ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

The Changes of Water Quality in Closed Recirculation Culture System Strocked with Red Tilapia

ชื่อนักศึกษา นางสาวบุศยรัตน์ เอี่ยมทศ

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์จตุพร บัณฑิต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา .....

(อาจารย์จตุพร บัณฑิต)

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย หวังวิบูลย์กิจ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 23 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2547

18783

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

The Changes of Water Quality in Closed Recirculation Culture System Strocked with Red Tilapia

T099213

โดย

นางสาวบุศยรัตน์ เอี่ยมทศ

ปพ.
ป668ก
2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...99213.....
วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

พ.ศ. 2545

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

The Changes of Water Quality in Closed Recirculation Culture System Strocked with Red Tilapia

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดง ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เป็นระยะเวลา 21 สัปดาห์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) ซึ่งประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ คือทรีทเมนต์ที่ 1 เลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 70 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ทรีทเมนต์ที่ 2 เลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 140 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และทรีทเมนต์ที่ 3 เลี้ยงที่ระดับความหนาแน่น 210 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ทุกๆ 2 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ในบ่อพักน้ำ ปริมาณแอมโมเนียรวมอยู่ในช่วง 0.44 – 2.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.03 - 0.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0.94 - 16.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออโธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.52 - 3.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตะกอนรวมอยู่ในช่วง 0.37 – 0.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 79.00 - 168.67 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต และค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.49 – 7.25 ในบ่อเลี้ยงปลาปริมาณแอมโมเนียรวมอยู่ในช่วง 0.20 – 2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.02 - 0.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 1.05 - 18.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออโธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.50 – 3.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตะกอนรวมอยู่ในช่วง 0.37 – 0.60มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 80.00 – 177.67 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต และค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.25 –7.25 อัตราการรอดตายของปลานิลแดงทรีทเมนต์ที่ 1, ทรีทเมนต์ที่ 2 และทรีทเมนต์ที่ 3 มีอัตราการรอดเท่ากับ 96 $\pm$ 2 , 95 $\pm$ 2 และ 92 $\pm$ 1 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$) ตามลำดับ

คำนิยม

การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์จตุพร บัณฑิต ซึ่งเป็นที่ปรึกษาในการทำปัญหาพิเศษ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแนวคิดต่างๆ พร้อมตรวจทาน แก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการทดลอง และขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ และคุณนิพนธ์ จิตตำนาน ที่ได้ให้ความสะดวกในระหว่างการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณวรางคนา กาซัม คุณนิภาพร เกียรติศิริ คุณสถิต อินชื่นใจ และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษา และได้ให้ความช่วยเหลือในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการศึกษา

นางสาวบุศยรัตน์ เอี่ยมทศ

พฤษภาคม 2545

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	12
ผลการทดลอง	15
สรุปผลและวิจารณ์	29
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก	35

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระในน้ำที่ระดับ pH และอุณหภูมิต่างๆ	6
2	ผลของคุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเฉลี่ยจากการเลี้ยงปลานิลแดงตลอดการทดลอง	26
3	ผลของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงเฉลี่ยจากการเลี้ยงปลานิลแดงตลอดการทดลอง	27
4	อัตราการรอดตายของปลานิลแดงตลอดการทดลอง	28

ตารางผนวกที่

1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม(มิลลิกรัม/ลิตร)	35
2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์(มิลลิกรัม/ลิตร)	36
3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท(มิลลิกรัม/ลิตร)	37
4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออโธฟอสเฟต(มิลลิกรัม/ลิตร)	38
5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสรวม(มิลลิกรัม/ลิตร)	39
6	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตเจนรวม(มิลลิกรัม/ลิตร)	40
7	ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง(มิลลิกรัม/ลิตร$CaCO_3$)	41
8	ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนรวม(มิลลิกรัม/ลิตร)	42
9	ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(มิลลิกรัม/ลิตร)	43
10	ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	44
11	ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง	45
12	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์(มิลลิกรัม/ลิตร)	46
13	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียอิสระ(มิลลิกรัม/ลิตร)	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วัฏจักรของไนโตรเจนในชั้นน้ำและชั้นตะกอนดินใต้น้ำ	7
2	แสดงผังของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด	13
3	แสดงปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ	15
4	แสดงปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง	16
5	แสดงปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ	16
6	แสดงปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง	17
7	แสดงปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ	17
8	แสดงปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง	18
9	แสดงปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์เฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ	18
10	แสดงปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์เฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง	19
11	แสดงปริมาณออโธฟอสเฟตในน้ำจากบ่อพักน้ำ	19
12	แสดงปริมาณออโธฟอสเฟตในน้ำจากบ่อเลี้ยง	20
13	แสดงค่าความเป็นด่างเฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ	20
14	แสดงค่าความเป็นด่างเฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง	21
15	แสดงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบ่อพักน้ำ	21
16	แสดงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบ่อเลี้ยง	22
17	แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อพักน้ำ	22
18	แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อเลี้ยง	23
19	แสดงปริมาณตะกอนรวมเฉลี่ยในบ่อพักน้ำ	23
20	แสดงปริมาณตะกอนรวมเฉลี่ยในบ่อเลี้ยง	24
21	แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในบ่อพักน้ำ	24
22	แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในบ่อเลี้ยง	25
23	แสดงอัตราการรอดตายของปลานิลแดงในแต่ละทรีทเมนต์ที่เลี้ยงเป็นเวลา 21 สัปดาห์	28

