ดี ไนตริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรท ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยที่สุด

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ สามารถกำจัดสิ่งสกปรกซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ รวมทั้งของแข็งแขวนลอยในรูปสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพ โดยอาศัยสิ่งมีชีวิต ได้แก่ จุลินทรีย์ เช่นแบคทีเรีย (bacteria) เชื้อรา (fungi) โปรโตซัว (protozoa) โรติเฟอร์ (rotifer) และสาหร่าย (algae) ในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลงด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีกระบวนการ บำบัดสารอินทรีย์สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารในการดำรงชีวิตเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างพลังงาน ในการใช้สารอาหารหรือในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์อาจจะมีการ ทำงานร่วมกันหลายชนิดก็ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนก่อน จากนั้น จะมีชนิดอื่นๆย่อยสลายส่วนที่เหลือ หรือมีฉะนั้นก็อาจจะเป็นการเอาผลหรือของเสียที่เกิดจากการย่อยสลาย สารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาทำการย่อยสลายต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป (end products)เมื่อเริ่มการทำงานค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ จะมีค่าต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นและเจริญเติบโต เป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วแต่เมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราการต้องการออกซิเจนก็จะลดลงตามลำดับ ดังภาพที่ 1 สำหรับในระบบบำบัดน้ำเสียจริงซึ่งมีน้ำเสียไหลเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง

จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มปริมาณอยู่ตลอดเวลาและอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาเช่นเดียวกัน

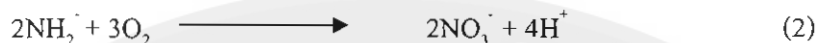
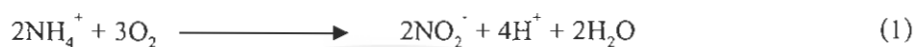


ภาพที่ 1 ปฏิกริยาและการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ
ที่มา : สุรพล (2531)

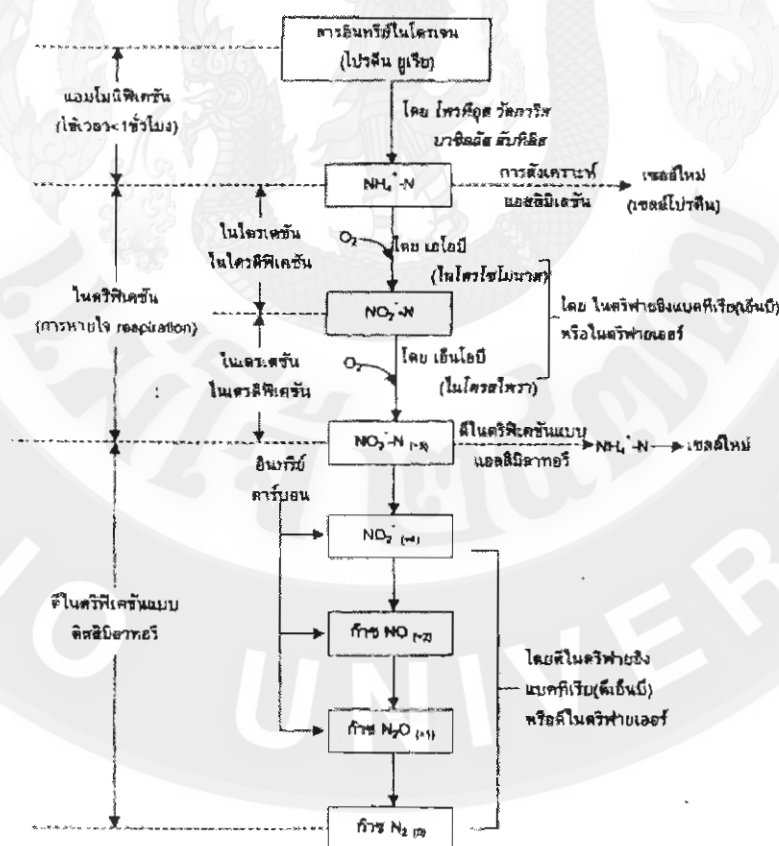
วิธีการทางชีวภาพเป็นวิธีการที่อาศัยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติและที่ใส่เพิ่มลงไปภายหลังเพื่อช่วยย่อยสลาย และกำจัดของเสียต่างๆในน้ำ และเปลี่ยนสารประกอบที่เป็นพิษให้กลายเป็นสารประกอบที่ไม่เป็นพิษ เช่น ammonia stripping, breakpoint chlorination หรือ การใช้ระบบไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรท ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยที่สุด (วิฐ , 2546)

วิฐ (2546) กล่าวว่า การเกิดไนเตรทการเลี้ยงปลาระบบปิดเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับวงจรไนโตรเจน โดยเมื่อปลากินอาหารแล้วจะขับถ่ายของเสียออกมา รวมทั้งเศษอาหารที่ปลา กินไม่หมด ของเสียและเศษอาหารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรีย ในกลุ่ม heterotrophs ย่อยสลาย ค่อยไปกลายเป็นแอมโมเนียในสถานะที่มีและไม่มีออกซิเจนก็ได้โดยกระบวนการที่เรียกว่าแอมโมนิฟิเคชัน(ammonification) จากนั้นแอมโมเนียจะถูกออกซิไดส์กลายเป็นไนไตรท์และไนเตรทในที่สุด โดยกระบวนการที่เรียกว่า ไนตริฟิเคชัน(nitrification)โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรียกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันแอมโมเนียให้กลายเป็นไนไตรท์และออกซิไดส์ไนไตรท์ให้กลายเป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวกเฮเทอโรโทรฟ (heterotrophs) หรือออโตโทรฟ (autotrophs) ก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะเกิดจากพวกออโตโทรฟเป็นสำคัญ กระบวนการไนตริฟิเคชันจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนด้วยกัน ได้แก่ ขั้นตอนการออกซิไดส์แอมโมเนียได้เป็นไนไตรท์ ดังแสดงในสมการที่ 1 โดย ammonia oxidizing bacteria ตัวอย่างแบคทีเรียใน

กลุ่มนี้ที่รู้จักกันดีได้แก่ *Nitrosomonas* sp. และขั้นตอนการออกซิไดส์ไนโตรที่ให้เป็นไนเตรท ดังแสดงในสมการ ที่ 2 โดย nitrite oxidizing bacteria ตัวอย่างของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดี ได้แก่ *Nitrobacter* sp.



ธงชัย (2544) กล่าวว่าเป็นการกำจัดไนโตรเจนทางชีววิทยาที่อาศัยจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนเป็นธาตุอาหาร ระบบบำบัดน้ำเสียจึงต้องได้รับไนโตรเจนที่เพียงพอ แหล่งไนโตรเจนอาจเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนหรือแอมโมเนีย รวมทั้งไนเตรทก็อาจเป็นแหล่งไนโตรเจนได้เช่นกันแบคทีเรียทำให้การกำจัดไนโตรเจนเกิดได้สมบูรณ์มีอยู่ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมีหน้าที่ออกซิไดส์ไนโตรเจน (ในรูปรีดิวซ์) ให้เป็นไนเตรต จากนั้นแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งจะถูกกลดรูปไนโตรเจนนี้ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนออกจากระบบ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบนี้จะเริ่มต้นที่กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ก่อนกระบวนการอื่นๆ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ
ที่มา: ธงชัย (2544)

1. ปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชัน

ปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชัน คือ กระบวนการที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน (โปรตีน และยูเรีย) ไปอยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน (แอมโมเนีย) หรือสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ไนโตรเจนมีเนอรัลไลเซชัน (Nitrogen Mineralization) ซึ่งมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาดังกล่าว และแอมโมเนียในปฏิกริยาเกิดขึ้นมาจากการคละมิโนที่แปรรูปมาจากสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน ถูกกลดรูปอะมีน ซึ่งมีทั้งแบบออกซิเดทีฟและรีดักทีฟ ส่วนการไฮโดรไลซ์ของยูเรียโดยเอนไซม์ยูรีเอสก็จะปล่อยแอมโมเนียได้เช่นกัน แอมโมเนียที่เกิดจากปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชันอาจถูกกำจัดได้ 2 ทางทางที่หนึ่ง คือ ถูกจุลินทรีย์ดึงไปใช้เป็นสารอาหารและใช้ในการสร้างเซลล์ หรือทางที่สอง คือ ถูกจุลินทรีย์พวกออกโตโทรปเปลี่ยนให้เป็นไนโตรัสและไนเตรตามลำดับ ซึ่งเรียกการกำจัดทางที่สองนี้ว่า ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน (มันสิน, 2547)

2. ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน

ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน คือ ปฏิกริยาออกซิเดชันทางชีวภาพที่ทำให้สารประกอบแอมโมเนียในโตรเจนเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรัส (NO_2) และสารประกอบไนเตรท (NO_3) ตามลำดับ ในปฏิกริยานี้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน จึงเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ และเกิดขึ้นบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย โดยมีแอมโมเนียเป็นตัวให้อิเลคตรอน (Electron Donor) มีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้าย (Terminal Electron Acceptor) และมีเอนไซม์แอมโมเนียโมโนออกซิเจนเนส (Ammonia monooxygenase, AMO) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย ได้เป็นไฮดรอกซิลเอมีน (NH_2OH) (สิทธิโชค, 2547)

3. ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน

ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน คือ ปฏิกริยารีดักชันที่ทำให้สารประกอบไนเตรทเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรัสและก๊าซไนโตรเจน ตามลำดับ โดยอาศัยแบคทีเรียดีไนตริฟายอิง (Denitrifying Bacteria) ซึ่งสามารถใช้ไนเตรท (NO_3) เป็นตัวรับอิเลคตรอนแทนออกซิเจน ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันประเภทนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีแหล่งคาร์บอนภายนอก โดยใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (มันสิน, 2547)

แบคทีเรียที่พบในกระบวนการชีวภาพ

1. ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) ไนตริฟายอิงแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียกลุ่ม Strictly aerobic chemolithotrophic bacteria พบได้ทั้งในดิน น้ำจืด น้ำทะเลหรือน้ำเสีย ใช้ออกซิเจนในการหายใจ แหล่งคาร์บอนได้จากสารอินทรีย์คาร์บอนไดออกไซด์หรือไบคาร์บอเนต (ธงชัย, 2544) และใช้การออกซิไดซ์สารประกอบไนโตรเจนให้เป็นพลังงาน เจริญเติบโตช้า โดยเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส พีเอช 7.5-8.0 จะหยุดการเจริญเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส ไนตริฟายอิงแบคทีเรียแบ่งการทำงานออกเป็น 2 กลุ่มคือ (สุราสินี, 2546)

(1) แบคทีเรียออกซิไดซ์แอมโมเนีย (Ammonia Oxidizing Bacteria: AOB) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ แอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียประกอบด้วย

แบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ beta-proteobacteria และ gamma-proteobacteria ที่รู้จักกันดีคือ สกุล *Nitromonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosococcus* และ *Nitrosolobus* ปริมาณและสกุลที่พบเป็นชนิดเด่นขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียในระบบบำบัด

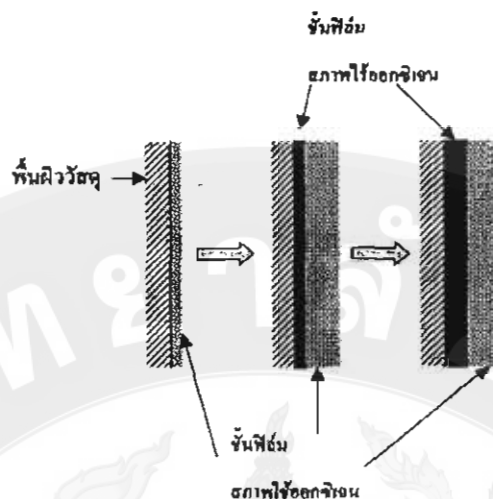
AOB เป็นแบคทีเรียชนิด obligate chemolithoautotroph แต่บางครั้ง AOB สามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ได้ ปัจจุบันพบว่า autotrophic AOB บางชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเจนต่ำสามารถใช้ไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเกิดเป็น N_2O หรือ NO ตัวอย่างเช่น *Nitrosomonas eutropha* และ *Nitrosomonas europaea* สามารถทำให้เกิดได้ทั้งปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันและดีไนไตรฟิเคชันเมื่อเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด โดยสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็น ไนโตรไซด์ภายใต้สภาวะ Anoxic

(2) แบคทีเรียออกซิไดซ์ไนไตรต์ (Nitrite Oxidizing Bacteria : NOB) ได้แก่แบคทีเรียสกุล *Nitrococcus* และ *Nitrobacter* ซึ่งเป็น alpha-proteobacteria และ *Nitrosospira* โดยสกุลที่รู้จักกันดีคือ *Nitrobacter* แต่ในปัจจุบันพบว่าสกุลที่มีบทบาทมากในน้ำทะเลคือ *Nitrosospira* แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถออกซิไดซ์ไนไตรต์ให้เป็นไนเตรตโดยใช้เอนไซม์ nitrite oxidoreductase ที่ membrane-bound ได้ ATP และ NADH

2. ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Facultative anaerobic bacteria พบในดินแหล่งน้ำจืด น้ำกร่อย และในทะเล ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียมีหลายสกุลเช่น *Bacillus*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Halobacterium* และ *Pseudomonas* สามารถหายใจได้ทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้จึงต้องใช้สารอินทรีย์ได้แก่ เมทานอล เอทานอล อะซิเตท กลูโคส ฯลฯ เป็นแหล่งคาร์บอน) ดีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้โดยปฏิกิริยาดีไนไตรฟิเคชัน ซึ่งแบคทีเรียจะใช้ไนเตรต ไนโตรเจน ไนไตรคออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและใช้เมทานอลเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในกระบวนการ (สุราสินี, 2546)

ตัวกรองชีวภาพ (Biofilter) สำหรับระบบกรองชีวภาพ

สุราสินี (2546) กล่าวว่าหลักการของระบบกรองทางชีวภาพคือมีวัสดุที่เรียกว่าตัวกรองชีวภาพ Biofilter ซึ่งก็คือวัสดุที่มีแบคทีเรียยึดเกาะอยู่ เช่นไนไตรฟายอิงแบคทีเรียจะสร้าง Lipopolysaccharide ออกมาเป็นเมือกจับกับพื้นผิวของตัวกรอง การยึดเกาะดังกล่าวอาจเรียกว่าการตรึง (Immobilization) เกิดเป็นชั้นเรียกว่าฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ที่สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่ไหลผ่านตัวกรองชีวภาพได้ แบคทีเรียในระบบบำบัดส่วนใหญ่จะเติบโตเพิ่มจำนวนในตัวกรองชีวภาพ โดยเฉพาะไนไตรฟายอิงแบคทีเรียซึ่งมีอัตราการเจริญช้า จึงต้องใช้การตรึงเซลล์แบคทีเรียกับวัสดุเพื่อนำมาใช้เป็นตัวกรองชีวภาพ การเกาะของแบคทีเรียบนผิวดักรองจะกลายเป็นชั้นหนาขึ้นเรื่อยๆ



ภาพที่ 3 การเพิ่มความหนาของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ที่เกาะบนตัวกรองชีวภาพที่ระยะเวลาต่างๆ
ที่มา: สุธาสินี (2546)

วัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองชีวภาพ ต้องพิจารณาถึงด้านกายภาพของผิวตัวกรองซึ่งมีความสำคัญต่อการยึดเกาะของแบคทีเรีย ยิ่งใช้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวมาก มีความพรุนหรือขรุขระ ปริมาณแบคทีเรียที่ยึดเกาะจะมากตามไปด้วย

มูทิตาและคณะ (2546) ศึกษาผลของการใช้ตัวกรองชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเส้นใยพลาสติกสานเป็นรูปท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 เซนติเมตร ในบ่อเลี้ยงปลาทึบขนาด 30x30x1.2 เมตร จังหวัดปทุมธานี โดยจัดให้มีบ่อควบคุมที่มีการเติมอากาศผ่านสายยางพลาสติก ที่วางพาดจากขอบบ่อด้านหนึ่งไปยังฝั่งตรงข้าม ตลอดระยะความยาวของบ่อเป็นแถวขนานกันจำนวน 10 แถว เป่าอากาศผ่านหัวทรายเติมอากาศที่ต่ออยู่กับสายท่ออากาศทุกๆ ระยะ 1.5 เมตร โดยที่หัวทรายทุกหัวจะถูกต่อท่อให้หย่อนลงไปในน้ำที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับบ่อชุดทดลองจะมีระบบเติมอากาศแบบเดียวกับบ่อชุดควบคุมทุกประการ แต่จะมีการผูกตัวกรองชีวภาพที่มีความยาวเส้นละ 27 เมตร กับไม้ไผ่ที่ปักอยู่เป็นแนวเพื่อตรึงให้ตัวกรองจมลงได้ระดับผิวน้ำประมาณ 10 ซม. จัดเป็น 10 แถว วางตัวขนานในแนวเดียวกับท่อเติมอากาศ และจัดแนวให้ฟองอากาศที่พุ่งออกมาจากหัวทรายขึ้นผ่านที่ตัวกรองชีวภาพ ปล่อยปลาทึบทึมน้ำหนักเริ่มต้นตัวละ 5.9 กรัม ความหนาแน่น 11 ตัว/ตารางเมตร ลงเลี้ยงในบ่อทดลองทั้งสองบ่อ มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ (สารอาหาร ฟิเอช ออกซิเจนละลายน้ำ อัลคาไลน์ิตี บีโอดี ความโปร่งแสงของน้ำ คลอโรฟิลล์-เอ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์) ทุก 2 สัปดาห์ และสุ่มชั่งวัดปลาทุก 4 สัปดาห์ตลอดระยะเวลาทดลอง 140 วัน ผลการทดลองพบว่าตัวกรองชีวภาพสามารถช่วยลดแอมโมเนียในน้ำของบ่อทดลอง ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในบ่อชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) แต่ประสิทธิภาพของตัวกรองยังไม่เพียงพอที่จะบำบัดแอมโมเนียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในบ่อ ส่วนคุณภาพน้ำอื่นๆ ของทั้งสองบ่ออยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยง

สัตว์น้ำ ผลผลิตปลาที่จับได้จากบ่อทดลองทั้งสองบ่อไม่แตกต่างกัน โดยได้ผลผลิตปลาในบ่อทดลอง 4,320 กิโลกรัม/ไร่ และในบ่อควบคุม 4,368 กิโลกรัม/ไร่ อัตราแลกเนื้อในบ่อทดลองเป็น 1.27 และในบ่อควบคุมเป็น 1.24

1. วัสดุตัวกลาง (Supporting Media)

สิทธิโชค (2547) กล่าวว่าวัสดุตัวกลาง (Supporting Media) คือ วัสดุที่ใส่ลงไปในระบบบำบัด เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโต วัสดุตัวกลางมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากวัสดุตัวกลางมีส่วนช่วยในการกักชีวมวลไว้ในระบบบำบัด โดยชีวมวลจะเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุตัวกลาง ในการเลือกวัสดุหรือชนิดของวัสดุตัวกลางจึงมีความสำคัญมาก ดังนั้นในการสร้างและออกแบบระบบบำบัดเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดำเนินงานสูงควรต้องคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุตัวกลางที่จุลินทรีย์สามารถเกาะได้ดี อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันหรือการไหลล้นวงจรภายในระบบ ซึ่งอาจจะเลือกใช้วัสดุต่างๆ ได้แก่ หิน ถ่านหิน อิฐ แก้ว ดินเหนียว เปลือกหอย และวัสดุสังเคราะห์พลาสติก เป็นต้น

(1) วัสดุตัวกลางสังเคราะห์

ปัจจุบันวัสดุตัวกลางสังเคราะห์กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีความเข้มข้นสูง วัสดุตัวกลางสังเคราะห์สามารถผลิตได้จากวัสดุต่างๆ หลายชนิด เช่น พลาสติก เซรามิก และโลหะ เป็นต้น ขนาดและรูปร่างของวัสดุสังเคราะห์จะมีหลากหลายชนิด เช่น ทรงกระบอก ทรงกลม รูปรี ขี่ ขนาดตั้งแต่ชิ้นขนาดเล็กๆ จนกระทั่งถึงขนาดใหญ่ก็ได้ ไม่ว่าจะขนาดและรูปร่างอย่างไรทุกแบบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก มีช่องว่างมากน้ำหนักเบา และไม่อุดตัน

(2) วัสดุตัวกลางธรรมชาติ

จากคุณสมบัติของวัสดุตัวกลางข้างต้น นอกจากวัสดุตัวกลางสังเคราะห์แล้วยังสามารถนำวัสดุตามธรรมชาติที่มีคุณสมบัติของวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางธรรมชาติเพื่อทดแทนวัสดุตัวกลางสังเคราะห์ เพราะวัสดุตัวกลางสังเคราะห์ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจตามมา ได้แก่ ปัญหาขยะมูลฝอยพลาสติก และปัญหาคาซังการค้ำ เป็นต้น วัสดุตัวกลางธรรมชาติธรรมชาติบางชนิดมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือมากกว่าวัสดุตัวกลางสังเคราะห์ ตัวอย่างวัสดุตัวกลางธรรมชาติ ได้แก่ หิน กรวด อิฐหัก ไม้ ไม้ไผ่ ดินเหนียว กระเบื้องเผา เชือกและเปลือกหอย เป็นต้น

Mohammad and Emmanuel (2000) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของ biofilter media (polypropylene plastic chips และ polyethylene blocks) ซึ่งเป็นการทดสอบเป็นเวลา 172 วัน สำหรับความสัมพันธ์ในการบำบัดแอมโมเนีย, คุณภาพน้ำ, การสะสมของเสีย, ต้นทุน, การเจริญเติบโต, การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ, อัตราการรอดและการผลิตพันธุ์ปลา ผลที่ได้นั้นแสดงอัตราไนตริฟิเคชัน (กระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียซึ่งมีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยอาศัยทำหน้าที่ของแบคทีเรีย) และ parameter คุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ระหว่างสื่อตัวกรองทั้ง 2 สื่อตัวกรองทั้ง 2 มีประสิทธิภาพในการดึงเอาความเป็นพิษของแอมโมเนียและการรักษาคุณภาพ parameter ที่มีการยอมรับและ

มีขีดจำกัดความปลอดภัยสำหรับการเจริญเติบโตและการรอด อย่างไรก็ตามจะมีการประหยัมากกว่าเมื่อใช้ plastic chips ที่มีราคาถูก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เมื่อมีการทดลองระหว่าง chip และ block ในค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัว (264.1 และ 267.4 g. , ตามลำดับ) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (1.17 และ 1.18 g. /ปลา/วัน) , FCR (2.04 และ 1.98 , ตามลำดับ) และอัตราการรอด (97.6 และ 98.2% , ตามลำดับ) กำลังการผลิตเฉลี่ยของปลา tilapia 215.0 kg.

2. फिल्मชีวภาพ (Biofilms)

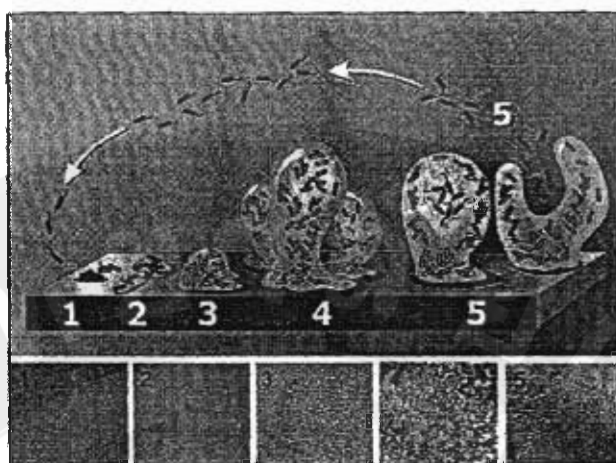
สิทธิโชค (2547) กล่าวว่าฟิล์มชีวภาพหรือชีวฟิล์ม หมายถึง กลุ่มเซลล์ของจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นและขับออกมานอกเซลล์ (Extracellular Polymer) โดยยึดเกาะอยู่บนผิวของของแข็ง (Substratum) ซึ่งของแข็งที่ใช้เป็นตัวยึดเกาะของจุลินทรีย์ อาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ได้

3. กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ

จากการศึกษาสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และจุลินทรีย์ที่เกาะติดกับพื้นผิววัสดุ (Fixed film) ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะกับตัวกลางนั้น มีความสามารถเกาะติดกับพื้นผิววัสดุได้ทุกสภาพ โดยจะมีความสามารถในการเกาะติดกับวัสดุที่มีความหยาบได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ ซึ่งการเจริญเติบโตของฟิล์มชีวภาพบนผิวของตัวกลางเป็นผลมาจากการบวนการทางกายภาพ และชีววิทยา ดังนี้

- | | |
|--------------|---|
| ขั้นตอนที่ 1 | การขนส่ง (Transportation) และการดูดซับ (Absorption) ของโมเลกุลสารอินทรีย์ไปยังผิวของตัวกลาง |
| ขั้นตอนที่ 2 | การขนส่ง (Transportation) ของเซลล์จุลินทรีย์ไปยังผิวของตัวกลาง |
| ขั้นตอนที่ 3 | การเกาะยึด (Attachment) ของจุลินทรีย์ |
| ขั้นตอนที่ 4 | การแปลงรูป (Transformation) ของจุลินทรีย์เป็นฟิล์มชีวภาพ ณ บริเวณผิวของตัวกลาง |
| ขั้นตอนที่ 5 | การหลุด (Detachment) ของฟิล์มชีวภาพบางส่วน เนื่องจากแรงเฉือนของน้ำ |

คุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพที่เกาะบนผิวของวัสดุต่างๆ นั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการเช่น ชนิดของสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านผิวของวัสดุ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ลักษณะผิววัสดุที่ฟิล์มชีวภาพยึดเกาะ เป็นต้น

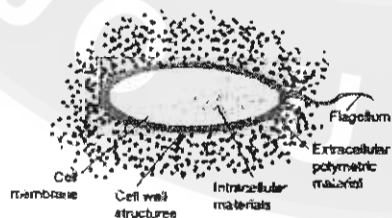


ภาพที่ 4 กระบวนการเกิดฟิล์มชีวภาพ

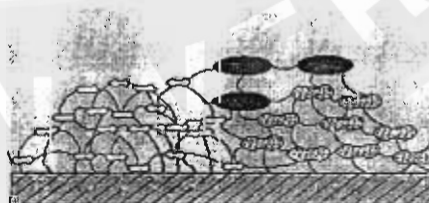
ที่มา: สิทธิโชค (2547)

4. การเกาะยึดของฟิล์มชีวภาพ

กลไกในการเกาะยึดของจุลินทรีย์มีด้วยกันหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์จะสร้างเส้นใยขนาดเล็กรอบตัวเซลล์ เส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับกันแน่นกับเส้นใยของเซลล์อื่นๆ ทำให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดหนาเป็นฟิล์มบนผิวตัวกลางได้ เส้นใยเหล่านี้ประกอบด้วย Polysaccharides และ Glycoprotein เรียกเส้นใยเหล่านี้ว่า Glycocalyx เป็นเส้นใยสายโมเลกุลน้ำตาลชนิดที่มีกิ่ง (Branching sugar molecules) ตัวเซลล์ของจุลินทรีย์จะฝังจมอยู่ในเส้นใยดังกล่าวการรับสารอาหารและอากาศจะซึมผ่านเส้นใย โดยที่เส้นใยมีเอนไซม์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ทำให้โมเลกุลเล็กลงก่อนที่จะเข้าสู่เซลล์ จุลินทรีย์ และจุลินทรีย์จะสามารถเกาะติดกับวัสดุที่มีความหยาบได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ



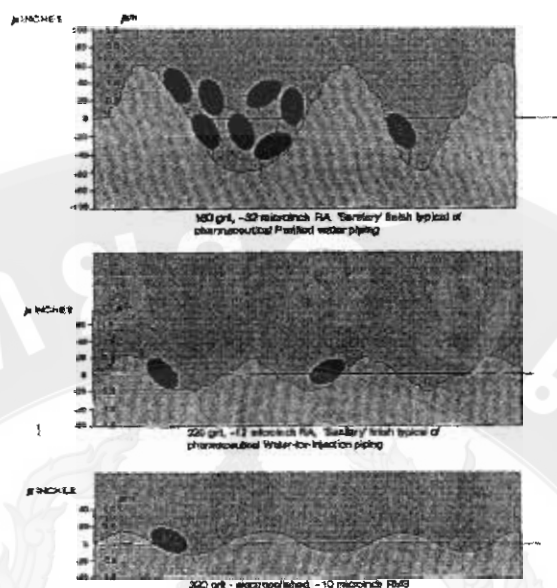
[A]



[B]

ภาพที่ 5 (A) เซลล์ของจุลินทรีย์ (B) ลักษณะการยึดเกาะของจุลินทรีย์

ที่มา: สิทธิโชค (2547)



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบการเกาะยึดของจุลินทรีย์บนวัสดุที่มีลักษณะพื้นผิวแตกต่างกัน

ที่มา: สิทธิโชค (2547)

5. การดำรงชีพของจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพ

เซลล์ของจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนผิววัสดุ จะนำสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เข้าสู่เซลล์ เช่น สารอาหารออกซิเจน และตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) พลังงานที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม จุลินทรีย์จะนำไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ ซ่อมแซมโครงสร้างภายในเซลล์ การเจริญเติบโต และสร้างผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่เซลล์สร้างขึ้นนี้มีทั้งส่วนที่คงอยู่ในฟิล์มชีวภาพ เช่น Extracellular polysaccharide และแพร่ออกสู่ชั้นของเหลว

กระบวนการต่างๆ จะสามารถดำเนินต่อไปได้ เซลล์จะต้องอยู่ในที่ที่มีสารอาหารเพียงพอ ฟิล์มชีวภาพที่อยู่ในสถานะที่มีสารอาหารน้อยจะบางกว่าฟิล์มชีวภาพที่อยู่ในที่ที่มีสารอาหารมาก ถ้าบริเวณผิวของฟิล์มชีวภาพมีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ สารอาหารจะแพร่ออกไปในฟิล์มชีวภาพได้ไม่มากนัก ทำให้เซลล์ที่อยู่ลึกลงไปไม่สามารถดำรงชีพได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฟิล์มชีวภาพบาง แต่ถ้าที่ผิวฟิล์มชีวภาพมีสารอาหารมากเพียงพอที่จะเกิดการสะสมของฟิล์มชีวภาพขึ้น ทั้งจากการแบ่งเซลล์ของเซลล์ที่เกาะอยู่เดิม และเซลล์ใหม่ที่เข้ามาเกาะ เมื่อถึงจุดความหนาวิกฤติ (Critical thickness) ก็จะเกิดการหลุดลอกของฟิล์มชีวภาพ

6. ความหนาแน่นของจุลินทรีย์

เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มชีวภาพจะประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ คือประมาณ 87-69% โดยน้ำหนัก และเซลล์จุลินทรีย์ยังประกอบด้วยน้ำสูงถึง 90% ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific

Gravity) ของฟิล์มชีวภาพจึงใกล้เคียงกับน้ำ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพ จะขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมต่างๆ เช่น ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน อุณหภูมิ และชั้นความหนาของฟิล์มชีวภาพ

การเกาะติดของฟิล์มชีวภาพเมื่อมีความหนามาก ลักษณะชั้นของฟิล์มชีวภาพอาจแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ แอโรบิก และแอนแอโรบิก ดังแสดงในโดยความหนาของชั้นแอโรบิกประมาณ 250-300 ไมโครเมตร โดยความหนาของชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งฟิล์มชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ การกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นเฉพาะผิวนอกบางๆ เท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบกำจัด สามารถทำได้โดยเพิ่มความหนาของชั้นแอโรบิก

7. กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวภาพ ในการกำจัดสารอินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพ จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การขนส่งสารให้อิเล็กตรอนและออกซิเจน โดยจะถ่ายเทผ่านผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและผิวน้ำของฟิล์มชีวภาพ

2. สารอินทรีย์และออกซิเจนละลายน้ำแพร่ (Diffusion) ผ่านผิวสัมผัสสู่ชั้นของฟิล์มชีวภาพ

3. เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี มีการใช้สารอินทรีย์และออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ในชั้นของฟิล์มชีวภาพ

4. การแพร่ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาชีวเคมี คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำไปยังผิวของฟิล์มชีวภาพที่สัมผัสกับของเหลว และจะแพร่สู่ชั้นของของเหลว

แต่อย่างไรก็ตามในน้ำเสีย จะมีอนุภาคของสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถแพร่กระจายได้ปะปนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งอนุภาคของสารอินทรีย์นี้จะถูกกำจัดโดยชั้นแรกจะเข้าไปเกาะที่ผิวของฟิล์มชีวภาพ และจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์อยู่ภายนอกฟิล์มชีวภาพ เมื่อกลายเป็นสารละลายถึงสามารถแพร่เข้าสู่ชั้นของฟิล์มชีวภาพต่อไป (สิทธิโชค, 2547)

สุวิมล (2545) ได้ทดลองพัฒนาระบบบำบัดไนเตรทสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม โดยใช้ระบบบำบัดแบบท่อยาวที่ภายในบรรจุด้วยวัสดุพลาสติกทรงกลมสำหรับเป็นที่ยึดอาศัยของแบคทีเรีย งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 การทดลองโดยการทดลองแรกเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในถังปฏิกรณ์ขนาด 1 ลิตร ที่สร้างขึ้นจากพลาสติกอคริลิกใสภายในบรรจุวัสดุทรงกลมและน้ำเสียเทียมที่มีความเข้มข้นของไนเตรตตั้งแต่ 20-60 $mgNO_3-N/L$ หลังจากการเติมเมธานอลเป็นแหล่งคาร์บอนพบว่าแบคทีเรียในระบบสามารถลดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลงได้ด้วยอัตรา $1.252.30 \text{ microgram } O_2/bioball/h$ และเมื่อ DO ลดลงต่ำกว่า $1 \text{ mg } O_2/L$ จึงตรวจพบการลดลงของไนเตรทโดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเท่ากับ $1.46 \text{ } 13.69 \text{ microgram } NO_3-N/bioball/h$ และค่าศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 mV และเมื่อค่า ORP ต่ำกว่า 300 mV จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในระบบ สำหรับการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อความยาว 25 m ซึ่งภายในบรรจุวัสดุทรงกลมโดยอาศัยแบคทีเรียในส่วนต้นของท่อในการลดปริมาณออกซิเจนให้ต่ำลงจนถึงระดับที่ทำให้

เกิดปฏิกิริยาดีในไตรฟิเคชันได้ในส่วนปลายของท่อ พบว่ายังมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากแม้ว่าระบบจะสามารถลดปริมาณออกซิเจนให้ลดลงต่ำในส่วนปลายท่อได้ แต่เนื่องจากท่อที่สั้นเกินไปทำให้มีระยะเวลาเก็บน้ำในท่อไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาดีในไตรฟิเคชันที่สมบูรณ์ ในการทดลองส่วนที่ 3 ได้เพิ่มความยาวของระบบบำบัดแบบท่อขึ้นเป็น 50 m พบว่าระบบสามารถบำบัดในเตรทได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในช่วงแรกที่เกิดระบบโดยมีระยะเวลากักเก็บเท่ากับ 2.3 ชั่วโมง และมีการเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบจะทำให้เกิดการลดลงของไนเตรทแต่เกิดการสะสมไนไตรท์ขึ้นมาแทนซึ่งแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดีในไตรฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บเป็น 4.2 ชั่วโมง พบว่าระบบสามารถบำบัดในเตรทได้อย่างสมบูรณ์โดยมีค่า ORP ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาดีในไตรฟิเคชันอยู่ระหว่าง 0 ถึง 200 mV และเมื่อนำระบบบำบัดในเตรทมาต่อเข้ากับบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 352 ลิตร โดยปรับตั้งสถานะของระบบบำบัดตามการทดลองที่ได้ทำไว้ก่อน พบว่าระบบบำบัดแบบท่อยาวสามารถบำบัดในเตรทได้โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด 84-97% โดยเป็นปฏิกิริยาดีในไตรฟิเคชันที่สมบูรณ์ และระหว่างการบำบัดไม่พบการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมทั้งน้ำที่ผ่านออกจากระบบบำบัดไม่มีผลกระทบต่อกุ้งที่เลี้ยงอยู่ในถัง

วิธีการวิจัย และวิธีดำเนินการ

การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาบู่ระบบปิด โดยในการทดลองนี้จะแบ่งย่อยออกเป็น 2 หน่วยการทดลองดังนี้

หน่วยการทดลองที่ 1.1 ผลของความหนาแน่นที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของการเลี้ยงปลาบู่

อุปกรณ์การดำเนินการ

1. บ่อซีเมนต์ ขนาด 80×140 เมตร (แบ่งออกเป็น 4 ช่อง)
2. ปลาบู่ ขนาดเฉลี่ย 80-120 กรัม
3. อุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพน้ำ
4. สารเคมี
5. อุปกรณ์เก็บข้อมูลน้ำหนัก

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลอง CRD โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองชีว

ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น

ชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว

ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่นต่างกัน โดยเก็บข้อมูลทุก

สัปดาห์ จำนวน 4 ครั้ง โดยนำผลการทดลอง 1 ที่ได้ผลที่ดีที่สุดมาศึกษาในการทดลองที่ 2

ศึกษาการเจริญเติบโต

- อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน, ADG)

น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) – น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม)

จำนวนวันที่ทำการทดลอง

- น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Mean Weight Gain)

น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) – น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง (กรัม)

- อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)

น้ำหนักสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

- อัตราการรอด (Survival rate) เปอร์เซนต์

จำนวนปลาทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง × 100

การศึกษาคุณภาพน้ำ

- อุณหภูมิ
- pH
- DO
- ไนโตรเจน
- ไนเตรท
- แอมโมเนีย
- ฟอสฟอรัส

ตารางที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมี

คุณภาพน้ำที่ตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบ
- แอมโมเนียม ไนโตรเจน	- Phenol Method
- ไนโตรเจน ไนโตรเจน	- Reddish purple azo dye
- ไนเตรท ไนโตรเจน	- Cadmium Reduction
- ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัส	- Stannous chloride
- DO	- ใช้เครื่อง YSI
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	- ใช้เครื่อง YSI

หน่วยการทดลองที่ 1. 2 ผลของความหนาแน่นที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของการเลี้ยงปลาน้ำ
แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลาน้ำที่ความหนาแน่น 10 ตัว

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลาน้ำที่ความหนาแน่น 15 ตัว

ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลาน้ำที่ความหนาแน่นต่างกัน โดยเก็บข้อมูลทุกสัปดาห์ จำนวน 4 ครั้ง

ศึกษาการเจริญเติบโต

อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน, ADG)

น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Mean Weight Gain)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

อัตราการรอด (Survival rate) เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลอง Duncan's Multiple Range Test. (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS วิเคราะห์การเจริญเติบโต และอัตราการรอดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 2 การใช้วัสดุตัวกลางชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานู๋ทรายระบบปิด

ซึ่งนำปลานู๋ทรายทะเลเพศขนาดน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 41.01 ± 5.20 - 67.95 ± 9.98 กรัม ซึ่งรวบรวมจากธรรมชาติ นำปลามาพักในบ่อซีเมนต์ขนาด $0.5 \times 1 \times 0.5$ เมตร โดยก่อนเริ่มการทดลองจะมีการฝึกให้ปลากินอาหารสำเร็จรูปให้อาหาร 1 มื้อ วันเว้นวัน ฝึกจนกว่าปลาจะกินอาหารเป็นแล้วจึงเริ่มการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานู๋ทราย ได้วางแผนการทดลองแบบ Factorial 3×3 แบ่งการทดลองออกเป็น 9 หน่วยการทดลอง การทดลองละ 4 ซ้ำ

การทดลองที่ 2.1 การศึกษาผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตของปลานู๋ทราย

โดยการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ซึ่งทำการเลี้ยงปลานู๋ในถังเปลี่ยนขนาดบรรจุน้ำ 135 ลิตร เติมน้ำ 85 ลิตร ต่อเข้ากับระบบกรองปล่อยให้ระบบทำงานก่อน 5 วัน แล้วจึงปล่อยปลาในความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 6 10 และ 14 ตัว/ตารางเมตร ใช้วัสดุกรองที่แตกต่างกัน คือไบโอบอล ดาข่ายพรงแสงและเนื้อวน โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ ระยะเวลาในการเลี้ยงเวลา 70 วัน

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลานู๋ในบ่อที่ความหนาแน่น 6 ตัว/ตารางเมตร

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลานู๋ในบ่อที่ความหนาแน่น 10 ตัว/ตารางเมตร

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงปลานู๋ในบ่อที่ความหนาแน่น 14 ตัว/ตารางเมตร

ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานู๋ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO), ความเป็นด่างของน้ำ (Alkalinity), อุณหภูมิ, แอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท, ฟอสฟอรัสและ Total solids (TS) โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 14 วันเวลา 08.00 น. แล้วนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

การทดลองที่ 2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางต่อคุณภาพน้ำและอัตราการเจริญเติบโตของปลานู๋ทราย

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง โดยนำกล่องพลาสติกขนาด $35 \times 47 \times 27$ เซนติเมตรใช้เป็นถังกรอง แบ่งครึ่งโดยด้านหนึ่งบรรจุวัสดุกรอง ปริมาตรระบบบำบัด 8.5 ลิตร อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวกรอง 9.5 ลิตร /นาทีก และมีใยแก้ววางด้านบนเพื่อกรองตะกอนแขวนลอย อีกด้านหนึ่งจะเป็นส่วนของที่

พักน้ำ โดยจะใช้ปั๊มสูบน้ำจากถังเลี้ยงเข้าระบบกรองและให้น้ำไหลออกจากระบบกรองโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงแบ่งชุดการทดลองออกเป็น ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 วัสดุกรองใบโอบอล 182 ลูก

ชุดการทดลองที่ 2 วัสดุกรองตาข่ายพรางแสง 80% ขนาด 34×60 เซนติเมตร จำนวน 9 แผ่น

ชุดการทดลองที่ 3 ถังกรองจะบรรจุวัสดุกรองเนื้ออวน ขนาด 30 ×60 เซนติเมตร จำนวน 9 แผ่น

ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ(DO), ความเป็นด่างของน้ำ(Alkalinity), อุณหภูมิ, แอมโมเนีย, ไนโตรเจน, ไนเตรท, ฟอสฟอรัสและ Total solids (TS) โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 14 วันเวลา 08.00 น. แล้วนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

การทดลองส่วนที่ 3 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของการเลี้ยงปลาในระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนที่ความหนาแน่นและการใช้วัสดุกรองที่ต่างกัน

การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

- ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน, ADG),
- น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Mean Weight Gain)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพ

- ประสิทธิภาพการกำจัด (Removal efficiency) (E) = $\frac{\text{อัตราการกำจัดของเสีย}}{\text{อัตราการระของเสีย}} \times 100$

การวิเคราะห์คุณสมบัติ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	อ้างอิง	
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)	Azide modification	สมศักดิ์ และสุฤทธิ์, มปป.	
ความเป็นด่างของน้ำ(Alkalinity)	Phenolphthalein methyl Orange Indicator	สมศักดิ์ และสุฤทธิ์, มปป.	การวิเคราะห์
อุณหภูมิและอากาศ	Thermometer		ระ
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	Phenol method	สมศักดิ์ และสุฤทธิ์, มปป.	ห้
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	Reddish purple azo dye	สมศักดิ์ และสุฤทธิ์, มปป.	ข้อมูล
ไนเตรท-ไนโตรเจน	Cadmium reduction method	ศิริเพ็ญ, 2543	ล
ฟอสฟอรัส	Stannous chloride	สมศักดิ์ และสุฤทธิ์, มปป.	ทาง
Total solids (TS)	Gravimetric method	ไพฑูรย์, มปป	สถิติ
Dissolved Solids (DS)	Gravimetric method	ไพฑูรย์, มปป	
Suspended Solids (SS)	Gravimetric method	ไพฑูรย์, มปป	

เคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของตัวแปรโดยนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ตารางที่ 3 การทดลองศึกษาการเจริญเติบโตของปลาน้ำจืดที่เลี้ยงด้วยวัสดุรองที่แตกต่างกันที่ระดับความหนาแน่นที่แตกต่าง

หน่วยทดลองที่	ปัจจัย	
	ความหนาแน่น(ตัว/ตารางเมตร)	ชนิดวัสดุรอง
1	6	ไบโอบอล
2	6	ดาข่ายบังแสง
3	6	เนื้อวน
4	10	ไบโอบอล
5	10	ดาข่ายบังแสง
6	10	เนื้อวน
7	14	ไบโอบอล
8	14	ดาข่ายบังแสง
9	14	เนื้อวน