คำนำ

ปลานิลแดงเป็นปลาที่มีความนิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากปลาชนิดนี้มีสีแดงซึ่งเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคและยังมีปริมาณเนื้อสูง ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาด ดังนั้นจึงมีความพยายามในการพัฒนาการเลี้ยงให้ดีขึ้นโดยลดต้นทุนและพยายามเพิ่มผลผลิตในการเลี้ยง ซึ่งต้นทุนการเลี้ยงที่สำคัญประการหนึ่ง คือ น้ำ เนื่องจากการเลี้ยงปลาที่ดีต้องมีการถ่ายเทน้ำออกไปเพื่อระบายของเสียที่ตกค้างในบ่อออก แต่น้ำที่ปล่อยออกไปสู่ภายนอกจะเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำในธรรมชาติได้ ดังนั้นหากสามารถลดการใช้น้ำลงได้ โดยไม่เป็นอันตรายต่อปลาก็จะทำให้ได้ผลกำไรที่สูงขึ้น ซึ่งวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาคือ การใช้ระบบการกรองน้ำเข้ามาช่วยลดความเป็นพิษในน้ำลงได้ โดยการนำน้ำที่ใช้เลี้ยงปลามาบำบัดโดยการกรองน้ำผ่านตัวกรองซึ่งมีทั้งแบบใช้การกรองทางเคมีและชีวภาพ ซึ่งสามารถหมุนเวียนน้ำกลับไปเลี้ยงปลาได้อีกครั้งซึ่งเป็นการระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยมีการหมุนเวียนน้ำแบบปิด นอกจากนั้นแล้วในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนาทั่วๆไปจะพบว่า สาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนไปไม่ให้เหมาะสมกับการเลี้ยงคือ อาหารที่เหลือตกค้างและของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมา หากเลี้ยงปลาในความหนาแน่นสูงก็จะทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมลงมาก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงที่ระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันเพื่อหาระดับความเหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลแดงให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลแดงที่ระดับความหนาแน่นแตกต่างกันในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด
2. เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำต่อการเติบโต อัตราการรอด และผลผลิตของปลานิลแดงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

การตรวจเอกสาร

ปลานิลแดง เกิดจากการพัฒนาสายพันธุ์ของปลานิลธรรมดาให้มีสีแดงสด สวยงาม เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค เนื่องจากมีปริมาณเนื้อสูงพอสมควร และมีรสชาติอร่อย ทำให้มีความนิยมเลี้ยงกันเป็นจำนวนมาก (Boonyaratpalin and Unprasert, 1989) ผู้เลี้ยงจึงเพิ่มการเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยมีการเพิ่มการให้อาหารทำให้เกิดของเสียในน้ำที่เลี้ยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารที่เหลือตกค้างและของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา ซึ่งของเสียที่เหลือจะเกิดการสะสมจนเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ดังนั้น คุณภาพจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งที่ผู้เลี้ยงควรต้องพิจารณาเพื่อควบคุมกิจการให้ประสบผลสำเร็จในผลิต เพราะน้ำเป็นตัวกลางในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การกินอาหาร การเจริญเติบโต ความเข้มแข็ง ความทนทานต่อการเกิดโรค ความเครียดของสัตว์น้ำ รวมทั้งคุณภาพของสัตว์น้ำที่เลี้ยง ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำในบ่อเป็นสำคัญ ซึ่งในการเลี้ยงปลาในระบบปิด โดยใช้ถังกรองช่วยลดความเป็นพิษของน้ำ ก็จะสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ และยังสามารถลดต้นทุนน้ำได้อีกด้วย Miller and Libey (1984) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาดุก โดยใช้ระบบถังกรองแบบ Trickling Biofilter พบว่าลดการสะสมของไนโตรเจนที่ทำให้เป็นพิษต่อปลาดุกได้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ พุทธและคณะ (2543) ซึ่งพบว่าบ่อออกซิเดชั่นและระบบกรองด้วยทรายในการเลี้ยงกุ้ง สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ต้นกำเนิดของปลานิลแดงยังไม่มีหลักฐานยืนยันแน่ชัด อย่างไรก็ตามจากการศึกษาค้นคว้าทางพันธุศาสตร์พอจะสรุปถึงแหล่งกำเนิดของปลานิลแดงได้ 3 กรณี คือ