ภาพที่ 7 บ่อทดลองเลี้ยงปลานู๋



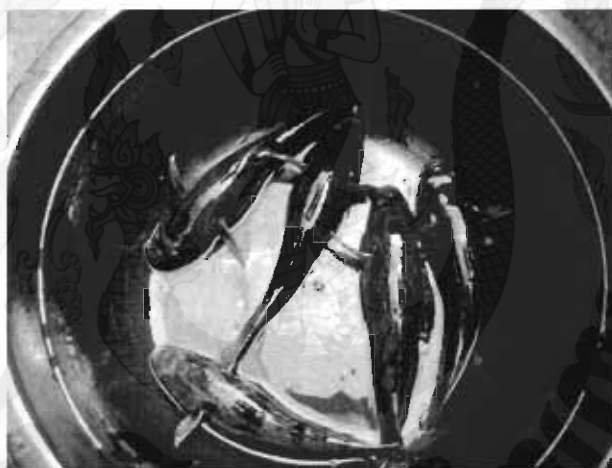
ภาพที่ 8 ระบบกรองน้ำ



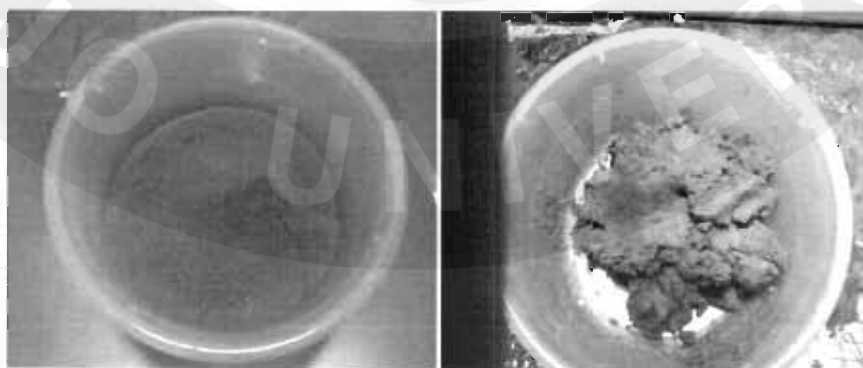
ภาพที่ 9 ปลานู๋ทรายที่ใช้ในการทดลอง



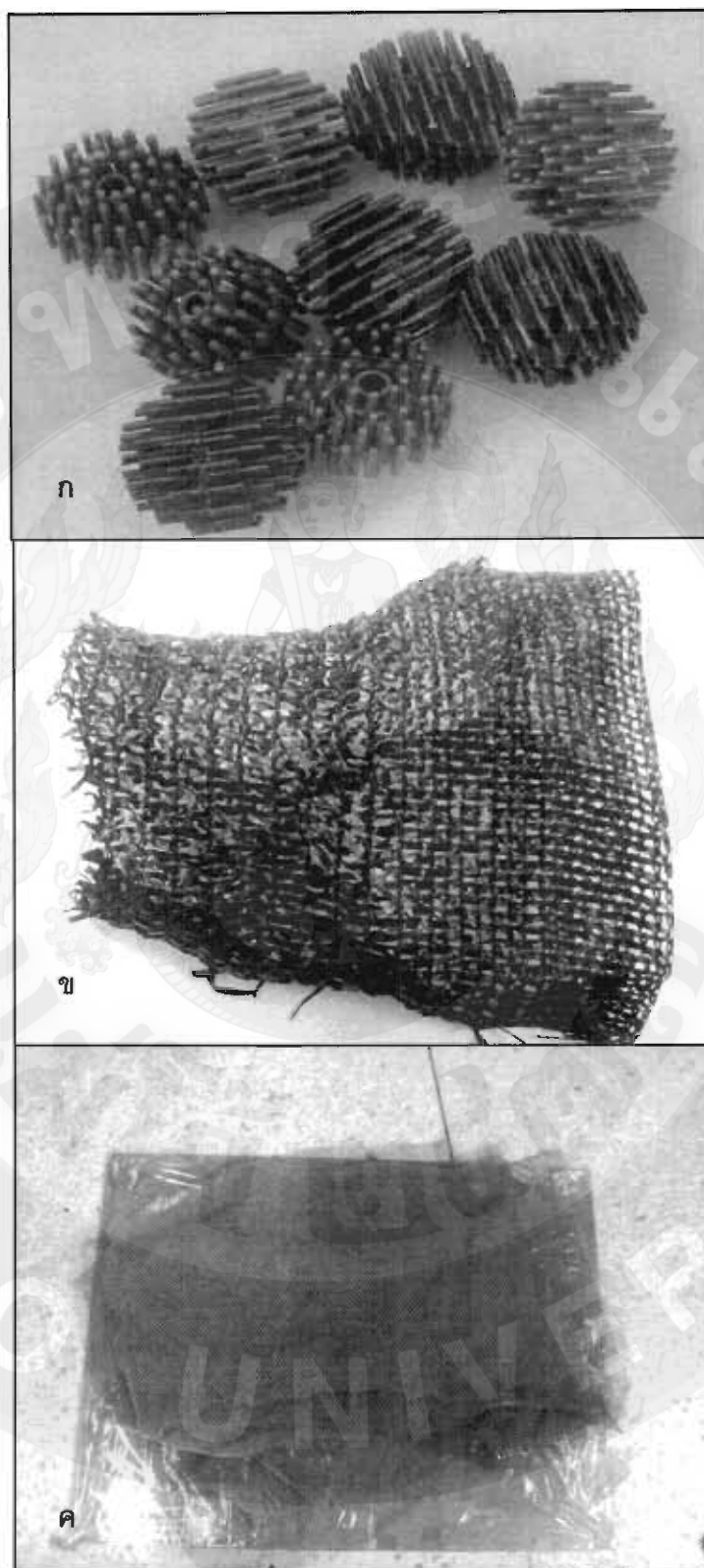
ภาพที่ 10 การเก็บข้อมูลน้ำหนัก



ภาพที่ 11 ปลาบู่ทรายที่ใช้ในการทดลองที่ฝึกให้กินอาหารสำเร็จรูปแล้ว



ภาพที่ 12 การทำอาหารที่ให้ปลาบู่ทรายกิน



ภาพที่ 13 วัสดุรองที่ใช้ในการทอ ก. วัสดุรองไบโอบอล ข. วัสดุรองตาข่ายพรางแสง ค. วัสดุรอง
เนื้ออวน

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยส่วนที่ 1 : ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของการเลี้ยงปลาในระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

จากการศึกษาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาลูเลียงในระบบปิด ที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน และที่ระบบกรองน้ำต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาลูเลียงที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาลูเลียงที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรอง แสตน และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาลูเลียงที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรอง ไบแก้ว น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 100, 120 และ 80 กรัม จากการศึกษาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นพบว่าชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มขึ้น เท่ากับ 32.14 ± 16.34 , 21.63 ± 7.14 และ 18.6 ± 10.87 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 (ตารางที่ 4)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

จากการศึกษาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลาลูเลียงในระบบปิด ที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน และที่ระบบกรองน้ำต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาลูเลียงที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาลูเลียงที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรอง แสตน และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาลูเลียงที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรอง ไบแก้ว น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 100, 120 และ 80 กรัม จากการศึกษอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่าชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.40 ± 0.12 , 2.50 ± 0.25 และ 1.94 ± 0.18 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 (ตารางที่ 4)

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG)

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) ของปลาน้ำจืดเลี้ยงในระบบปิด ที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน และที่ระบบกรองน้ำต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรอง แสลง และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรอง ใยแก้ว น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 100, 120 และ 80 กรัม จากการศึกษอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.07 ± 0.20 , 0.72 ± 0.09 และ 0.62 ± 0.08 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตต่อวันวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตต่อวันดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 (ตารางที่ 4)

อัตราการรอด (SR)

จากการศึกษาอัตราการรอด (SR) ของปลาน้ำจืดเลี้ยงในระบบปิด ที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน และที่ระบบกรองน้ำต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรอง แสลง และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรอง ใยแก้ว น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 100, 120 และ 80 กรัม จากการศึกษอัตราการรอด พบว่าชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.33, 76.07 และ 60.00 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลอัตราการรอดวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มอัตราการรอดดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 3 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอด หลังสิ้นสุดการทดลอง ของการเลี้ยงปลาบู่ ที่ความหนาแน่น 5, 10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองชีวกรอง แสตน และกรองใยแก้ว

ชุดทดลอง	น้ำหนัก เริ่ม (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)	FCR	ADG	SR (%)
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองชีว	100	132.14	32.14±16.34 ^a	1.4±0.12 ^a	1.07±0.2 ^a	73.33
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแสตน	120	141.63	21.63±7.14 ^{ab}	2.5±0.25 ^a	0.72±0.09 ^b	76.67
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	80	98.6	18.6±10.87 ^b	1.94±0.18 ^{ab}	0.62±0.20 ^b	60.00

หมายเหตุ ± SD, ตัวอักษรที่เหมือนกันคือไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ตัวอักษรที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างทางสถิติ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลาบู่ที่อัตราความหนาแน่นและระบบการกรองน้ำที่ต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองชีว ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแสตน และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบู่ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว เก็บข้อมูล 4 ครั้ง จากการศึกษปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ครั้งที่ 1 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.73±0.80, 4.53±0.80 และ 3.8±0.003.8±0.00 ครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.13±0.89, 6.3±0.7 และ 5.4±0.85 ครั้งที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6±0.45, 6.1±0.36 และ 6.43±0.25 ครั้งที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.6±0.66, 3.97±0.85 และ 4.93±0.15 ตามลำดับ จากการศึกษพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำดีกว่าหน่วยการทดลองอื่น (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาตู้ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแกล่น และกรองใยแก้ว

Treatment	ครั้งที่เก็บข้อมูล			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ	4.73±0.80	6.13±0.89	6.60±0.45	3.60±0.66
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น	4.53±0.80	6.30±0.70	6.10±0.36	3.97±0.85
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	3.80±0.00	5.4±0.85	6.43±0.25	4.93±0.15

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นและระบบการกรองน้ำที่ต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว เก็บข้อมูล 4 ครั้ง จากการศึกษความเป็นกรด-ด่างในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ครั้งที่ 1 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.1 ± 0.79 , 7.53 ± 0.05 และ 6.76 ± 0.56 ครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.4 ± 0.43 , 7.54 ± 0.48 และ 6.9 ± 0.41 ครั้งที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.14 ± 0.01 , 7.14 ± 0.01 และ 7.15 ± 0.01 ครั้งที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.86 ± 0.09 , 7.85 ± 0.01 และ 7.75 ± 0.13 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ความเป็นกรด-ด่างของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาตู้ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแกล่น และกรองใยแก้ว

Treatment	ครั้งที่เก็บข้อมูล			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ	7.10±0.79	7.40±0.43	7.14±0.01	7.86±0.09
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น	7.55±0.05	7.54±0.48	7.14±0.01	7.85±0.01
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	6.76±0.56	6.90±0.41	7.15±0.01	7.75±0.13

อุณหภูมิ

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นและระบบการกรองน้ำที่ต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว เก็บข้อมูล 4 ครั้ง จากการศึกษาอุณหภูมิในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ครั้งที่ 1 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.00 ± 0.00 , 27.00 ± 0.00 และ 27.00 ± 0.00 ครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.00 ± 0.00 , 28.00 ± 0.00 และ 28.00 ± 0.00 ครั้งที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.00 ± 0.00 , 27.00 ± 0.00 และ 27.00 ± 0.00 ครั้งที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.00 ± 0.00 , 27.00 ± 0.00 และ 27.00 ± 0.00 ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปริมาณอุณหภูมิน้ำของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาตู้ ที่ความหนาแน่น 5, 10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแกล่น และกรองใยแก้ว

Treatment	ครั้งที่เก็บข้อมูล			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ	27.00 ± 0.00	28.00 ± 0.00	27.00 ± 0.00	27.00 ± 0.00
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น	27.00 ± 0.00	28.00 ± 0.00	27.00 ± 0.00	27.00 ± 0.00
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	27.00 ± 0.00	28.00 ± 0.00	27.00 ± 0.00	27.00 ± 0.00

ไนโตรท์

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นและระบบการกรองน้ำที่ต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว เก็บข้อมูล 4 ครั้ง จากการศึกษาปริมาณไนโตรท์ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ครั้งที่ 1 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 ± 0.05 , 0.18 ± 0.02 และ 0.15 ± 0.016 ครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 ± 0.04 , 0.20 ± 0.19 และ 0.216 ± 0.19 ครั้งที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ± 0.03 , 0.07 ± 0.06 และ 0.017 ± 0.01 ครั้งที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 ± 0.02 , 0.04 ± 0.006 และ 0.037 ± 0.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ปริมาณไนโตรเจนของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาตู้ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแกล่น และกรองใยแก้ว

Treatment	ครั้งที่เก็บข้อมูล			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ	0.11±0.05	0.09±0.04	0.16±0.03	0.05±0.02
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น	0.18±0.02	0.20±0.19	0.07±0.06	0.04±0.01
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	0.15±0.02	0.22±0.19	0.02±0.01	0.04±0.02

ไนเตรท

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นและระบบการกรองน้ำที่ต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว เก็บข้อมูล 4 ครั้ง จากการศึกษานี้ปริมาณไนเตรทในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ครั้งที่ 1 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.078 ± 0.02 , 0.13 ± 0.01 และ 0.13 ± 0.08 ครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 ± 0.24 , 0.18 ± 0.10 และ 0.371 ± 0.28 ครั้งที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.008 ± 0.005 , 0.09 ± 0.01 และ 0.014 ± 0.004 ครั้งที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.016 ± 0.01 , 0.01 ± 0.004 และ 0.018 ± 0.01 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณไนเตรทของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาตู้ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแกล่น และกรองใยแก้ว

Treatment	ครั้งที่เก็บข้อมูล			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ	0.018±0.02	0.25±0.24	0.008±0.005	0.016±0.011
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกล่น	0.13±0.01	0.18±0.10	0.09±0.001	0.01±0.04
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	0.13±0.08	0.37±0.28	0.04±0.004	0.018±0.001

ฟอสฟอรัส

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นและระบบการกรองน้ำที่ต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแอสเลน และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว เก็บข้อมูล 4 ครั้ง จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ครั้งที่ 1 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 ± 0.005 , 0.07 ± 0.01 และ 0.092 ± 0.07 ครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 ± 0.04 , 0.07 ± 0.02 และ 0.13 ± 0.01 ครั้งที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ± 0.03 , 0.18 ± 0.09 และ 0.127 ± 0.11 ครั้งที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.051 ± 0.007 , 0.02 ± 0.003 และ 0.23 ± 0.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ปริมาณฟอสฟอรัสของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 5, 10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแอสเลน และกรองใยแก้ว

Treatment	ครั้งที่เก็บข้อมูล			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ	0.05 ± 0.005	0.09 ± 0.04	0.16 ± 0.03	0.051 ± 0.007
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแอสเลน	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.02	0.18 ± 0.09	0.02 ± 0.003
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	0.092 ± 0.07	0.13 ± 0.01	0.127 ± 0.110	0.23 ± 0.02

แอมโมเนีย

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นและระบบการกรองน้ำที่ต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแอสเลน และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว เก็บข้อมูล 4 ครั้ง จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ครั้งที่ 1 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.027 ± 0.014 , 0.012 ± 0.008 และ 0.03 ± 0.006 ครั้งที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.021 ± 0.021 , 0.064 ± 0.012 และ 0.02 ± 0.006 ครั้งที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.008 ± 0.007 , 0.013 ± 0.006 และ 0.01 ± 0.002 ครั้งที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.005 ± 0.002 , 0.01 ± 0.001 และ 0.04 ± 0.005 ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ปริมาณแอมโมเนียของแต่ละชุดการทดลองของการเลี้ยงปลาตู้ ที่ความหนาแน่น 5,10 และ 15 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ กรองแกลบ และกรองใยแก้ว

Treatment	ครั้งที่เก็บข้อมูล			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ	0.027±0.014	0.021±0.021	0.008±0.007	0.005±0.002
ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแกลบ	0.012±0.008	0.064±0.012	0.013±0.006	0.01±0.001
ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว	0.03±0.006	0.02±0.006	0.01±0.002	0.04±0.005

ผลการวิจัยส่วนที่ 2 ผลของการเจริญเติบโตและคุณภาพในการเลี้ยงปลาตู้ระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนที่ความหนาแน่น 10 และ 15 ตัวต่อตารางเมตร

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

จากการศึกษาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เท่ากับ 120 และ 80 กรัม จากการศึกษาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเพิ่มขึ้น เท่ากับ 21.63 ± 7.14 และ 18.6 ± 10.87 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 (ตารางที่ 12)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

จากการศึกษาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลาตู้ที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว จากการศึกษารัตการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 ± 0.25 และ 1.94 ± 0.18 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ชุดการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 (ตารางที่ 12)

อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG)

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) ของปลาที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 10 ตัว ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 15 ตัว จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 ± 0.09 และ 0.62 ± 0.08 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตต่อวันวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตต่อวันดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 (ตารางที่ 12)

อัตราการรอด (SR)

จากการศึกษาอัตราการรอด (SR) ของปลาที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 10 ตัว ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 15 ตัว จากการศึกษาอัตราการรอด พบว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 พบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.07 และ 60.00 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลอัตราการรอดวิเคราะห์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มอัตราการรอดดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอด หลังสิ้นสุดการทดลอง ของการเลี้ยงปลา ที่ความหนาแน่น 10 และ 15 ตัว

ชุดทดลอง	น้ำหนัก เริ่ม (กรัม)	น้ำหนัก สุดท้าย (กรัม)	น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)	FCR	ADG	SR (%)
ความหนาแน่น 10 ตัว	120 $\pm$ 5.21	141.63	21.63 $\pm$ 7.14 ^a	2.5 $\pm$ 0.25 ^a	0.72 $\pm$ 0.09 ^a	76.67 ^a
ความหนาแน่น 15 ตัว	80 $\pm$ 7.54	98.6	18.6 $\pm$ 10.87 ^b	1.94 $\pm$ 0.18 ^b	0.62 $\pm$ 0.20 ^b	60.00 ^b

หมายเหตุ $\pm$ SD, ตัวอักษรที่เหมือนกันคือไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ตัวอักษรที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบปิด ที่อัตราความหนาแน่นต่างกัน และที่ระบบกรองน้ำต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ 4 ครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุด

การทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรอง แสตน และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว น้ำหนักปลาเริ่มการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 100, 120 และ 80 กรัม ศึกษา น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอด จากการศึกษาค่าเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 32.14 ± 16.34 , 21.63 ± 7.14 และ 18.6 ± 10.87 กรัม อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 1.40 ± 0.12 , 2.50 ± 0.25 และ 1.94 ± 0.18 อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน เท่ากับ 1.07 ± 0.20 , 0.72 ± 0.09 และ 0.62 ± 0.08 และอัตราการรอด มีค่า 73.33, 76.67 และ 60.00 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพน้ำทำการศึกษา ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ในไตรท์ ในเตรท ฟอสฟอรัส และแอมโมเนีย พบว่าคุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการศึกษการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ กฎหมายและคณะ (2551) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกทะเลที่ความหนาแน่นต่างกัน 3 ระดับ เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปปลาดุกน้ำจืดเปอร์เซ็นต์โปรตีน ไม่น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ที่ความหนาแน่น 0.5 0.75 และ 1 ตัว/ลิตร ปล่อยู่มากปลาดุกทะเลน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 1.4 ± 0.2 กรัม ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 6.4 ± 0.3 เซนติเมตรในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 300 ลิตร บรรจุน้ำ 200 ลิตรชุดละ 3 ซ้ำ ให้กินอาหารสำเร็จรูปปลาดุกน้ำจืดจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง ระยะเวลาการเลี้ยง 120 วันและถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ทุกวันเมื่อสิ้นสุดการทดลองถูกปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 18.2 ± 2.2 , 16.6 ± 3.8 และ 12.6 ± 2.1 กรัม ตามลำดับ ความยาวเฉลี่ย 15.0 ± 0.6 , 14.4 ± 1.1 และ 13.2 ± 0.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งการเจริญเติบโตของปลาดุกทะเลทั้งด้านน้ำหนักและความยาวที่ความหนาแน่น 0.5 และ 0.75 ตัว/ลิตร แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนที่ระดับความหนาแน่น 1 ตัว/ลิตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) น้ำหนักเพิ่มต่อวันเท่ากับ 0.14 ± 0.01 , 0.13 ± 0.01 และ 0.09 ± 0.03 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 2.14 ± 0.07 , 2.06 ± 0.08 และ 1.81 ± 0.24 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ อัตราการรอดตายเท่ากับ 99.3 ± 0.6 , 97.3 ± 0.7 และ 82.3 ± 10.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า น้ำหนักเพิ่มต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างความหนาแน่น 0.5 และ 0.75 ตัว/ลิตรกับ 1 ตัว/ลิตร ส่วนอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อัตราการรอดตายที่เลี้ยงที่ความหนาแน่น 0.5 ตัว/ลิตร ไม่แตกต่างกับที่เลี้ยงความหนาแน่น 0.75 ตัว/ลิตร แต่แตกต่างจากที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1 ตัว/ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณาทั้งด้านการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของการทดลองในครั้งนี้แล้วที่ระดับความหนาแน่น 0.75 ตัว/ลิตร เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการเลี้ยง ผลจากการหาความสัมพันธ์ข้อบ่งชี้ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของปลาดุกทะเล พบว่าอัตราการกินอาหารของปลาต่อตัวต่อวันมีความสำคัญมากที่สุดดังนี้ น้ำหนักเพิ่มต่อวันผันแปรตามปัจจัยความหนาแน่น

อัตราการกินอาหารต่อตัวต่อวัน ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ และสอดคล้องกับประดิษฐ์ (2549) ทำการศึกษาผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตของลูกปลาไหลนาทคลองอนุบาลลูกปลาไหลนาในถังพลาสติกทรงกลมขนาดบรรจุ 500 ลิตร ด้วยอัตราความหนาแน่น 250, 350, 450 และ 550 ตัวต่อถัง ลูกปลาไหลนาที่มีความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น 4.09 ± 0.59 , 4.17 ± 0.47 , 4.10 ± 0.55 และ 3.97 ± 0.40 เซนติเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 0.08 ± 0.02 , 0.08 ± 0.02 , 0.08 ± 0.02 และ 0.08 ± 0.02 กรัม ตามลำดับ ให้อาหารผลสำเร็จรูปโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 112 วัน มีความยาวเฉลี่ย 11.09 ± 1.06 , 11.27 ± 1.07 , 11.34 ± 1.11 และ 11.54 ± 1.21 เซนติเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.02 ± 0.35 , 0.09 ± 0.35 , 1.13 ± 0.41 และ 1.17 ± 0.47 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเพิ่มเท่ากับ 0.0085 ± 0.0031 , 0.0090 ± 0.0032 , 0.0094 ± 0.0037 และ 0.0098 ± 0.0042 กรัมต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะเท่ากับ 2.31 ± 0.33 , 2.36 ± 0.36 , 2.40 ± 0.40 และ 2.40 ± 0.36 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน อัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 4.26 ± 0.31 , 4.57 ± 0.31 , 3.83 ± 0.99 และ 4.35 ± 1.28 และอัตราการอดตายเท่ากับ 89.73 ± 3.11 , 73.33 ± 8.69 , 72.81 ± 9.83 และ 64.36 ± 22.18 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า น้ำหนักเฉลี่ย ความยาวเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการอดตายไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงสามารถอนุบาลลูกปลาไหลนาที่ระดับความหนาแน่น 550 ตัวต่อถังได้

ข้อเสนอแนะ จากการศึกษาการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในระบบปิดโดยการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต และตัวอย่างคุณภาพน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นและระบบกรองน้ำต่างกันแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 5 ตัว ที่ระบบกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 10 ตัว ที่ระบบกรองแอสเลน และชุดการทดลองที่ 3 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 15 ตัว ที่ระบบกรองใยแก้ว จากการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตของปลาที่ชุดการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มในการเจริญเติบโตดีกว่าชุดการทดลองอื่น ส่วนคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาที่ระดับความหนาแน่นและระบบกรองของปลาของทั้ง 3 ชุดการทดลองผลของคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้ไม่ต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกัน จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการเลี้ยงปลาที่ระดับความหนาแน่น 5, 10 และ 15 ตัว ไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาในเชิงพาณิชย์จากการทดลองการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 15 ตัว มีแนวโน้มในการเพิ่มมูลในการเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น

ผลและวิจารณ์ผลการทดลองส่วนที่ 3 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของการเลี้ยงปลาในระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนที่ความหนาแน่นและการใช้วัสดุกรองที่ต่างกัน

จากการศึกษาการเลี้ยงปลาในถังที่ระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (6 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร) ร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวนเมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 70 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

1. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลา

จากการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบปิดระยะเวลา 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่น มีผลทำให้น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบปิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัวต่อตารางเมตร มีแนวโน้มน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นดีที่สุดเท่ากับ 19.25 ± 2.00 กรัม รองลงมาคือระดับความหนาแน่น 10 และ 6 ตัวต่อตารางเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 17.82 ± 1.62 กรัม และ 16.54 ± 1.54 กรัม ตามลำดับ ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบปิดพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัวต่อตารางเมตร มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดเท่ากับ 0.28 ± 0.03 กรัม/วัน รองลงมาคือระดับความหนาแน่น 10 และ 6 ตัวต่อตารางเมตร มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.25 ± 0.02 กรัม/วัน และ 0.24 ± 0.02 กรัม/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 13 และภาพที่ 18) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบปิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่พบว่าการเลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางเนื้อวน มีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดเท่ากับ 0.26 ± 0.03 และ 0.26 ± 0.03 กรัม/วัน ตามลำดับ รองลงมาคือวัสดุตัวกลางไบโอบอล เท่ากับ 0.24 ± 0.03 กรัม/วัน (ตารางที่ 13 และ ภาพที่ 19)

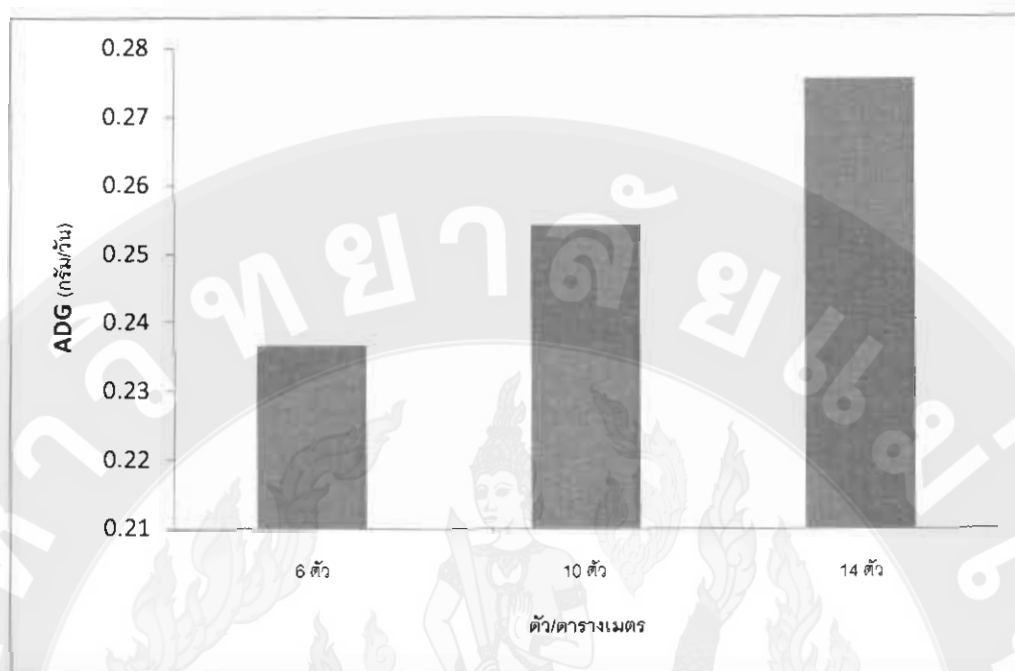
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่ออัตราการเจริญเติบโตและน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงมีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 20.26 ± 2.33 กรัม รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนและที่ระดับความหนาแน่น 10 ตัว/ตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนเท่ากับ 19.00 ± 1.66 และ 18.88 ± 1.60 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 13) จากการทดลองครั้งนี้ปลาที่เลี้ยงในระบบปิดไม่แตกต่างกันมาก พบว่าผลการทดลองไม่สอดคล้องกับรายงานที่กล่าวว่าการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำมีความสัมพันธ์ในลักษณะปฏิภาคผกผันกับอัตราความหนาแน่น คือเมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยอัตราที่หนาแน่นมากขึ้น การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาจะลดลง เพราะกำลังการผลิต (carrying capacity) ของบ่อปลาจำกัด เมื่อเลี้ยงปลาในระดับความหนาแน่นมากขึ้นมีผลทำให้เกิดการแข่งขันด้านต่างๆ และสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ (Hepher, 1967; Doyle and Talbot, 1986; Robinson and Doyle, 1990; Wang *et al.*, 2000) จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาในระบบปิดที่ระดับความหนาแน่นต่างกันครั้งนี้ยังไม่เต็มกำลังการผลิตสูงสุด (carrying capacity) เนื่องจากปลาที่เลี้ยงมีการ

เจริญเติบโตโดยมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสุดท้ายและความยาวไม่แตกต่างกัน สำหรับผลการทดลองเลี้ยงปลาใน อัตราความหนาแน่นที่ต่างกันแล้วทำให้อัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันนั้น Vijayan และ Leatherland (1988) ได้กล่าวว่าอัตราความหนาแน่นที่ทดลองเลี้ยงนั้นยังไม่ทำให้ปลาเกิดความเครียดที่เรียกว่า chronic crowding stress ซึ่งความเครียดดังกล่าว เมื่อเกิดขึ้นแล้วส่งผลให้ปลาเปลี่ยนพฤติกรรมที่ผิดปกติไป โดยจะ ได้กล่าวถึงอิทธิพลของอัตราความหนาแน่นที่จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีพ

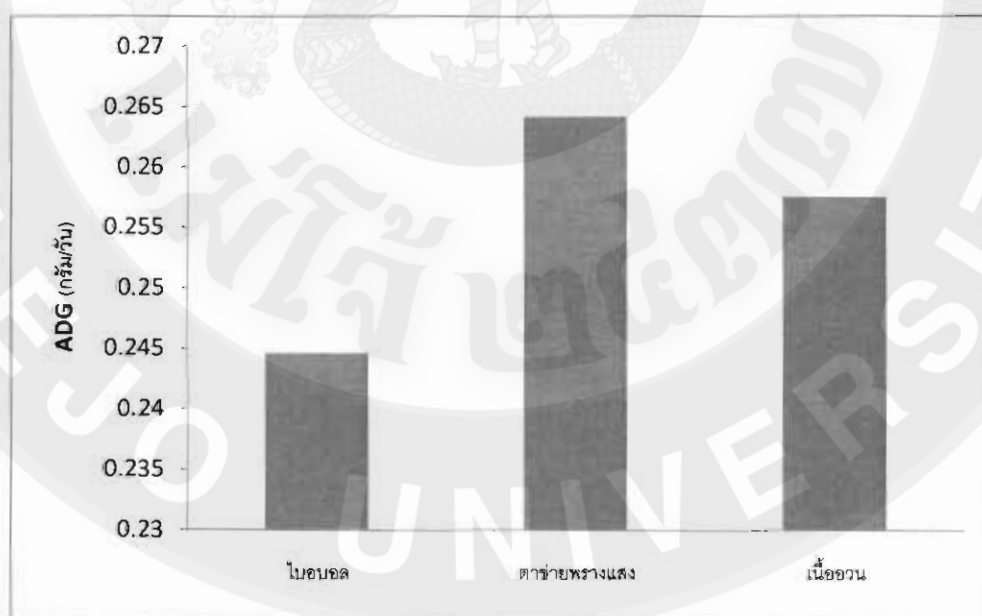
ตารางที่ 13 อัตราการเจริญเติบโต (ADG) และน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของการเลี้ยงปลาบุทรายที่ระดับความ หนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย		การเจริญเติบโต	
		ADG(กรัม/วัน)	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น(กรัม)
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)			
	6	0.24 ± 0.02^b	16.54 ± 1.54^b
	10	0.25 ± 0.02^b	17.82 ± 1.62^b
	14	0.28 ± 0.03^a	19.25 ± 2.00^a
F-test		*	*
ชนิดวัสดุตัวกลาง			
	ไบโอบอล	0.24 ± 0.03	17.06 ± 1.83
	ดาข่ายพรางแสง	0.26 ± 0.03	18.50 ± 2.09
	เนื้อวน	0.26 ± 0.03	18.05 ± 2.03
F-test		ns	ns
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง		
6	ไบโอบอล	0.23 ± 0.02^b	16.25 ± 1.68^b
6	ดาข่ายพรางแสง	0.24 ± 0.02^b	17.10 ± 1.38^b
6	เนื้อวน	0.23 ± 0.03^b	16.27 ± 1.84^b
10	ไบโอบอล	0.23 ± 0.01^b	16.45 ± 1.00^b
10	ดาข่ายพรางแสง	0.26 ± 0.02^{ab}	18.14 ± 1.36^{ab}
14	ไบโอบอล	0.26 ± 0.03^{ab}	18.50 ± 2.08^{ab}
14	ดาข่ายพรางแสง	0.29 ± 0.03^a	20.26 ± 2.33^a
14	เนื้อวน	0.27 ± 0.02^{ab}	19.00 ± 1.66^{ab}
F-test		*	*

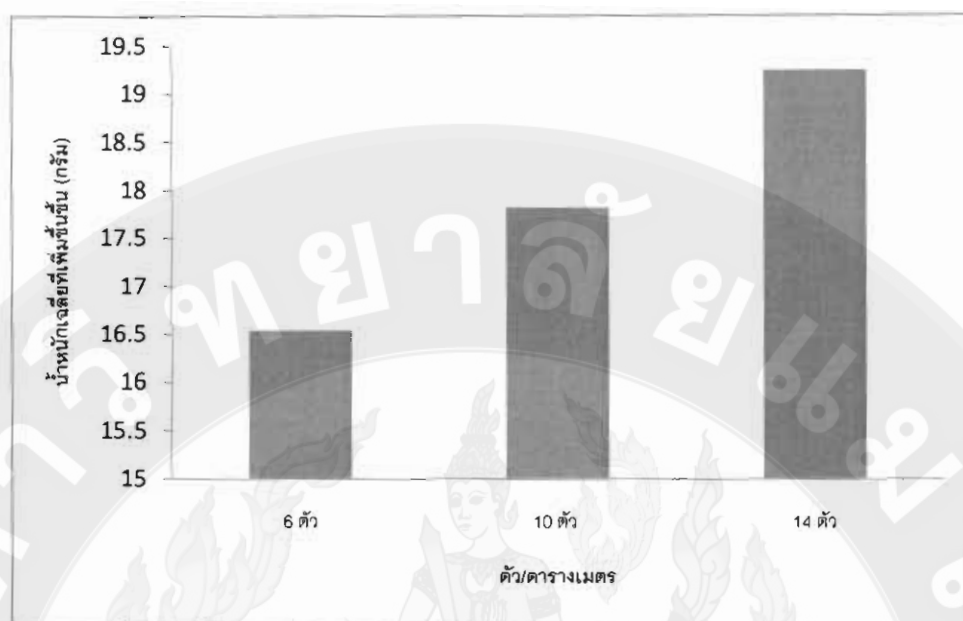
หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



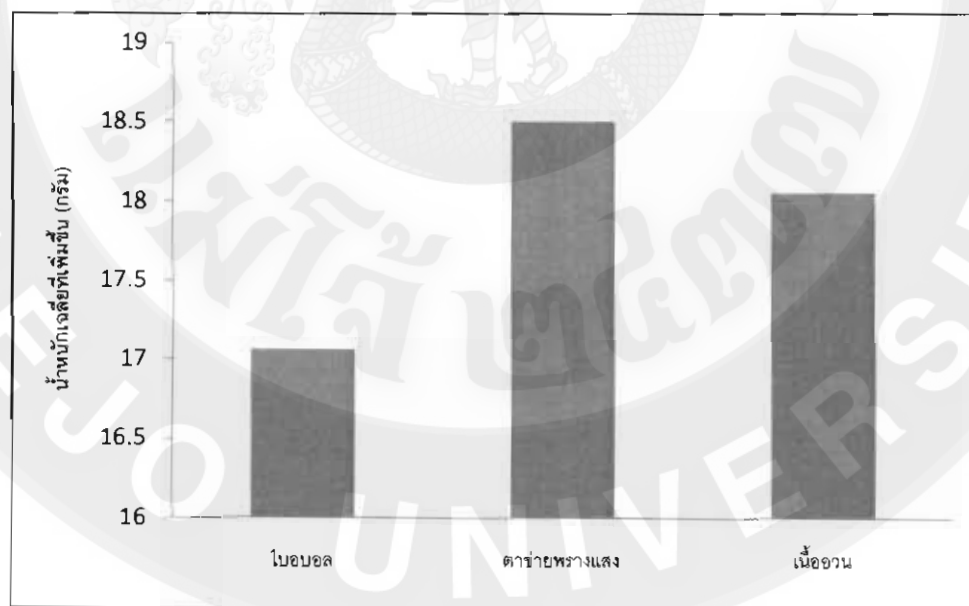
ภาพที่ 14 อัตราการเจริญเติบโตของปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่น 6 10 และ 14 ตัว/ตารางเมตร



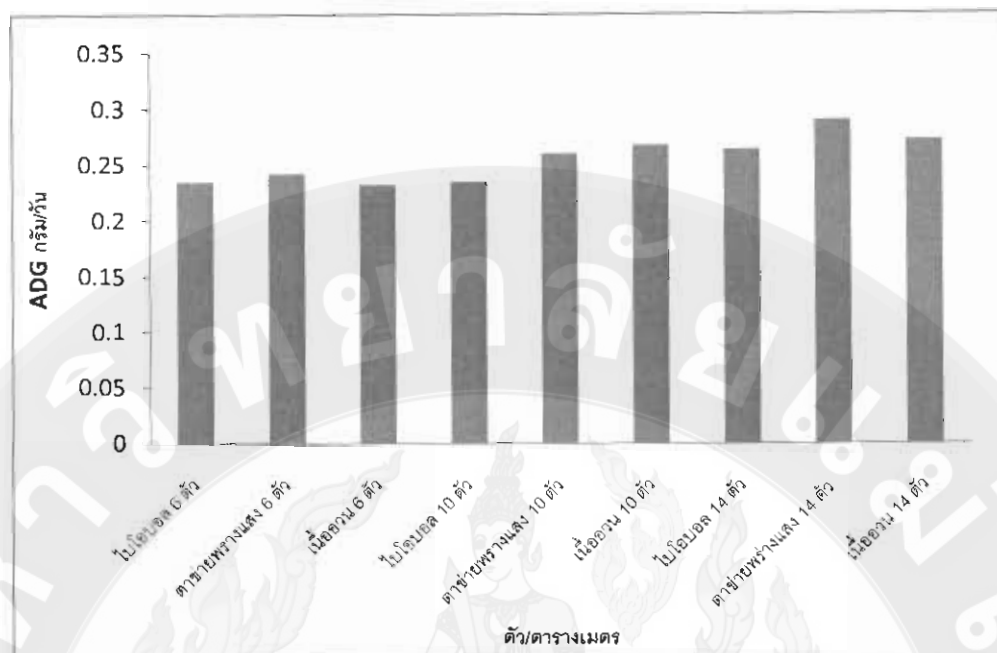
ภาพที่ 15 อัตราการเจริญเติบโตของปลานู๋ทรายที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายพรางแสงและเนื่อวน



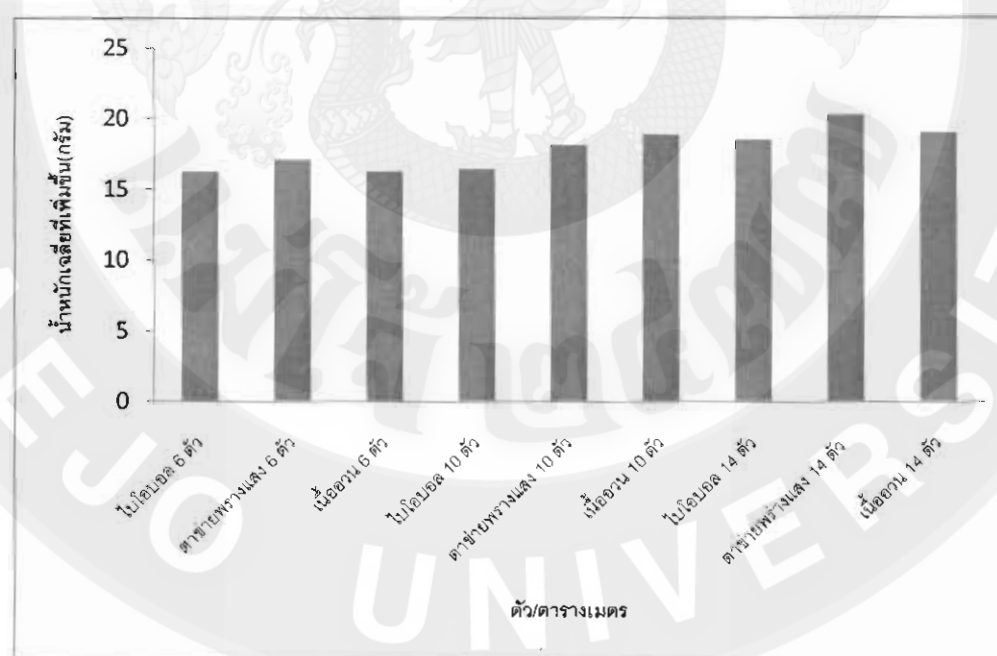
ภาพที่ 16 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาบู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่น 6 10 และ 14 ตัว/ตารางเมตร



ภาพที่ 17 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาบู๋ทรายที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางโบ โบบอล ดาชัยพรางแสงและเน้อวน



ภาพที่ 18 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาบู่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลาง ใบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนืออวน



ภาพที่ 19 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปลาบู่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลาง ใบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนืออวน

2. การศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาบู่ทราย

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลาทั้ง 3 ระดับความหนาแน่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 14 เมื่อนำค่าของคุณภาพน้ำที่ได้จากการทดลองนี้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากรายงานของ Mohammad and Emmanuel (2001) ที่ศึกษาผลของวัสดุตัวกลางต่อคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพทางชีวภาพของปลานิลที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนจะพบว่าคุณภาพน้ำแต่ละตัวในถังเลี้ยงปลานี้อยู่ในเกณฑ์ดีและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนชนิดของวัสดุกรองมีผลทำให้คุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คุณภาพน้ำโดยเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงจากทั้งสองปัจจัยมีความใกล้เคียงกัน กล่าวคือ อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำโดยทั่วไป



ตารางที่ 14 คุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลาที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุตัวกลางระยะเวลา 75 วัน

คุณภาพน้ำ	อัตราการปล่อย(ตัว/ตารางเมตร)								
	6			10			14		
	ไบโอบอล	ตาข่ายพรางแสง	เนื้อวน	ไบโอบอล	ตาข่ายพรางแสง	เนื้อวน	ไบโอบอล	ตาข่ายพรางแสง	เนื้อวน
อุณหภูมิ(°C)	26.22± 1.00 ^{ns}	26.49±0.68 ^{ns}	26.50±0.77 ^{ns}	26.62±0.87 ^{ns}	26.49±0.96 ^{ns}	26.63±0.73 ^{ns}	26.58±0.68 ^{ns}	26.49±1.03 ^{ns}	26.49±0.76 ^{ns}
DO(mg/l)	7.70± 0.41 ^{ns}	7.63±0.20 ^{ns}	7.56±0.43 ^{ns}	7.42±0.09 ^{ns}	7.42±0.36 ^{ns}	7.49±0.41 ^{ns}	7.22±0.25 ^{ns}	7.18±0.43 ^{ns}	7.43±0.12 ^{ns}
pH	7.12± 0.05 ^{ns}	7.15±0.06 ^{ns}	7.16±0.06 ^{ns}	7.14±0.04 ^{ns}	7.15±0.13 ^{ns}	7.15±0.13 ^{ns}	7.14±0.15 ^{ns}	7.14±0.06 ^{ns}	7.13±0.08 ^{ns}
อัลคาไลน์(mg/l)	78.71± 1.96 ^{ns}	78.17±3.20 ^{ns}	80.17±5.25 ^{ns}	75.67±5.25 ^{ns}	77.83±1.18 ^{ns}	78.00±4.84 ^{ns}	78.37±1.42 ^{ns}	76.54±1.71 ^{ns}	77.37±5.63 ^{ns}
แอมโมเนีย(mg/l)	0.23±0.13 ^b	0.20±0.08 ^b	0.19±0.08 ^a	0.34±0.06 ^b	0.29±0.08 ^{ab}	0.27±0.06 ^{ab}	0.34±0.07 ^b	0.33±0.05 ^b	0.30±0.08 ^{ab}
ไนโตรเจน(mg/l)	0.14±0.04 ^{bc}	0.07±0.01 ^{ab}	0.14±0.04 ^{bc}	0.18±0.06 ^c	0.10 ±0.02 ^{ab}	0.13±0.05 ^{abc}	0.17±0.06 ^c	0.10±0.02 ^{ab}	0.11±0.01 ^{ab}
ไนเตรท(mg/l)	3.01± 0.38 ^a	3.54±0.17 ^{abc}	3.17±0.33 ^{bc}	3.51±0.68 ^{abc}	3.34±0.41 ^{ab}	3.83±0.26 ^{bc}	3.62±0.22 ^{abc}	4.13±0.57 ^c	3.82±0.32 ^{bc}
ฟอสฟอรัส(mg/l)	1.08± 0.37 ^{ns}	1.15±0.35 ^{ns}	1.16±0.32 ^{ns}	1.20±0.28 ^{ns}	1.18±0.31 ^{ns}	1.20±0.30 ^{ns}	1.18±0.31 ^{ns}	1.17±0.33 ^{ns}	1.19±0.32 ^{ns}
TSS(mg/l)	403.46± 33.99 ^{ah}	399.59±33.54 ^a	435.02±35.18 ^{abc}	447.19±44.94 ^{abc}	427.76±11.27 ^{abc}	439.81±40.33 ^{abc}	463.31±47.74 ^{bc}	439.21±57.78 ^{abc}	480.70±17.70 ^c
SS(mg/l)	21.73± 1.97 ^{ns}	19.73±1.63	19.20±1.62 ^{ns}	22.60±1.93 ^{ns}	20.68±2.89 ^{ns}	20.22±2.68 ^{ns}	22.44±4.38 ^{ns}	20.03±2.36 ^{ns}	21.05±2.36 ^{ns}
TDS(mg/l)	384.67± 16.24 ^{ab}	361.32±18.34 ^a	404.62±24.46 ^{abc}	415.05±28.09 ^{abc}	405.57±10.74 ^{abc}	430.20±21.17 ^{bc}	439.44±21.14 ^c	427.74±37.89 ^{bc}	445.19±26.55 ^c