1. เป็นปลาที่เกิดจากการผสมระหว่าง Oreochromis hornorum และ O. mossambicus
2. เป็นพันธุ์ปลานิลแดงที่นำมาจากไต้หวัน ซึ่งเชื่อว่าเป็นลูกผสมระหว่าง O. niloticus และ O. mossambicus
3. เป็นปลาที่มีการแปรผันทางพันธุกรรมมาจากปลานิล O. niloticus ที่เลี้ยงอยู่ในประเทศฟิลิปปินส์

ซึ่งจากการตรวจสอบ estease isozymes จากสมอง เนื้อเยื่อหัวใจ serum และจากอวัยวะสืบพันธุ์ของปลานิลแดงพบว่าปลานิลแดงมีลักษณะทางพันธุกรรมใกล้เคียงกับปลานิล (O. niloticus)

และหลังจากที่ได้มีการตรวจสอบโดยวิธีอิเลคโตรโฟริซิส (Electrophoresis) โดยมหาวิทยาลัยสเตอลิ่งและมหาวิทยาลัยฟิลิปปินส์ สรุปได้ว่า ปลานิลแดงสายพันธุ์ไทยในปัจจุบันเป็นลูกผสมระหว่างปลานิล Oreochromis niloticus และปลาหมอเทศ O.massambicus โดยการผสมพันธุ์เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างจีนัสของปลาทั้งสองชนิดเป็นสัดส่วนที่พอเหมาะแบบ

ใดแบบหนึ่งที่ทำให้ปรากฏเป็นปลานิลแดง (พรรณศรีและคณะ, 2527) โดยมีความถี่ของยีนส์ปลานิล 78 % และปลาหมอเทศ 22 % (สุจินต์และคณะ, 2531)

ปลานิลแดงสามารถจัดอนุกรมวิธานได้ดังนี้

Phylum Vertebrata

Class Osteichthyes

Order Perciformes

Family Cichidae

Genus Oreochromis

Species Niloticus

ลักษณะทั่วไปของปลานิลแดงคล้ายคลึงกับปลานิลธรรมดา แตกต่างกันที่สีของลำตัว คือสีบริเวณลำตัวของปลานิลแดงมีสีส้ม แดง เหลือง หรือชมพู บางตัวอาจจะมีกระสีดำขนาดเล็กกระจายทั่วไปบริเวณลำตัว ปลายครีบ ซึ่งแตกต่างจากปลานิลธรรมดาที่มีลำตัวเป็นสีเขียวหรือเทาปนน้ำเงิน จำนวนก้านครีบและสัดส่วนบนลำตัวของปลานิลแดงกับปลานิลธรรมดาแตกต่างกันน้อยมาก ลักษณะที่เห็นได้ชัดเจน คือ สีของผนังช่องท้องของปลานิลแดงเป็นสีขาวเนื่องจากไม่มีเม็ดสีดำ และในช่องท้องของปลานิลแดงมีไขมันมากกว่าปลานิลธรรมดาหลายเท่า (พรรณศรี, 2531)

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง ที่ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำควรต้องพิจารณาเพื่อควบคุมกิจการให้ประสบความสำเร็จในการผลิต เพราะน้ำเป็นตัวกลางในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การกินอาหาร การเจริญเติบโต ความแข็งแรง ความทนทานต่อการเกิดโรค ความเครียดของสัตว์น้ำ รวมทั้งคุณภาพของสัตว์น้ำที่เลี้ยงขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำในบ่อเป็นสำคัญ คุณสมบัติของน้ำที่ทำการศึกษามีดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำหรือเรียกย่อ ๆ ว่า pH เป็นการวัดปริมาณของไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในน้ำซึ่งเป็นเครื่องแสดงให้เราทราบว่าน้ำเป็นกรดหรือเป็นด่าง ค่า pH มีค่าอยู่ระหว่าง 0 –14 โดยมี pH 7 เป็นจุดกลาง หรือมีค่าเป็นกลาง pH ที่ต่ำกว่า 7 มีค่าเป็นกรด และ pH ที่มีค่าสูงกว่า 7 มีค่าเป็นด่าง ในบ่อเลี้ยงปลาจะมีการเปลี่ยนแปลง pH ในรอบวันโดยแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำใช้ก๊าซ Co_2 เพื่อสังเคราะห์แสงในตอนกลางวันทำให้ค่า pH สูงขึ้น ส่วนในเวลากลางคืนมีเฉพาะการหายใจ พืชคาย Co_2 ออกมา จึงทำให้ค่า pH ลดลงในตอนกลางคืน และพบว่าน้ำที่มีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ต่ำ และมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชมาก จะมีค่า pH สูงถึง 9 หรือ 10 ในช่วงตอนบ่าย แต่ถ้าน้ำมีความเป็นด่างสูงการเปลี่ยนแปลงของ pH จะมีไม่มาก ซึ่ง