หมายเหตุ . ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

1) แอมโมเนีย

จากผลการวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่น มีผลทำให้ค่าแอมโมเนียของถังเลี้ยงปลาบุทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าแอมโมเนียเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองต่ำที่สุดเท่ากับ 0.2099 ± 0.0943 mg/l ที่ระดับความหนาแน่น 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าแอมโมเนียเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 0.3037 ± 0.0700 mg/l และ 0.3294 ± 0.0708 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้ค่าแอมโมเนียของถังเลี้ยงปลาบุทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนและวัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงมีค่าแอมโมเนียเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 0.2576 ± 0.0873 mg/l และ 0.2824 ± 0.0964 mg/l ตามลำดับ ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลมีค่าแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.3030 ± 0.0968 mg/l (ตารางที่ 15)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนมีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำที่สุดเท่ากับ 0.1916 ± 0.0827 mg/l รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงและที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัว/ตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลเท่ากับ 0.2046 ± 0.0843 mg/l และ 0.2335 ± 0.1320 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 15 ภาพที่ 24)

ความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลาบุทรายนี้ทุกชุดการทดลองอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.35 mg/l ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อปลา โดยจากรายงานของ Leclercq and Hopkins (1985) ที่ศึกษากระบวนการเลี้ยงปลานิลแบบหมุนเวียนน้ำ พบว่าค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียจะอยู่ในช่วง $0.6-0.7$ mg/l ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าระดับที่เป็นอันตรายถึงตาย (48 ชั่วโมง- LC_{50}) เท่ากับ 2.4 mg/l โดยค่านี้เป็นค่าที่ได้จากรายงานของ Redner and Stickney (1979) ที่กล่าวไว้ในปลา *Oreochromis aureus*

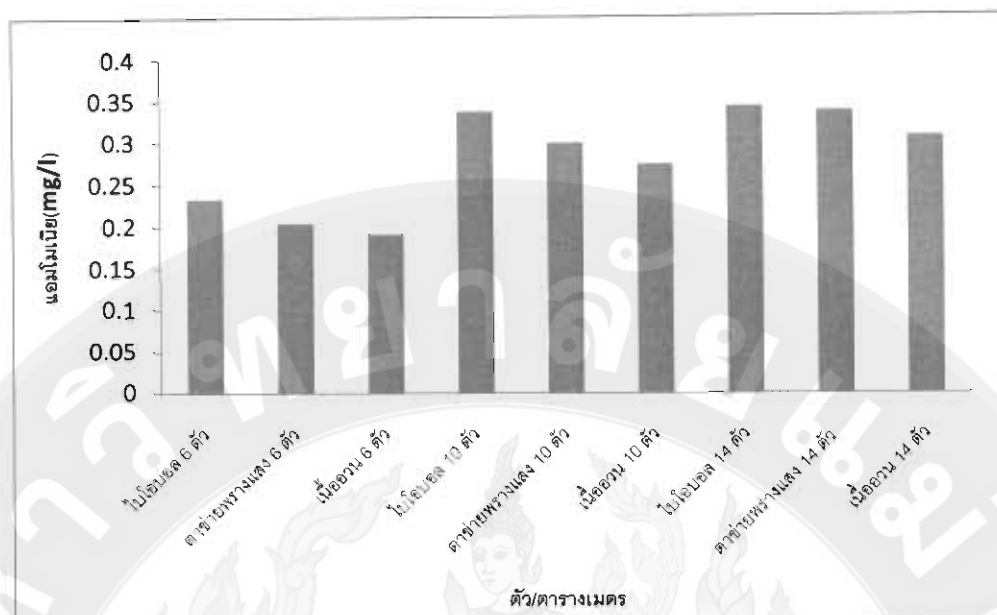
Scott (1996) ได้รายงานไว้ว่า ถ้าแอมโมเนียอิสระมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง $0.6-2$ มก./ล. จะทำให้ปลาบางชนิดตายอย่างรวดเร็วได้ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแอมโมเนียได้จากการขับถ่ายของสัตว์น้ำเป็นหลัก Ip *et al.* (2001) รายงานว่า การขับถ่ายของสารประกอบไนโตรเจนส่วนใหญ่ (ประมาณ 90%) เกิดขึ้นโดยผ่านทางเหงือกในรูปของแอมโมเนียไม่แตกตัว (NH_3) ซึ่งปริมาณแอมโมเนียไม่แตกตัวที่ถูกขับถ่ายออกมานั้นมีสัดส่วนประมาณ 2.5-3% ของปริมาณอาหารที่กินเข้าไปในแต่ละวัน (Lawson, 1995; Hargreaves, 1998) แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำยังได้จากสิ่งขับถ่ายที่เป็นของแข็งซึ่งส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดยแบคทีเรีย (Hargreaves, 1998)

ตารางที่ 15 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย		ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg/l)
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
	6	0.2099± 0.0943 ^a
	10	0.3037±0.0700 ^b
	14	0.3294±0.0708 ^b
F-test		*
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
	ไบโอบอล	0.3030 ± 0.0968
	ตาข่ายพรางแสง	0.2824±0.0964
	เนื้อวน	0.2576±0.0873
F-test		ns
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	0.2335±0.1320 ^b
6	ตาข่ายพรางแสง	0.2046±0.0843 ^b
6	เนื้อวน	0.1916±0.0827 ^a
10	ไบโอบอล	0.3376±0.0651 ^b
10	ตาข่ายพรางแสง	0.2996±0.0849 ^{ab}
10	เนื้อวน	0.2740±0.0615 ^{ab}
14	ไบโอบอล	0.3433±0.0798 ^b
14	ตาข่ายพรางแสง	0.3378±0.0555 ^b
14	เนื้อวน	0.3071±0.0889 ^{ab}
F-test		*

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 20 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้ออ่อน

2) ไนโตร

จากผลการวิเคราะห์ค่าไนโตรที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้ออ่อน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้ค่าไนโตรของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าไนโตรที่เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองต่ำที่สุดเท่ากับ $0.0963 \pm 0.0413 \text{ mg/l}$ ที่ระดับความหนาแน่น 14 และ 10 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าไนโตรที่เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ $0.1330 \pm 0.0496 \text{ mg/l}$ และ $0.1415 \pm 0.0552 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 16) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าผลทำให้ค่าไนโตรของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางเนื้ออ่อนมีค่าไนโตรที่เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ $0.0984 \pm 0.0240 \text{ mg/l}$ และ $0.1055 \pm 0.0405 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลมีค่าไนโตรที่เฉลี่ยเท่ากับ $0.1668 \pm 0.0563 \text{ mg/l}$ (ตารางที่ 16)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของไนโตรที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้ออ่อนมีระดับความเข้มข้นของไนโตรที่ต่ำที่สุดเท่ากับ $0.0714 \pm 0.0788 \text{ mg/l}$ รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 และ 10 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงเท่ากับ $0.0771 \pm 0.0161 \text{ mg/l}$ และ $0.1083 \pm 0.0205 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 16 ภาพที่ 25) ส่วน Scott (1996) รายงานว่าความเข้มข้นของไนโตรที่มีความเข้มข้นเกินกว่า 0.1-0.2 มก./ล. จะไปยับยั้งการเจริญของ

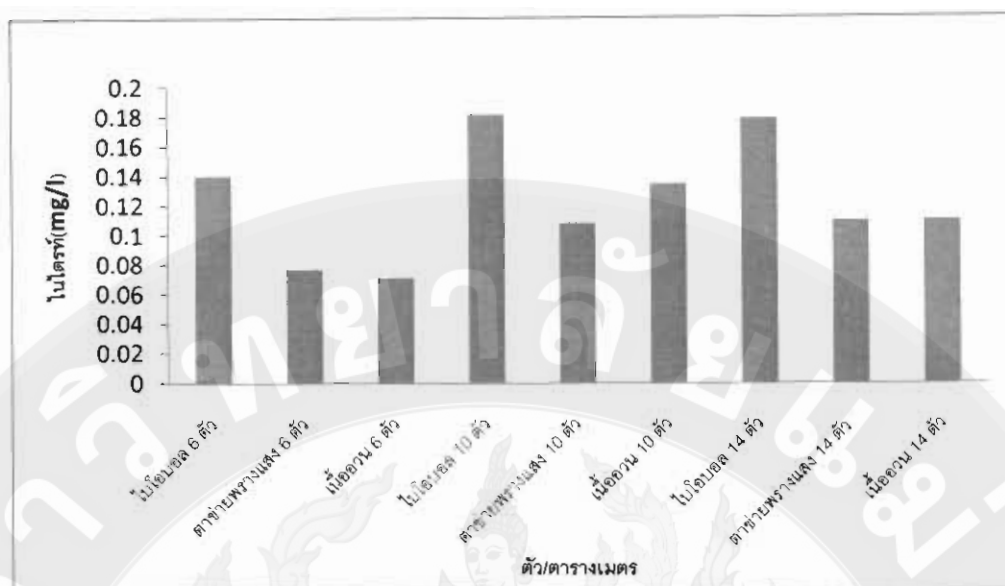
ปลาหลายชนิด และถ้าเกินกว่า 0.5 มก./ล. จะทำให้ปลาตายได้ จากการนำในถังเลี้ยงปลาและน้ำที่ผ่านการกรองพบว่าเมื่อน้ำผ่านระบบกรองมีค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ลดลงในทุกหน่วยการทดลอง

ตารางที่ 16 ระดับความเข้มข้นของไนไตรท์ในถังเลี้ยงปลานุ่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

ปัจจัย		ความเข้มข้นของไนไตรท์ (mg/l)
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
	6	0.0963 ± 0.0413^a
	10	0.1415 ± 0.0552^b
	14	0.1330 ± 0.0496^b
F-test		*
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
	ไบโอบอล	0.1668 ± 0.0563^b
	ดาข่ายพรางแสง	0.0984 ± 0.0240^a
	เนื้อวน	0.1055 ± 0.0405^a
F-test		*
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	0.1403 ± 0.0451^{bc}
6	ดาข่ายพรางแสง	0.0771 ± 0.0161^{ab}
6	เนื้อวน	0.1403 ± 0.0451^{bc}
10	ไบโอบอล	0.1815 ± 0.0646^c
10	ดาข่ายพรางแสง	0.1083 ± 0.0205^{ab}
10	เนื้อวน	0.1347 ± 0.0538^{abc}
14	ไบโอบอล	0.1785 ± 0.0635^c
14	ดาข่ายพรางแสง	0.1010 ± 0.022^{ab}
14	เนื้อวน	0.1104 ± 0.0185^{ab}
F-test		*

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



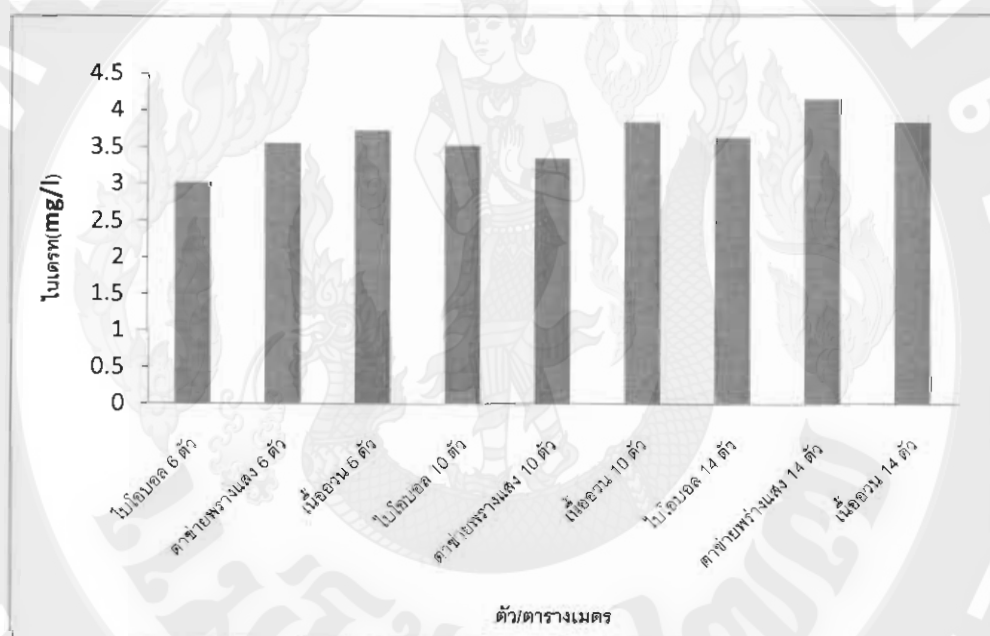
ภาพที่ 21 ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้ออ่อน

3) ไนเตรท

จากผลการวิเคราะห์ค่าไนเตรทตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้ออ่อน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้ค่าไนเตรทของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าไนเตรทเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองต่ำที่สุดเท่ากับ $3.4266 \pm 0.4230 \text{ mg/l}$ ที่ระดับความหนาแน่น 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าไนเตรทเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ $3.5650 \pm 0.04920 \text{ mg/l}$ และ $3.8621 \pm 0.4292 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 17) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าผลทำให้ค่าไนเตรทของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลมีค่าไนเตรทเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองต่ำที่สุดเท่ากับ $3.3842 \pm 0.5111 \text{ mg/l}$ ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางเนื้ออ่อนมีค่าไนเตรทเฉลี่ยเท่ากับ $3.6765 \pm 0.5210 \text{ mg/l}$ และ $3.7931 \pm 0.2894 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของไนเตรทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุไบโอบอลมีระดับความเข้มข้นของไนเตรทต่ำที่สุดเท่ากับ $3.0122 \pm 0.3841 \text{ mg/l}$ รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 10 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางไบโอบอลเท่ากับ $3.3411 \pm 0.4150 \text{ mg/l}$ และ $3.5176 \pm 0.6876 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 17 ภาพที่ 26)

ในแต่ละหน่วยการทดลองจึงมีปริมาณไนเตรตสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง โดยที่น้ำที่ผ่านระบบกรองมีค่าความเข้มข้นของไนเตรตลดลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไนเตรตในถังเลี้ยงปลาในทุกหน่วยการทดลอง กล่าวคือเมื่อระยะเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นของชั้นแบคทีเรียโดยที่แบคทีเรียที่อยู่ชั้นในเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงทำให้ไนเตรตลดลง สอดคล้องกับ Moriarty (1997) ที่พบว่าเมื่อมีสารอินทรีย์จำนวนมากๆ จุลินทรีย์ย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นในมวลน้ำและผิวตะกอน แต่ตะกอนที่ทับถมอยู่ด้านล่างเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงทำให้ปริมาณไนเตรตลดลง



ภาพที่ 22 ระดับความเข้มข้นของไนเตรตในถังเลี้ยงปลาทูทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาซายพรางแสง และเนื้ออ่อน

ตารางที่ 17 ระดับความเข้มข้นของไนเตรทในถังเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย		ความเข้มข้นของไนเตรท(mg/l)
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
	6	3.4266 ± 0.4230^a
	10	3.5650 ± 0.04920^{ab}
	14	3.8621 ± 0.4292^b
F-test		*
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
	ไบโอบอล	3.3842 ± 0.5111^a
	ตาข่ายพรางแสง	3.6765 ± 0.5210^{ab}
	เนื้อวน	3.7931 ± 0.2894^b
F-test		*
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	3.0122 ± 0.3841^a
6	ตาข่ายพรางแสง	3.5497 ± 0.1723^{abc}
6	เนื้อวน	3.1719 ± 0.3392^{bc}
10	ไบโอบอล	3.5176 ± 0.6876^{abc}
10	ตาข่ายพรางแสง	3.3411 ± 0.4150^{ab}
F-test		*
ปัจจัย		ความเข้มข้นของไนเตรท(mg/l)
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
		3.8363 ± 0.2698^{bc}
14	ไบโอบอล	3.6227 ± 0.2280^{abc}
14	ตาข่ายพรางแสง	4.1387 ± 0.5790^c
14	เนื้อวน	3.8250 ± 0.3285^{bc}
F-test		*

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4) ฟอสฟอรัส

จากผลการวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นไม่มีผลทำให้ค่าฟอสฟอรัสของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองต่ำที่สุดเท่ากับ 1.1856 ± 0.2928 mg/l ที่ระดับความหนาแน่น 16 และ 6 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 1.1965 ± 0.2709 mg/l และ 1.2346 ± 0.3197 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้ค่าไนเตรทของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลมีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 1.1570 ± 0.2997 mg/l ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางเนื้อวนมีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 1.1727 ± 0.3009 mg/l และ 1.1870 ± 0.2878 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 18)

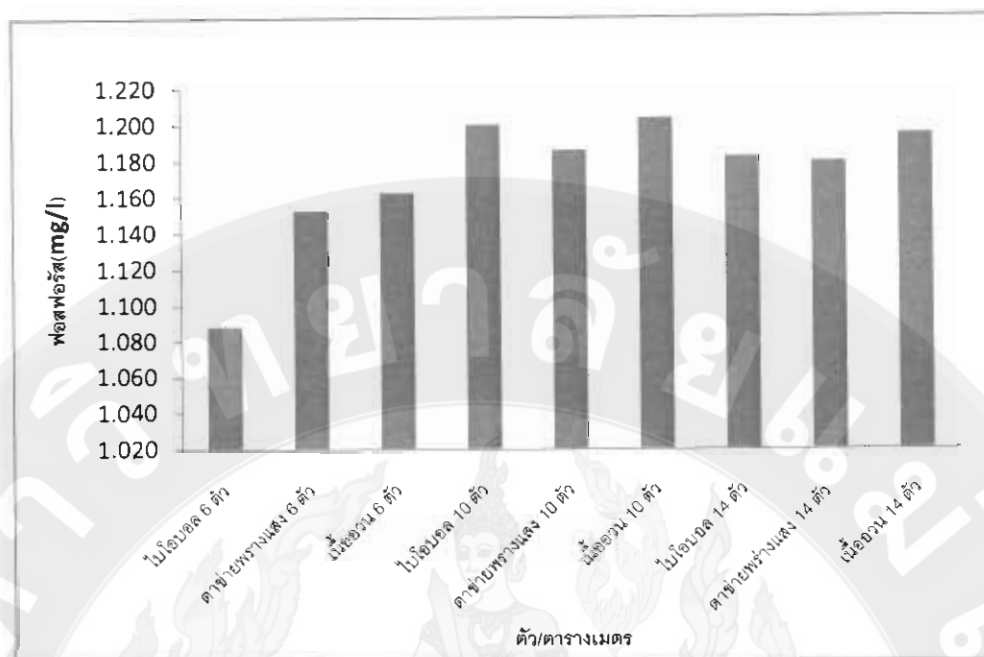
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุไบโอบอลมีระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำที่สุดเท่ากับ 1.0886 ± 0.3750 mg/l รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสง และที่ระดับ 6 ตัวต่อตารางเมตรวัสดุตัวกลางเนื้อวนเท่ากับ 1.1527 ± 0.3500 mg/l และ 1.1625 ± 0.3280 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 18 ภาพที่ 27)

ตารางที่ 18 ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังเลี้ยงปลาทุทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายางพาราแสง และเนื้อวน

ปัจจัย	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส(mg/l)	
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
6		1.2346 ± 0.3197
10		1.1965±0.2709
14		1.1856±0.2928
F-test	ns	
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
ไบโอบอล		1.1570 ± 0.2997
ดาข่ายพรางแสง		1.1727±0.3009
เนื้อวน		1.1870±0.2878
F-test	ns	
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	1.0886± 0.3750
6	ดาข่ายพรางแสง	1.1527±0.3500
6	เนื้อวน	1.1625±0.3280
10	ไบโอบอล	1.2000±0.2817
10	ดาข่ายพรางแสง	1.1857±0.3125
10	เนื้อวน	1.2037±0.3031
14	ไบโอบอล	1.1823±0.3161
14	ดาข่ายพรางแสง	1.1795±0.3332
14	เนื้อวน	1.1948±0.3211
F-test	ns	

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 23 ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังเลี้ยงปลาบูทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื่อวน

5) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

จากผลการวิเคราะห์ค่า DO ตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื่อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้ค่า DO ของถังเลี้ยงปลาบูทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีค่า DO เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองสูงที่สุดเท่ากับ 7.63 ± 0.33 mg/l ที่ระดับความหนาแน่น 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร มีค่า DO เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 7.44 ± 0.29 mg/l และ 7.28 ± 0.29 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 19) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้ค่า DO ของถังเลี้ยงปลาบูทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางเนื่อวนมีค่า DO เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองสูงที่สุดเท่ากับ 7.49 ± 0.32 mg/l ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล และวัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงมีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 7.44 ± 0.33 mg/l และ 7.41 ± 0.37 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 19)

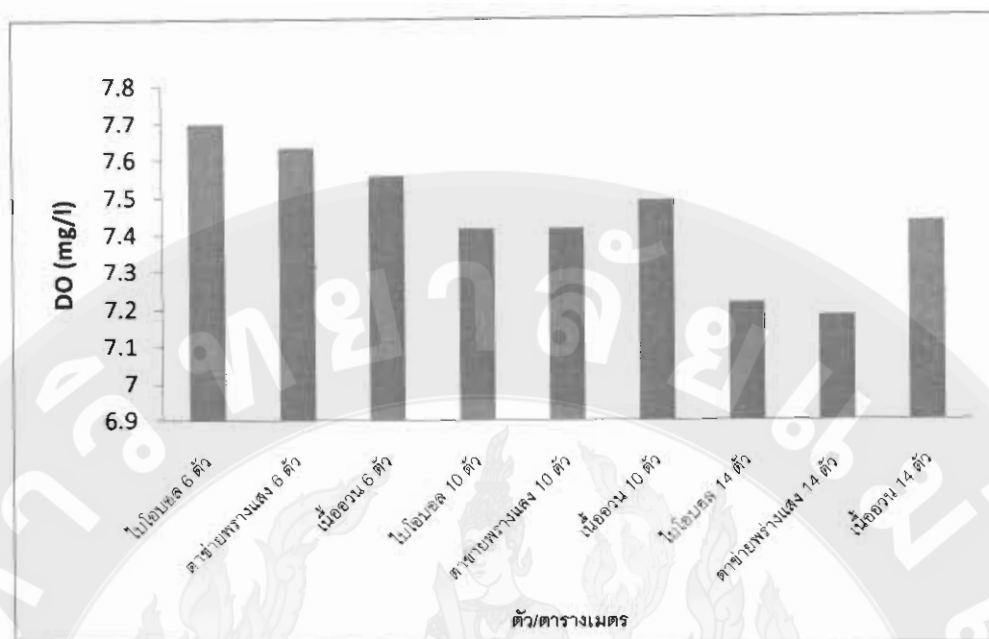
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของ DO ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลมีระดับความเข้มข้นของ DO สูงที่สุดเท่ากับ 7.70 ± 0.41 mg/l รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางเนื่อวนเท่ากับ 7.63 ± 0.20 mg/l และ 7.56 ± 0.43 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 19 ภาพที่ 28) Colt (2006) กล่าวว่าในบ่อเลี้ยงปลาควรมี DO อย่างน้อย 3-3.5 มก./ล.

ตารางที่ 19 ระดับความเข้มข้นของ DO ในถังเลี้ยงปลาตู้ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ค่ายางพารา และเนื้อวัว

ปัจจัย	ความเข้มข้นของ DO (mg/l)	
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
6		7.63 ± 0.33 ^b
10		7.44±0.29 ^{ab}
14		7.28±0.29 ^a
F-test		*
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
ไบโอบอล		7.44 ± 0.33
ดาข่ายพรางแสง		7.41±0.37
เนื้ออวน		7.49±0.32
F-test		ns
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	7.70± 0.41
6	ดาข่ายพรางแสง	7.63±0.20
6	เนื้ออวน	7.56±0.43
10	ไบโอบอล	7.42±0.09
10	ดาข่ายพรางแสง	7.42±0.36
10	เนื้ออวน	7.49±0.41
14	ไบโอบอล	7.22±0.25
14	ดาข่ายพรางแสง	7.18±0.43
14	เนื้ออวน	7.43±0.12
F-test		ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 24 ระดับความเข้มข้นของ DO ในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื่อวน

6) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากผลการวิเคราะห์ค่า pH ตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื่อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้ค่า pH ของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัวต่อตารางเมตร มีค่า pH เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองดีที่สุดเท่ากับ 7.15 ± 0.09 ที่ระดับความหนาแน่น 6 และ 10 ตัวต่อตารางเมตร มีค่า pH เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 7.14 ± 0.09 และ 7.14 ± 0.08 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุตัวกลางพบว่าไม่มีผลทำให้ค่า pH ของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงมีค่า pH เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองดีที่สุดเท่ากับ 7.15 ± 0.10 ตามลำดับ ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลและวัสดุตัวกลางเนื่อวนมีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.14 ± 0.05 และ 7.14 ± 0.09 (ตารางที่ 20)

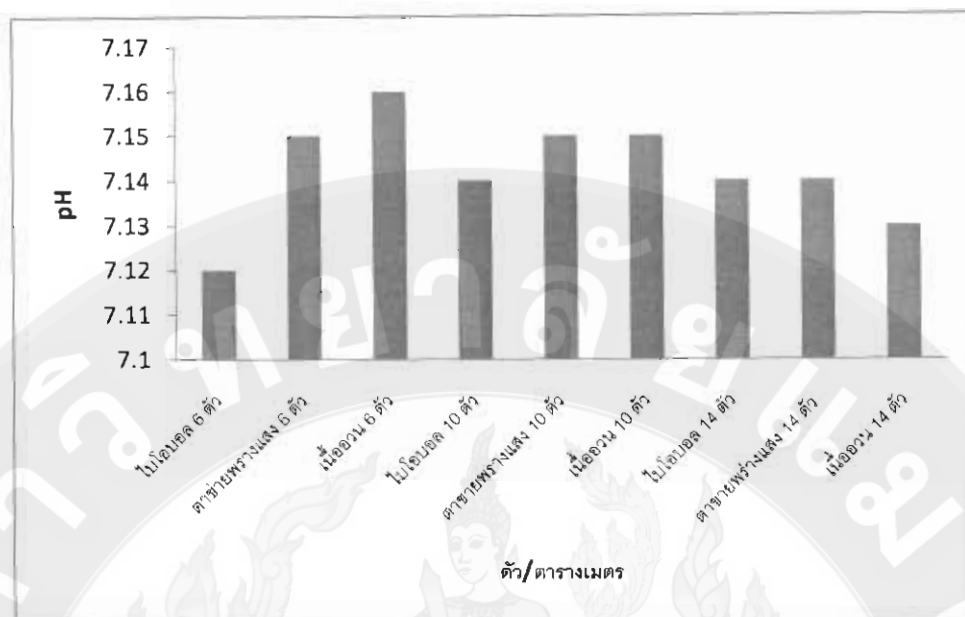
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของ pH ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื่อวน มีระดับ pH ดีที่สุดเท่ากับ 7.16 ± 0.06 รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 และ 10 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงและที่ระดับ 10 ตัว ต่อตารางเมตรโดยใช้วัสดุตัวกลางเนื่อวนเท่ากับ 7.15 ± 0.06 , 7.15 ± 0.13 และ 7.15 ± 0.13 (ตารางที่ 20 ภาพที่ 29)

ตารางที่ 20 ระดับ pH ในถังเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลาง
ไบโอบอล ค่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย		pH
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
	6	7.14±0.09
	10	7.14±0.08
	14	7.15 ± 0.09
F-test		ns
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
	ไบโอบอล	7.14 ± 0.05
	ค้ายพรางแสง	7.15±0.10
	เนื้อวน	7.14±0.09
F-test		ns
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	7.12± 0.05
6	ค้ายพรางแสง	7.15±0.06
6	เนื้อวน	7.16±0.06
10	ไบโอบอล	7.14±0.04
10	ค้ายพรางแสง	7.15±0.13
10	เนื้อวน	7.15±0.13
14	ไบโอบอล	7.14±0.15
14	ค้ายพรางแสง	7.14±0.06
14	เนื้อวน	7.13±0.08
F-test		ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 25 ระดับ pH ในถังเลี้ยงปลาทูทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลาง ไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

7) อุณหภูมิของน้ำ

จากผลการวิเคราะห์อุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรอง ไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้อุณหภูมิของถังเลี้ยง ปลาทูทรายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 10 ตัว ต่อตารางเมตร มีอุณหภูมิเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองสูงที่สุดเท่ากับ $6.26.58 \pm 0.73^{\circ}\text{C}$ ที่ระดับความหนาแน่น 14 และ 6 ตัวต่อตารางเมตร มีอุณหภูมิเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ $26.52 \pm 0.76^{\circ}\text{C}$ และ $26.41 \pm 0.76^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 21) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้อุณหภูมิของถังเลี้ยงปลาทูทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนมีอุณหภูมิเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองสูงที่สุดเท่ากับ $26.54 \pm 0.68^{\circ}\text{C}$ ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางไบโอบอลมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ $26.49 \pm 0.81^{\circ}\text{C}$ และ $26.48 \pm 0.80^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

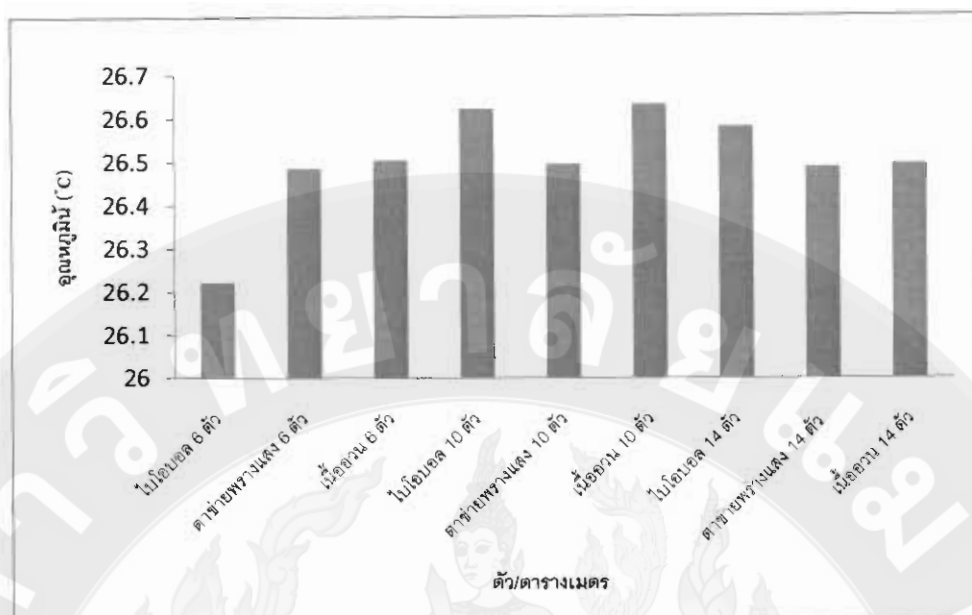
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของ อุณหภูมิไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 10 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนมีระดับอุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ $26.63 \pm 0.73^{\circ}\text{C}$ รองลงมาคือที่ ระดับความหนาแน่น 10 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลและที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัว ต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนเท่ากับ $26.62 \pm 0.87^{\circ}\text{C}$ และ $6.58 \pm 0.68^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 21 ภาพที่ 30)

ตารางที่ 21 ระดับอุณหภูมิในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลาง ไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย		อุณหภูมิ(°C)
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
6		26.40± 0.76
10		26.58±0.78
14		26.52±0.76
F-test		ns
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
ไบโอบอล		26.48 ± 0.80
ตาข่ายพรางแสง		26.49±0.81
เนื้อวน		26.54±0.68
F-test		ns
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	26.22± 1.00
6	ตาข่ายพรางแสง	26.49±0.68
6	เนื้อวน	26.50±0.77
10	ไบโอบอล	26.62±0.87
10	ตาข่ายพรางแสง	26.49±0.96
10	เนื้อวน	26.63±0.73
14	ไบโอบอล	26.58±0.68
14	ตาข่ายพรางแสง	26.49±1.03
14	เนื้อวน	26.49±0.76
F-test		ns

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 26 ระดับอุณหภูมิในถังเลี้ยงปลาบุทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลาง ไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อฮวน

8) ความเป็นด่างของน้ำ(Alkalinity)

จากผลการวิเคราะห์ค่า alkalinity ตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อฮวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้ค่า alkalinity ของถังเลี้ยงปลาบุทรายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีค่า alkalinity เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองสูงที่สุดเท่ากับ 79.01 ± 3.49 mg/l ที่ระดับความหนาแน่น 14 และ 10 ตัวต่อตารางเมตร มีค่า alkalinity เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 77.43 ± 3.26 mg/l และ 77.17 ± 3.94 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 22) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้ alkalinity ของถังเลี้ยงปลาบุทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางเนื้อฮวนมีค่า alkalinity เฉลี่ยโดยตลอดการทดลองสูงที่สุดเท่ากับ 77.37 ± 5.63 mg/l ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลและวัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงมีค่า alkalinity เฉลี่ยเท่ากับ 77.58 ± 3.34 mg/l และ 77.51 ± 2.12 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 22)

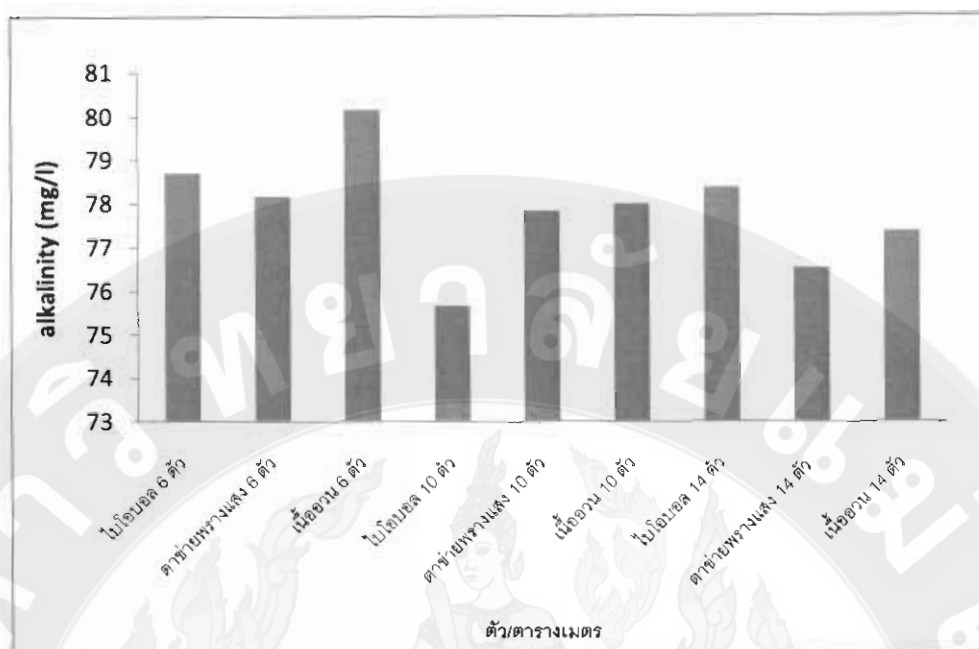
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อระดับความเข้มข้นของค่า alkalinity ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้อฮวนมีระดับ alkalinity สูงที่สุดเท่ากับ 80.17 ± 5.25 mg/l รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลเท่ากับ 78.71 ± 1.96 mg/l และ 78.37 ± 1.42 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 22 ภาพที่ 31)

ตารางที่ 22 ระดับ alkalinity ในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย	ระดับ alkalinity(mg/l)	
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
6		79.01±3.49
10		77.17±3.94
14		77.43±3.26
F-test	ns	
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
ไบโอบอล		77.58 ±3.34
ตาข่ายพรางแสง		77.51±2.12
เนื้อวน		77.37±5.63
F-test	ns	
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	78.71± 1.96
6	ตาข่ายพรางแสง	78.17±3.20
6	เนื้อวน	80.17±5.25
10	ไบโอบอล	75.67±5.25
10	ตาข่ายพรางแสง	77.83±1.18
10	เนื้อวน	78.00±4.84
14	ไบโอบอล	78.37±1.42
14	ตาข่ายพรางแสง	76.54±1.71
14	เนื้อวน	77.37±5.63
F-test	ns	

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

* อักษรที่แตกต่างกันใบคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 27 ระดับ alkalinity ในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาชัยพรางแสง และเนื่อวน

9) ปริมาณของแข็งทั้งหมด, Total solids (TS)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ดาชัยพรางแสง และเนื่อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองน้อยที่สุดเท่ากับ 412.69 ± 30.50 mg/l ที่ระดับความหนาแน่น 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 438.25 ± 33.15 mg/l และ 461.07 ± 43.97 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 23) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางดาชัยพรางแสงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองน้อยที่สุดเท่ากับ 422.19 ± 46.74 mg/l ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลและวัสดุตัวกลางเนื่อวนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 437.98 ± 35.37 mg/l และ 451.84 ± 36.40 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 23)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางดาชัยพรางแสงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยที่สุดเท่ากับ 399.59 ± 33.54 mg/l รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลและที่

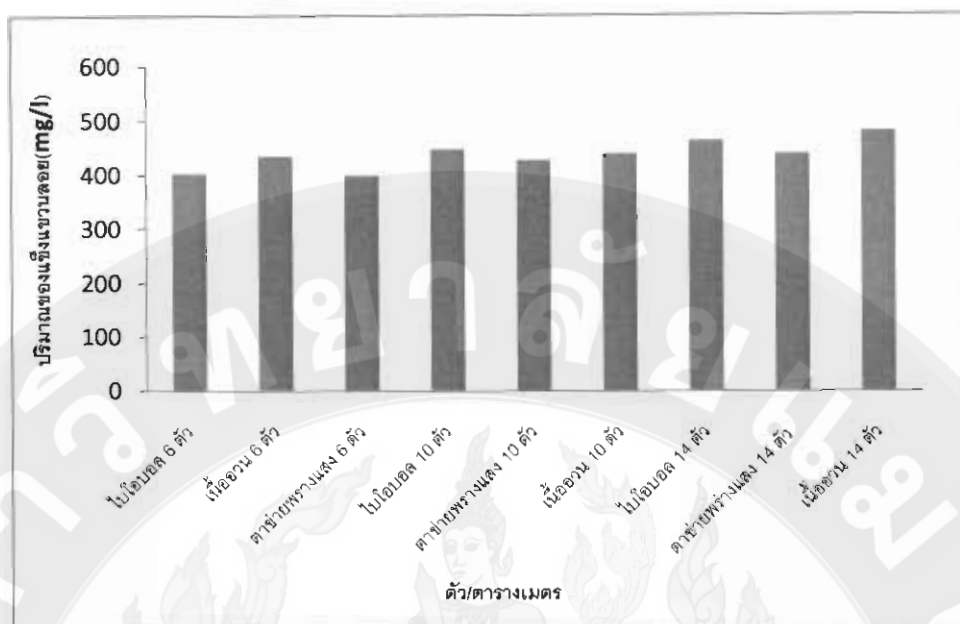
ระดับความหนาแน่น 10 ตัวต่อตารางเมตรโดยใช้วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงเท่ากับ 403.46 ± 33.99 mg/l และ 427.76 ± 11.27 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 23 ภาพที่ 32)

ตารางที่ 23 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในถังเลี้ยงปลาบุ่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย	ปริมาณของแข็งทั้งหมด(mg/l)	
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
	6	412.69±30.50 ^a
	10	438.25±33.15 ^{ab}
	14	461.07±43.97 ^b
F-test	*	
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
	ไบโอบอล	437.98 ±35.37
	ตาข่ายพรางแสง	422.19 ±46.74
	เนื้อวน	451.84±36.40
F-test	ns	
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	403.46± 33.99 ^{ab}
6	ตาข่ายพรางแสง	399.59±33.54 ^a
6	เนื้อวน	435.02±35.18 ^{abc}
10	ไบโอบอล	447.19±44.94 ^{abc}
10	ตาข่ายพรางแสง	427.76±11.27 ^{abc}
10	เนื้อวน	439.81±40.33 ^{abc}
14	ไบโอบอล	463.31±47.74 ^{bc}
14	ตาข่ายพรางแสง	439.21±57.78 ^{abc}
14	เนื้อวน	480.70±17.70 ^c
F-test	*	

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 28 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

10) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด, Suspended Solids (SS)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นไม่มีผลทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองน้อยที่สุดเท่ากับ $20.22 \pm 1.95 \text{ mg/l}$ ที่ระดับความหนาแน่น 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ $21.17 \pm 2.53 \text{ mg/l}$ และ $21.17 \pm 3.06 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 24) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงและวัสดุตัวกลางเนื้อวนมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองน้อยที่สุดเท่ากับ $20.16 \pm 2.17 \text{ mg/l}$ และ $20.16 \pm 2.19 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $22.26 \pm 2.73 \text{ mg/l}$ (ตารางที่ 24)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อปริมาณปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางเนื้อวนมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้อย

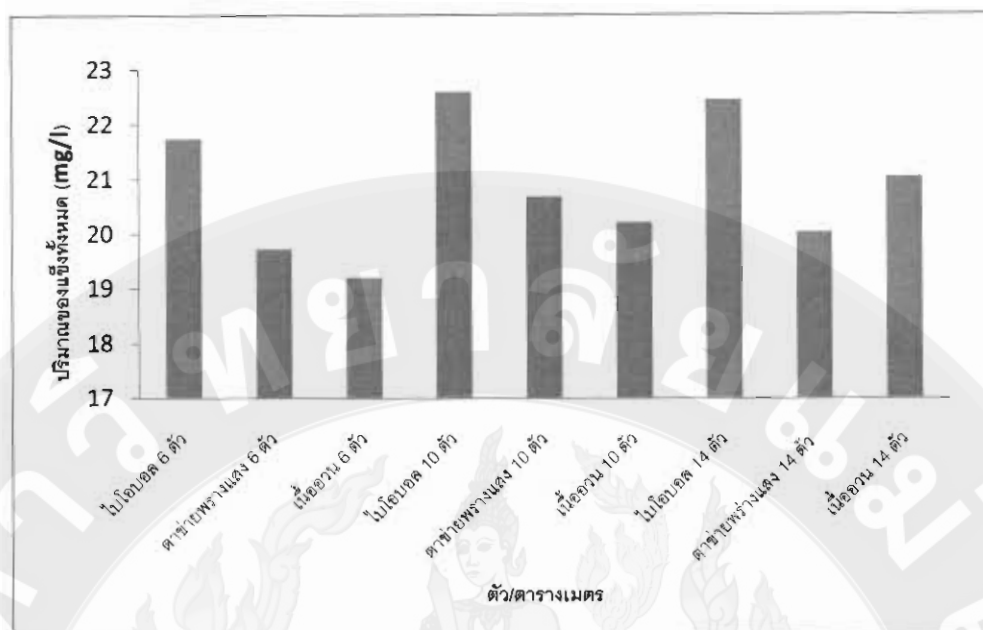
ที่สุดเท่ากับ 19.20 ± 1.62 mg/l รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงเท่ากับ 19.73 ± 1.63 mg/l และ 20.03 ± 2.36 mg/l ตามลำดับ

ตารางที่ 24 ปริมาณของแฉะแขวนลอยทั้งหมดในถังเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

ปัจจัย	ปริมาณของแฉะแขวนลอยทั้งหมด(mg/l)	
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
6		20.22±1.95
10		21.17±2.53
14		21.17±3.06
F-test	ns	
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
ไบโอบอล		22.26 ±2.73
ตาข่ายพรางแสง		20.15 ±2.17
เนื้อวน		20.16±2.19
F-test	ns	
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	21.73± 1.97
6	ตาข่ายพรางแสง	19.73±1.63
6	เนื้อวน	19.20±1.62
10	ไบโอบอล	22.60±1.93
10	ตาข่ายพรางแสง	20.68±2.89
10	เนื้อวน	20.22±2.68
14	ไบโอบอล	22.44±4.38
14	ตาข่ายพรางแสง	20.03±2.36
14	เนื้อวน	21.05±2.36
F-test	ns	

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 29 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน

11) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, Dissolved Solids (DS)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง 70 วัน ที่เลี้ยงร่วมกับการใช้วัสดุกรองไบโอบอล ดาข่ายพรางแสง และเนื้อวน พบว่าปัจจัยระดับความหนาแน่นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองน้อยที่สุดเท่ากับ 383.54 ± 21.67 mg/l ที่ระดับความหนาแน่น 10 และ 14 ตัวต่อตาราง-เมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองเท่ากับ 416.94 ± 12.42 mg/l และ 437.45 ± 8.89 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 25) ส่วนปัจจัยชนิดของวัสดุกรองพบว่าไม่มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของถังเลี้ยงปลานู๋ทรายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) พบว่าถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเฉลี่ยโดยตลอดการทดลองน้อยที่สุดเท่ากับ 398.21 ± 33.82 mg/l ส่วนถังเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอลและวัสดุตัวกลางเนื้อวนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 413.05 ± 27.44 mg/l และ 404.62 ± 24.46 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 25)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยระดับความหนาแน่น และชนิดของวัสดุตัวกลางต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 361.32 ± 18.34 mg/l รองลงมาคือที่ระดับความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลาง ไบ

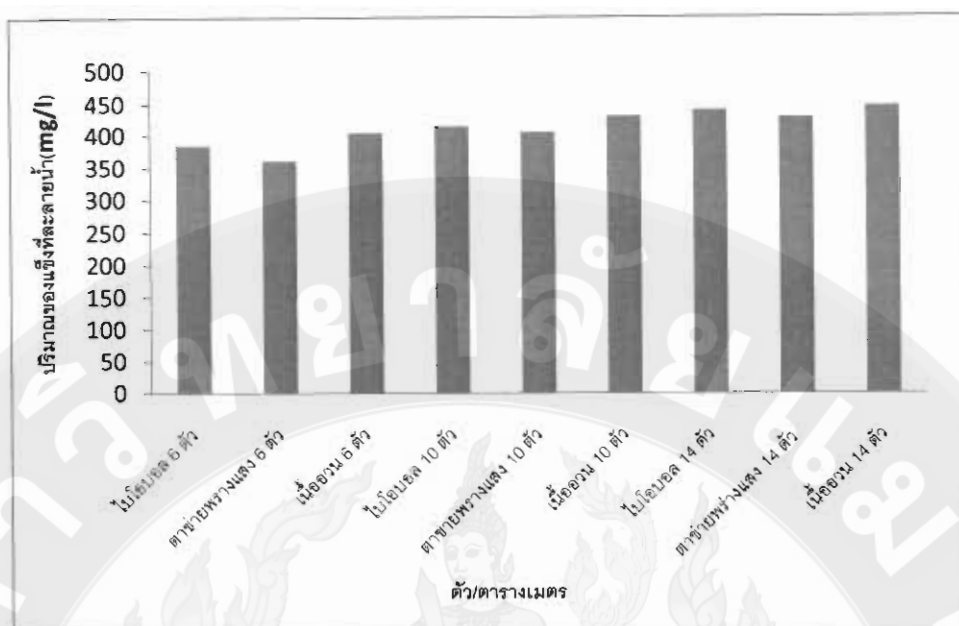
โอบอลและวัสดุตัวกลางเนื้ออวนเท่ากับ $384.67 \pm 16.24 \text{ mg/l}$ และ $427.76 \pm 11.27 \text{ mg/l}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 25 ภาพที่ 34)

ตารางที่ 25 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในถังเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนื้ออวน

ปัจจัย	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(mg/l)	
ระดับความหนาแน่น(ตัวต่อตารางเมตร)		
6		383.54±21.67 ^a
10		416.94±12.42 ^b
14		437.45±8.89 ^b
F-test		*
ชนิดวัสดุตัวกลาง		
ไบโอบอล		413.05 ±27.44
ตาข่ายพรางแสง		398.21 ±33.82
เนื้ออวน		426.67±20.51
F-test		ns
ระดับความหนาแน่น	ชนิดวัสดุตัวกลาง	
6	ไบโอบอล	384.67± 16.24 ^{ab}
6	ตาข่ายพรางแสง	361.32±18.34 ^a
6	เนื้ออวน	404.62±24.46 ^{abc}
10	ไบโอบอล	415.05±28.09 ^{abc}
10	ตาข่ายพรางแสง	405.57±10.74 ^{abc}
10	เนื้ออวน	430.20±21.17 ^{bc}
14	ไบโอบอล	439.44±21.14 ^c
14	ตาข่ายพรางแสง	427.74±37.89 ^{bc}
14	เนื้ออวน	445.19±26.55 ^c
F-test		*

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 30 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในถังเลี้ยงปลานุ่ทรายที่ระดับความหนาแน่นต่างๆ ร่วมกับการใช้วัสดุตัวกลางไอบอล ตาข่ายพรางแสง และเนือวน

3. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดทางชีวภาพ

แอมโมเนีย ระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีวัสดุตัวกลางไอบอลในการเลี้ยงปลานุ่ทรายที่ระดับความหนาแน่น 6, 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนียได้เท่ากับ 21.83%, 17.65% และ 20.59% ตามลำดับ วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงสามารถบำบัดแอมโมเนียได้เท่ากับ 25.00%, 26.67% และ 29.41% ตามลำดับ และวัสดุตัวกลางเนือวนสามารถบำบัดแอมโมเนียได้เท่ากับ 23.68%, 22.22% และ 27.03% ตามลำดับ

ไนโตร วัสดุตัวกลางไอบอลสามารถบำบัดไนโตรได้เท่ากับ 14.29%, 11.11% และ 11.11% ตามลำดับ วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงสามารถบำบัดไนโตรได้เท่ากับ 19.48%, 27.27% และ 20.34% ตามลำดับ และวัสดุตัวกลางเนือวนสามารถบำบัดไนโตรได้เท่ากับ 14.29%, 23.08% และ 16.39% ตามลำดับ

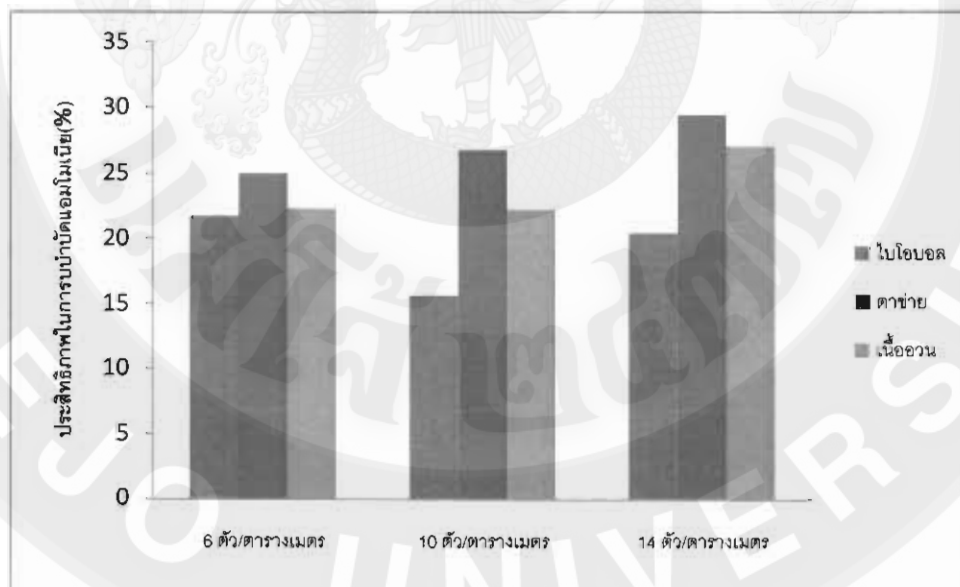
ไนเตรท วัสดุตัวกลางไอบอลสามารถบำบัดไนเตรทได้เท่ากับ 21.26%, 18.21% และ 18.64% ตามลำดับ วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงสามารถบำบัดไนเตรทได้เท่ากับ 26.76%, 23.65% และ 25.60% ตามลำดับ และวัสดุตัวกลางเนือวนสามารถบำบัดไนเตรทได้เท่ากับ 26.07%, 22.66% และ 21.46% ตามลำดับ

ของแข็งแขวนลอย วัสดุตัวกลางไอบอลสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้เท่ากับ 21.76%, 17.65% และ 16.35% ตามลำดับ วัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้เท่ากับ

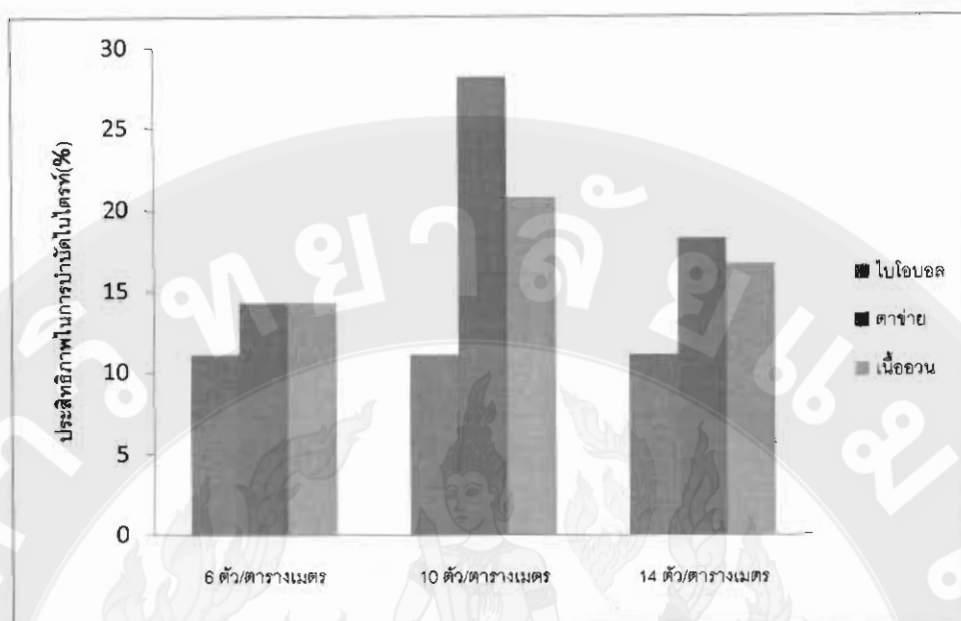
26.66%, 25.34% และ 26.21% ตามลำดับ และวัสดุตัวกลางเนื้ออ่อนสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้เท่ากับ 21.82%, 25.72% และ 26.17% ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่าโดยเฉลี่ยระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีวัสดุตัวกลางไบโอบอล ดาข่ายพรงแสง และเนื้ออ่อนสามารถบำบัดแอมโมเนียได้เท่ากับ 20.02%, 27.03% และ 24.31% ตามลำดับ สามารถบำบัดไนไตรท์ได้เท่ากับ 12.17%, 21.64% และ 17.98% ตามลำดับ สามารถบำบัดไนเตรทเฉลี่ย 19.37%, 25.34% และ 23.40% ตามลำดับ สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 18.59%, 26.07% และ 24.57% ตามลำดับ

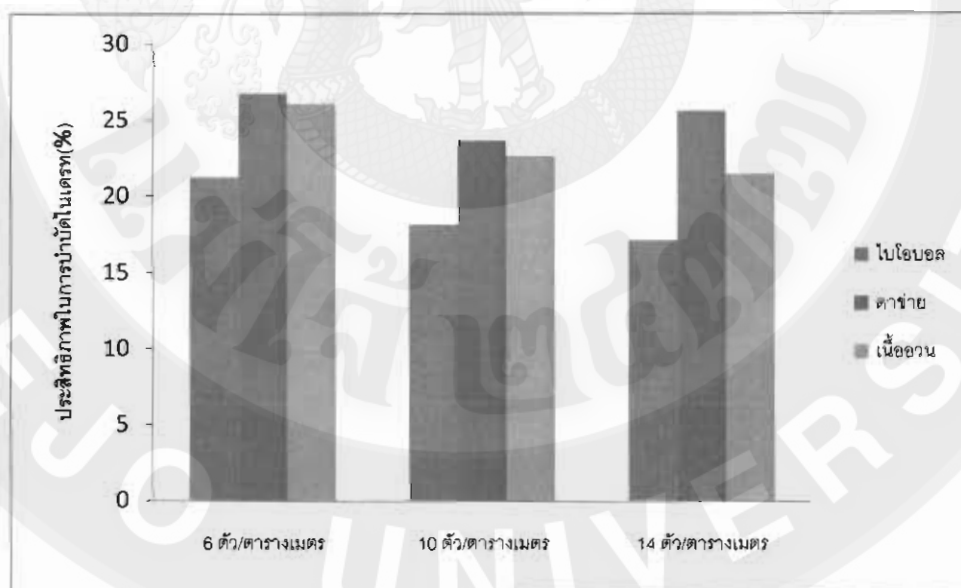
Timmonas *et al.* (2002) กล่าวว่ากระบวนการบำบัดทางชีวภาพทำงานโดยแบคทีเรียที่อยู่บนพื้นผิวของวัสดุกรองที่ให้แบคทีเรียเกาะ ซึ่งแสดงโดยพื้นที่ผิว ถ้าพื้นที่ผิวจำเพาะสูง แสดงว่าระบบนั้นมีพื้นที่ผิวดอ ปริมาตรสูง อย่างไรก็ตามค่านี้ต้องมีความเหมาะสมเนื่องจากถ้าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงเกินไปน้ำจะไหลผ่าน ไม่มีมีตะกอนมาเกาะได้ง่าย จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุกรองดาข่ายมีพื้นที่ผิวให้แบคทีเรียเกาะได้มากกว่าวัสดุกรองเนื้ออ่อนและวัสดุกรองไบโอบอลจึงส่งผลให้วัสดุกรองดาข่ายมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่า



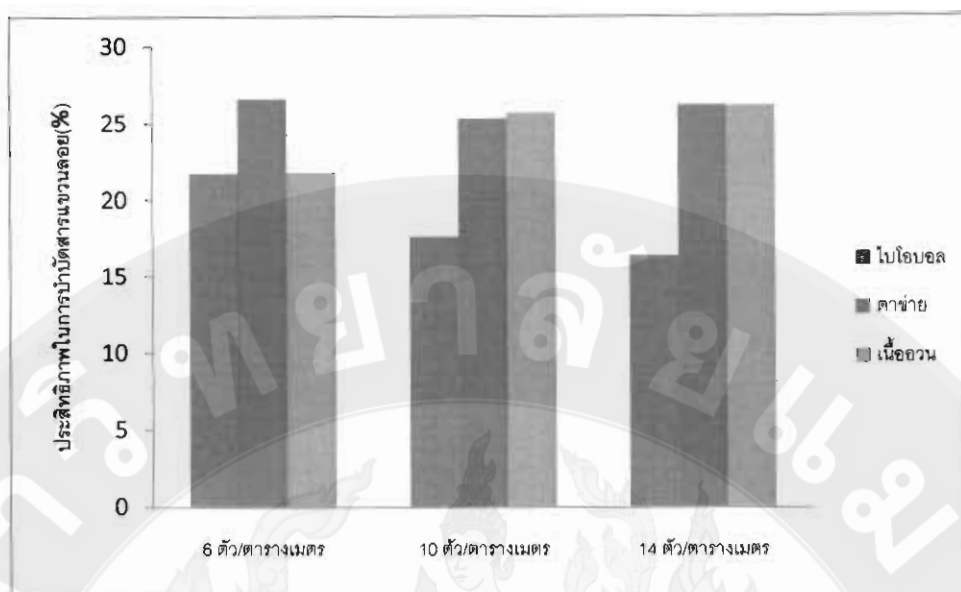
ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของวัสดุตัวกรองไบโอบอล, ดาข่ายกรองแสงและเนื้ออ่อน



ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพในการบำบัดในไตรท์ของวัสดุตัวกรองไบโอบอล, ตาข่ายกรองแสงและเนื้ออวน



ภาพที่ 33 ประสิทธิภาพในการบำบัดในไตรท์ของวัสดุตัวกรองไบโอบอล, ตาข่ายกรองแสงและเนื้ออวน



ภาพที่ 34 ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยของวัสดุตัวกรองไบโอบอล, ตาข่ายกรองแสง และเนื้อวน

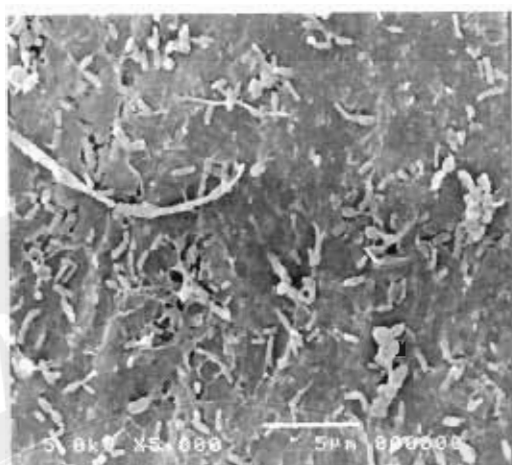
4. การศึกษาการยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิวตัวกลางชีวภาพโดยการส่องตรวจด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางไบโอบอล ตาข่ายพรแสงและเนื้อวนที่ใช้ในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาทุพราย ที่ระดับความหนาแน่น 6 10 และ 14 ตัวต่อตารางเมตร ผลการส่องตรวจด้วยกล้องอิเล็กตรอนพบว่าจุลินทรีย์ที่เติบโตและยึดเกาะบนผิวของวัสดุตัวกลางจะพบจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย(filamentous) และเมื่อส่องตรวจด้วยกำลังขยายสูงก็จะพบแบคทีเรียรูปแท่ง(rod) เกาะยึดติดกับแบคทีเรียที่เป็นเส้นใย และมีแบคทีเรียรูปแท่งบางส่วนเกาะยึดติดกับพื้นผิววัสดุตัวกลางโดยตรง ซึ่งเมื่อระดับความหนาแน่นของปลาทุพรายที่มากขึ้นส่งผลให้แบคทีเรียที่พื้นผิวของวัสดุตัวกลางมากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 39-41 (ก-ค) เมื่อเลี้ยงปลาด้วยความหนาแน่นที่สูงขึ้นก็จะมีการให้อาหารปริมาณมากขึ้น ของเสียที่ปล่อยออกจากตัวปลาเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งในรูปสารละลาย ในรูปตะกอนแขวนลอยที่มาจากอาหารเหลือและการขับถ่ายจากตัวปลาของเสียเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรียมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย

การส่องตรวจพื้นผิวตัวกลางตาข่ายพรแสงที่ทำงานเป็นระยะเวลา 70 วัน พบว่ามีการสะสมของแบคทีเรียเป็นชั้นหนาแตกต่างจากในช่วง 35 วันอย่างเห็นได้ชัดและส่วนระดับความหนาแน่นของปลาที่มากขึ้นยังมีผลทำให้มีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียบนผิวของตัวอย่างซึ่งสอดคล้องกับที่ระยะเวลา 35 วันเนื่องจากอาหารและออกซิเจนที่มากพอ แบคทีเรียจะขยายตัวไปเรื่อยๆ ซึ่งวัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมากจะรองรับหรือสร้างฟิล์มชีวภาพได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 42-44 (ก-ค)

การยึดเกาะของแบคทีเรียบนผิวของวัสดุตัวกลางมีมากขึ้น เชื้อแบคทีเรียสามารถยึดเกาะวัสดุตัวกลางดาข่ายพรางแสงและเนื้ออ่อนได้ดีกว่าไบโอบอล ซึ่งจากการสังเกตกล่าวได้ว่าเชื้อแบคทีเรียที่ยึดเกาะบนวัสดุตัวกลางใกล้เคียงกัน เนื่องจากพื้นที่ผิวที่มากและอีกทั้งเนื้ออ่อนมีลักษณะของเส้นด้ายที่พันกันไปมา ทำให้มีซอกมุมที่ให้แบคทีเรียยึดเกาะได้มากกว่า โดยเชื้อแบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนบนวัสดุตัวกลางได้ดี ในขณะที่ดาข่ายพรางแสงมีลักษณะเป็นเส้นพลาสติกสานเสริมแรงด้วยเชือกทำให้มีผิวลื่นเป็นเหตุให้แบคทีเรียยึดเกาะได้ยากกว่า โดยคุณสมบัติของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกันคือ ไบโอบอล เป็นวัสดุทำด้วยพลาสติกมีลักษณะเป็นหนามเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ ออกแบบมาให้เป็นทั้งกรองกายภาพและชีวภาพ และเป็นตัวกระจายน้ำทำให้เพิ่มปริมาณ ออกซิเจน ดักตะกอนและเป็นที่อยู่ของแบคทีเรีย ติดตั้งง่าย น้ำหนักเบา ซอกมุมมากทำความสะอาดและถอดล้างง่าย ส่วนดาข่ายพรางแสงใช้ได้ทั้งกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ ใช้ดักตะกอนได้แต่ไม่สามารถดักตะกอนแขวนลอยได้ดีและสามารถยึดอายุกรองไม่ให้เกิดการอุดตันได้ง่าย มีพื้นที่ว่างมาก ติดตั้งง่าย น้ำหนักเบา ทำความสะอาดไม่ยากนัก ส่วนเนื้ออ่อนใช้กรองได้ทั้งกายภาพ และชีวภาพ ทำความสะอาดง่าย มีความคงทน น้ำไหลผ่านได้ทั่วถึง จักรูปทรงให้เข้าบ่อกรองได้ง่าย มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ใช้ดักตะกอนและเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุตัวกลางเนื้ออ่อนและดาข่ายพรางแสงสามารถสนับสนุนการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้

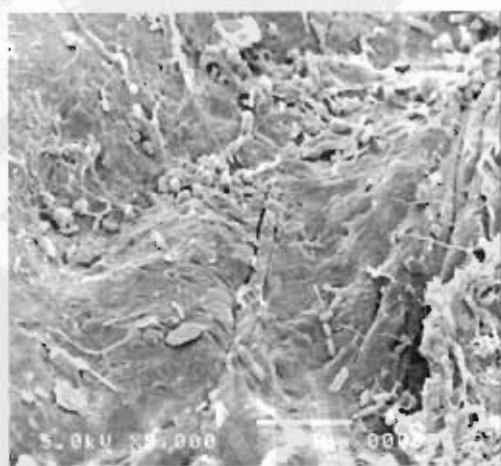
โดยจากผลการทดลองนี้กล่าวได้ว่าลักษณะทางกายภาพของวัสดุตัวกลาง เช่น พื้นที่ผิว ก็เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาในครีฟิเคชันเพิ่มขึ้น เพราะการมีพื้นที่ผิวมากทำให้จุลินทรีย์สามารถยึดเกาะบนตัวกลางได้มากขึ้น ซึ่งสามารถดึงเอาสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำมาใช้ได้มากขึ้น ซึ่งพื้นที่ผิวยิ่งมากขึ้นเท่าใดก็ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์มากขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ให้จุลินทรีย์มาเกาะมากแต่ผลที่ตามมาคือ ทำให้เกิดการอุดตันของวัสดุตัวกลาง โดยในช่วงแรกแบคทีเรียจะเป็นชนิดที่เกาะติดบนตัวกลางอย่างเดียว เมื่อระบบเดินไปได้ระยะหนึ่งจะมีแบคทีเรียที่หลุดและเติบโตอยู่ในช่องว่างของตัวกลางในลักษณะแขวนลอย ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวกลางจะมีความสำคัญน้อยกว่าความสามารถในการรักษาตะกอนเหล่านี้ไว้



(ก)



(ข)



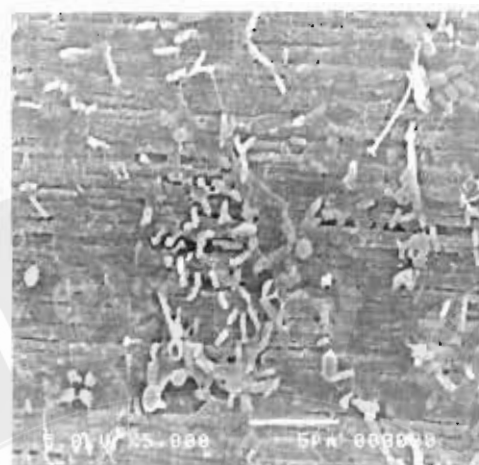
(ค)

ภาพที่ 35 การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางไบโอบอลที่ระยะเวลา 35 วันของการเลี้ยงปลานู๋
ทรายระบบปิด

(ก) พื้นผิวตัวกลางไบโอบอลที่ใช้กับการเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับ 6 ตัว/ตารางเมตร

(ข) พื้นผิวตัวกลางไบโอบอลที่ใช้กับการเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับ 10 ตัว/ตารางเมตร

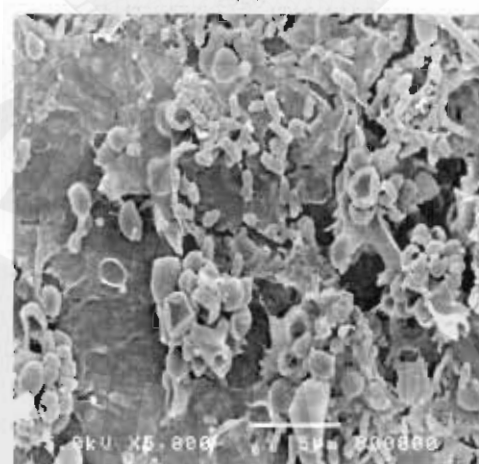
(ค) พื้นผิวตัวกลางไบโอบอลที่ใช้กับการเลี้ยงปลานู๋ทรายที่ระดับ 14 ตัว/ตารางเมตร



(ก)



(ข)



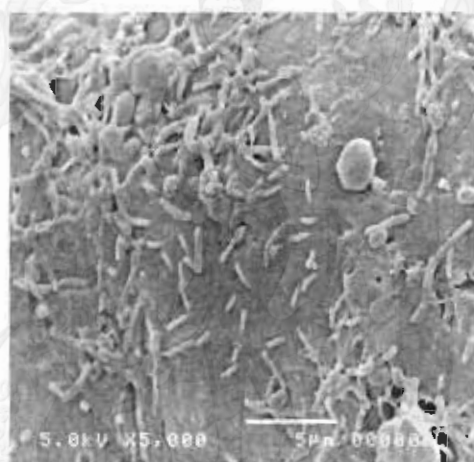
(ค)

ภาพที่ 36 การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางตาข่ายพรางแสงที่ระยะเวลา 35 วัน ของการเลี้ยง
ปลาตู้ทราบบนปิด

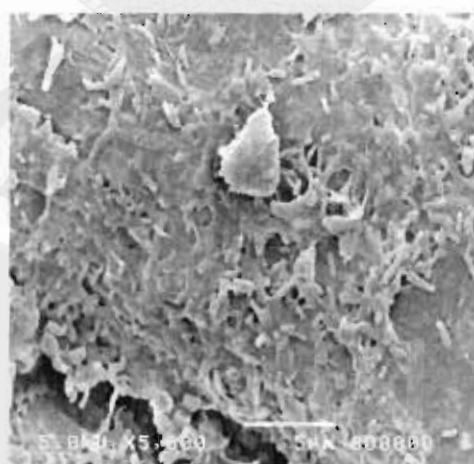
- (ก) พื้นผิวตัวกลางตาข่ายพรางแสงที่ใช้กับการเลี้ยงปลาตู้ทราบบนที่ระดับ 6 ตัว/ตารางเมตร
- (ข) พื้นผิวตัวกลางตาข่ายพรางแสงที่ใช้กับการเลี้ยงปลาตู้ทราบบนที่ระดับ 10 ตัว/ตารางเมตร
- (ค) พื้นผิวตัวกลางตาข่ายพรางแสงที่ใช้กับการเลี้ยงปลาตู้ทราบบนที่ระดับ 14 ตัว/ตารางเมตร



(ก)



(ข)



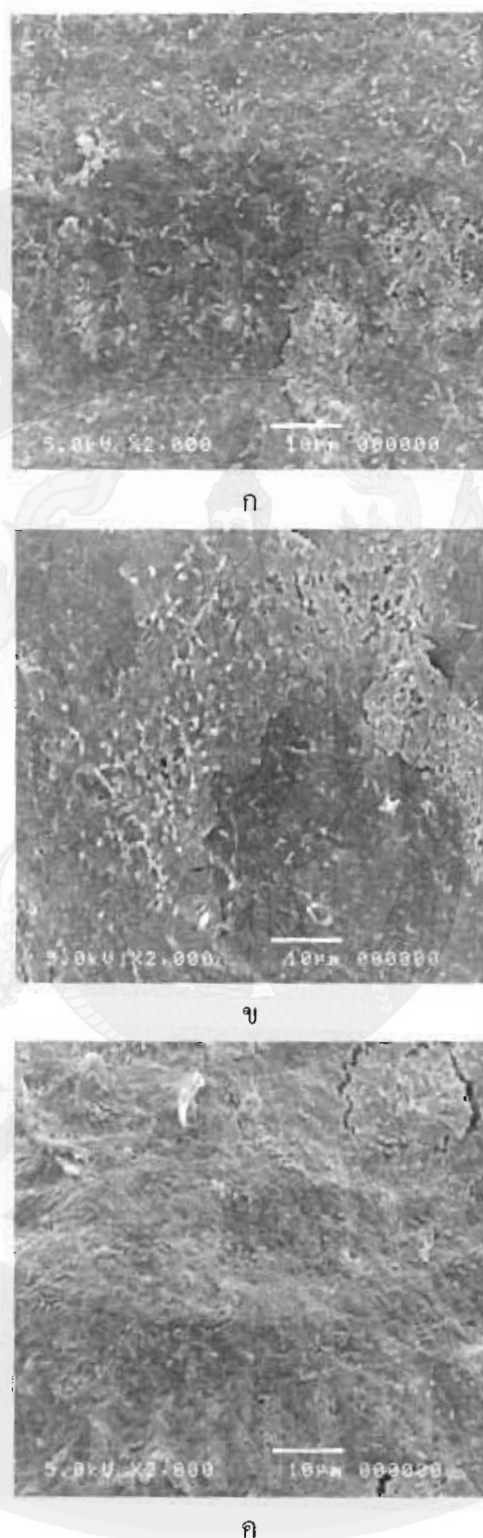
(ค)

ภาพที่ 37 การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางเนื้ออ่อนที่ระยะเวลา 35 วันของการเลี้ยงปลาบู่-ทรายระบบปิด

(ก) พื้นผิวตัวกลางเนื้ออ่อนที่ใช้กับการเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับ 6 ตัว/ตารางเมตร

(ข) พื้นผิวตัวกลางเนื้ออ่อนที่ใช้กับการเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับ 10 ตัว/ตารางเมตร

(ค) พื้นผิวตัวกลางเนื้ออ่อนที่ใช้กับการเลี้ยงปลาบู่ทรายที่ระดับ 14 ตัว/ตารางเมตร

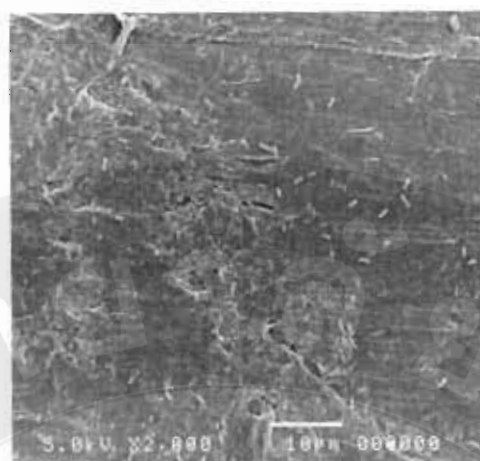


ภาพที่ 38 การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางไบโอบอลที่ระยะเวลา 70 วันของการเลี้ยง ปลา
บู่ทรายระบบปิด

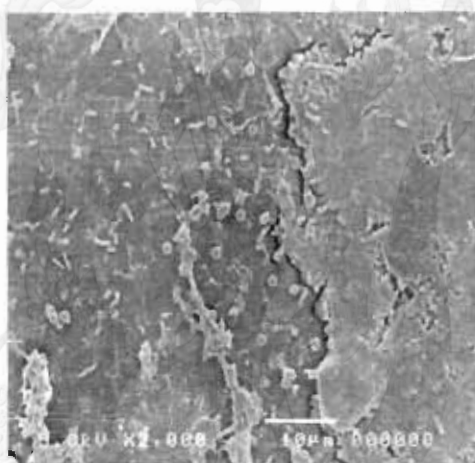
(ก) พื้นผิวตัวกลางไบโอบอลที่ใช้กับการเลี้ยงปลาน้ำทรายที่ระดับ 6 ตัว/ตารางเมตร

(ข) พื้นผิวตัวกลางไบโอบอลที่ใช้กับการเลี้ยงปลาน้ำทรายที่ระดับ 10 ตัว/ตารางเมตร

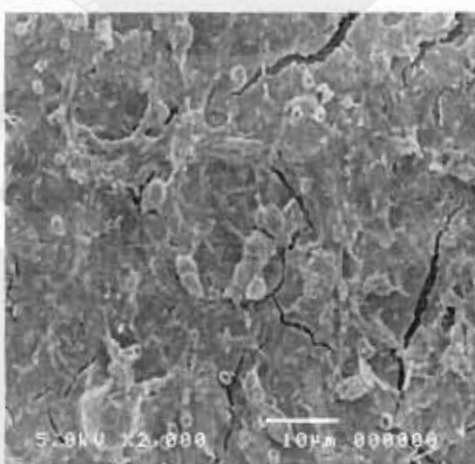
(ค) พื้นผิวตัวกลางไบโอบอลที่ใช้กับการเลี้ยงปลาน้ำทรายที่ระดับ 14 ตัว/ตารางเมตร



ก



ข



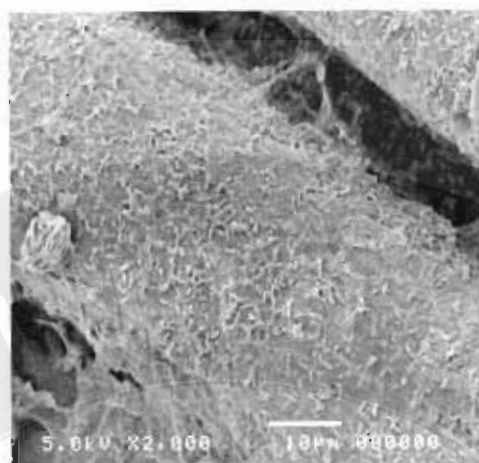
ค

ภาพที่ 39 การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางสายพรางแสงที่ระยะเวลา 70 วันของการเลี้ยง
 ปลายุ่ทรายระบบปิด

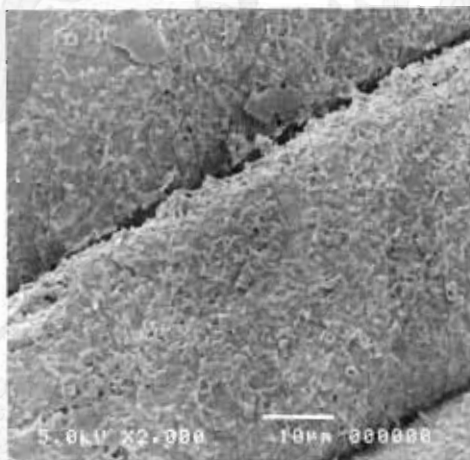
(ก) พื้นผิวตัวกลางสายพรางแสงที่ใช้กับการเลี้ยงปลายุ่ทรายที่ระดับ 6 ตัว/ตารางเมตร

(ข) พื้นผิวตัวกลางสายพรางแสงที่ใช้กับการเลี้ยงปลายุ่ทรายที่ระดับ 10 ตัว/ตารางเมตร

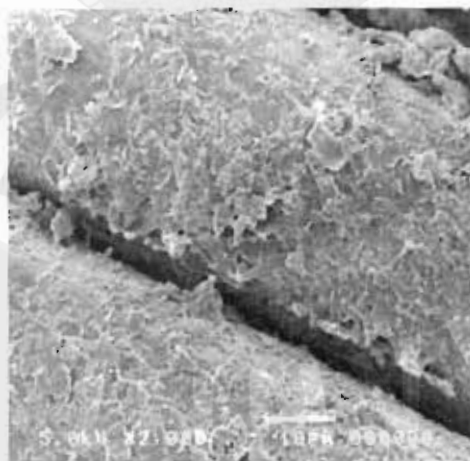
(ค) พื้นผิวตัวกลางสายพรางแสงที่ใช้กับการเลี้ยงปลายุ่ทรายที่ระดับ 14 ตัว/ตารางเมตร



ก



ข



ค

ภาพที่ 40 การยึดเกาะของแบคทีเรียที่พื้นผิววัสดุตัวกลางเนื้ออ่อนที่ระยะเวลา 70 วันของการเลี้ยงปลานู-
ทรายระบบปิด

(ก) พื้นผิวตัวกลางเนื้ออ่อนที่ใช้กับการเลี้ยงปลานูทรายที่ระดับ 6 ตัว/ตารางเมตร

(ข) พื้นผิวตัวกลางเนื้ออ่อนที่ใช้กับการเลี้ยงปลานูทรายที่ระดับ 10 ตัว/ตารางเมตร

(ค) พื้นผิวตัวกลางเนื้ออ่อนที่ใช้กับการเลี้ยงปลานูทรายที่ระดับ 14 ตัว/ตารางเมตร

สรุปผลการทดลอง

1. การเลี้ยงปลาบุทรายระบบปิดที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าที่ระดับความหนาแน่น 14 ตัว /ตารางเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการเจริญเติบโต คีที่สุด เมื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นทั้ง 3 ระดับ พบว่าคุณภาพน้ำของถังเลี้ยงปลาทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)
2. ประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด พบว่าวัสดุกรองตาข่ายกรองแสงมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ และไนเตรทและปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ดีกว่าวัสดุตัวกรองอื่น
3. สรุปได้ว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 14 ตัว /ตารางเมตร ให้ผลการเจริญเติบโตคีที่สุดเมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการเจริญเติบโต ในส่วนของวัสดุตัวกลางจะพบว่าวัสดุกรองตาข่ายกรองแสงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณา อองอาจ, วลีรัตน์ มุสิกะสังข์, พณรัตน์ สอนสุกใส และพุทธ ส่องแสงจินดา. 2551. อัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกทะเลที่ความหนาแน่นต่างกัน 3 ระดับ. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ณรงค์ กองมาก. 2542. ปลาน้ำจืด. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. นนทบุรี. 94 หน้า.
- เจิดฉัตร อมาตยกุล, วัฒนะ สีลาภัทร, สุรางค์ สมโนจิตราภรณ์, ทวี วิพุทธานุมาศ, ประดิษฐ์ ศรีภักดิ์ประสิทธิ์ และสมพร กุลบุญ. 2538. ปลาน้ำจืด. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 89 หน้า.
- ทวี วิพุทธานุมาศ และ ยุพินท์ วิวัฒน์ชัยเศรษฐ์. 2532. การเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด. วารสารการประมง. 42(1):451-463
- ธงชัย พรหมสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร. หน้า 56-63.
- ประดิษฐ์ เพ็ชรเจริญ และ การุณ อุไรประสิทธิ์. 2549. ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตของลูกปลาไหลนา. การประชุมวิชาการประมง ประจำปี 2547. วันที่ 7-9 กรกฎาคม 2547.
- มันสิน ตันจุลเวศม์. 2547. เคมิวิทย์ของน้ำและน้ำเสีย, พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 19/3-19/36.
- มูทิตา วุฒิกัมพล, เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวด และสรวิศ เผ่าทองสุข. 2546. ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาห้ำทิม *Oreochromis niloticus* ระบบปิดในบ่อดิน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิฐ นันทิ์ญญธาดา. 2546. การกำจัดไนเตรทในตู้เลี้ยงปลาโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 157 หน้า.
- วีระพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ศิริวัฒน์ กุเจริญไพบูลย์. 2544. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดระบบปิดโดยตะกอนเร่ง. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- สิทธิโชค บัวดี. 2547. แบคทีเรียไนตริฟายอิงและตัวกรองชีวภาพจากวัชดุธรรมชาติเพื่อกำจัดแอมโมเนียในระบบบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 153 หน้า.
- สุธาสนี อ่วมจันทร์. 2546. การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มแบคทีเรียในตัวกรองชีวภาพแบบไนตริ-ฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 147 หน้า.
- สุวิมล ตันทสุกิจวนิช. 2545. ระบบบำบัดไนเตรทสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรพล สายวานิช. 2531. การออกแบบและการควบคุมการทำงานของกระบวนกรตกกระบวนกรไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alderton, D. 1983. Looking After Aquarium Fish. Pentos Company, London.

Cheah, S.H., Senoo, S., Lam, S.Y., Ang, K.J., 1994. Aquaculture of high-value freshwater fish in Malaysia: the marble or sand goby (*Oxyeleotris marmoratus* Bleeker). Naga ICLARMQ. 17(2): 22-25.

Doyle, R.W. and A. J. Talbot. 1986. Artificial selection for growth and correlated selection on competitive behavior in fish. Abb. 43:1059-1064.

Gonzales, J.G.M. 1995. Nitrogen Removal: chapter 6 in Adv. Waste Treatment. 3rd ed. California State University, California, USA.

Gross, A., C.E. Boyd and C.W. Wood. 2000. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. Aquacultural Eng. 24: 1-14.

Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture. 166: 181-212.

Haugen, K.S., M.J. Semmens and P.J. Novak. 2002. A novel in situ technology for the treatment of nitrate contaminated groundwater. Wat. Res. 36: 3497-3506.

Hepher, B. 1967. Some Biological Aspects of Warm-Water Fish Pond Management. pp. 412-428. In Gerking, D. (ed.). The Biological Basis of Freshwater Fish. Blackwell Scientific Publication, Oxford and Edinburgh, UK.

Ip, Y.K., S.F. Chew and D.J. Randall. 2001. Ammonia toxicity, tolerance, and excretion. Fish physiology 20: 109-148.

Landau, M. 1992. Introduction to Aquaculture. John & Sons, Inc., USA.

Lawson, T. B. 1995. Fundamentals of aquaculture engineering. Chapman & Hall. New York. 355 pp.

Lee, J.S. and M.E. Newman. 1997. Aquaculture: An Introduction. 2nd ed. Interstate Publishers, Inc., USA.

Leclercq, D.I., Hopkins, K., 1985. Preliminary test of an aerated tank system for tilapia culture. Aquacult. Eng. 4, 229-304.

Lin, C.K., Kaewpaitoon, K., 2000. An overview of freshwater cage culture in Thailand. In: Liao, I.C., Lin, C.K. (Eds.), Cage Aquaculture in Asia; Proceedings of the First International Symposium on Cage Aquaculture in Asia. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines and World Aquaculture Society Southeast Asian Chapter, Bangkok, Thailand, pp. 253-257.

- Mohammad T. Ridha and Emmanuel M. Cruz. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. *Aquacultural Engineering* 24: 157–166.
- Pe/nzes, B. 1986. Goldfish and Ornamental Carp. Barron's Educational Series, Inc., Woodbury, New York.
- Redner, R., Stickney, R.R., 1979. Acclimation to ammonia by *Tilapia aurea*. *Trans. Am. Fish. Soc.* 108, pp. 383–388.
- Roberts, T.R. 1989. The freshwater fishes of western Borneo (Kalimantan Barat, Indonesia). *California Academy of Science Memoirs* 14: 166-167.
- Robinson, B. W. and R. W. Doyle. 1990. Phenotype correlation among behavior and growth variable in tilapia: Implication for domestication selection. *Aquaculture* 85:177-186.
- Scott, P.W. 1996. *The Complete Aquarium*. Dorling Kindersley, London.
- Spotte, J. 1971. *Seawater Aquariums : The Captive Environment*. Wiley, New York.
- Su Shiung Lam, Mohd. Azmi Ambak , Ahmad Jusoh and Ah Theem Law. 2008. Waste excretion of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker) fed with different diets. *Aquaculture*. 274 :49–56 pp.
- Timmonas, M.B., J.M. Ebeling. F.W. Wheaton, S.T. Summerfelt and. B.J. Vinci. 2002. Recirculating aquaculture system, NRAC Publication No. 01-002. Cayuga Venture. New York. 769 p.
- Vijayan, M.M. and J.F. Leatherland. 1988. Effect of stocking density on the growth and stress- response in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture*. 75: 159-170.
- Wang, N., R. S. Hayward and D. B. Noltie. 2000. Effects of social interaction on growth of juvenile hybrid sunfish held at two densities. *North Amer. J. Aqua.* 62:161-167.
- Wilkie, D. 1986. *Aquarium Fish*. Pilham Books Ltd., London.
- Wungkobkiat, A., Lekholaryut, T., Kucharoenphaibul, S. and Matsumura, M. 1997. Treatment of nitrogen through nitrification and denitrification processes using immobilized cell system in nursery shrimp pond and aquarium wastewaters : nitrogen compound changing under intensive culture of *Carassius auratus* (goldfish) in closed system Aquaria. *Annual Reports of IC Biotech.* Osaka University, Osaka, Japan, 20: 537-548.