น้ำที่เหมาะต่อการเลี้ยงปลาไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของ pH เกินกว่า 2 หน่วยในรอบวัน (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528)

ในช่วง pH 4 – 6 และ 9 – 11 ปลาจะเจริญเติบโตช้าและอ่อนแอ โดยทั่วไปปลานิลสามารถอาศัยในระดับน้ำที่มีค่า pH ตั้งแต่ 7.2 – 8.3 หรือในช่วงเช้า pH 7 และช่วงบ่าย pH 10 ก็สามารถอาศัยอยู่ได้

การพิจารณาถึงผลของ pH ต่อปลานั้น นอกจากผลโดยตรงแล้วจะต้องพิจารณาถึงผลทางอ้อมควบคู่ไปด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำจะไปมีผลต่อความเป็นพิษชนิดอื่น ๆ ด้วย เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์

2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยที่นับว่ามีความสำคัญมากที่สุดในการเพาะเลี้ยงปลา ดังนั้น ผู้เพาะเลี้ยงปลาควรทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนในน้ำว่าเกิดขึ้นได้อย่างไรแหล่งที่มาของออกซิเจนในน้ำคือจากอากาศซึ่งสามารถละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ระดับความสูงและความเค็มของน้ำ ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำที่มีความเค็มสูงขึ้นออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยลง (ไมตรี, 2532)

ถึงแม้ว่าออกซิเจนสามารถแพร่กระจายจากอากาศไปในน้ำได้แต่อัตราการแพร่กระจายจะต่ำและช้ากว่ามากในบรรยากาศ แหล่งสำคัญของการเพิ่มออกซิเจนคือการสังเคราะห์แสง ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืช

สาเหตุที่ทำให้ออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง ได้แก่

1. สัตว์น้ำและพืชน้ำใช้ในการหายใจ
2. แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ในน้ำ
3. การแพร่กระจายจากน้ำสู่อากาศ

ปัญหาการขาดออกซิเจน มักจะเกิดในบ่อที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้อาจมาจากเศษเหลือของอาหาร ของเสียจากปลา ตะกอนสารอินทรีย์ที่ติดมากับน้ำ และแพลงก์ตอนที่ตายลง ซึ่งเมื่อเน่าสลายก็จะดึงออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไปใช้ จุดวิกฤตในการเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนจะเป็นในช่วงเช้ามืดที่ยังไม่มีการสังเคราะห์แสง สัตว์น้ำมักจะลอยหัวขึ้นชายบ่อและตายในช่วงนี้

ปริมารออกซิเจนในน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 5 ppm จนถึงจุดอิ่มตัว ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำอยู่เป็นเวลานานจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตไม่ดีและส่วนมากถ้าต่ำกว่า 1 ppm สัตว์น้ำจะตายภายในไม่กี่ชั่วโมง

ปลานิลสามารถทนต่อสภาพน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ได้ดีตั้งแต่ 0 – 0.4 ppm หรือโดยเฉพาะ ถ้าต่ำกว่า 0.8 ppm ปลาจะลอยหัว เมื่อปลานิลอยู่ในสภาพดังกล่าวก็จะขึ้นมาใช้ออกซิเจนบริเวณผิวน้ำและอากาศ ทำให้เกิดอาการเครียดและลดการเจริญเติบโต

3. อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อขบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายของปลาเป็นอย่างมาก เช่น การย่อยอาหาร การเคลื่อนไหว การกินอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีผลต่อปฏิกิริยาย่อยสลายอินทรีย์สารของแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลโดยตรงทำให้ผลผลิตของปลาสูงขึ้น โดยปกติปลาในเขตร้อนจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25 – 32 องศาเซลเซียส แต่ปลาไม่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ (ไมตรี, 2530)

ปลานิลทนต่ออุณหภูมิในช่วงกว้างตั้งแต่ 21.1 – 42.0 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส ปลาจะอยู่ได้ไม่นานและทำให้ตายได้ ปลานิลจะไม่กินอาหารและไม่เจริญเติบโตเมื่ออุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และจะไม่วางไข่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 19 – 28 องศาเซลเซียส

4. การสะสมของไนโตรเจน

4.1 แอมโมเนีย แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้มาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ (organic substance)(ในรูปของอาหารที่ให้สัตว์น้ำ)

อินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้ซึ่งประกอบไปด้วย กรดอมิโน เปปไตด์ และยูเรีย เป็นต้น พวกแบคทีเรีย ในบ่อกุ้งจะช่วยสลายกรดอมิโนและเปปไตด์ ได้แอมโมเนีย โดยขบวนการ Ammonification (เวียง, 2525 อ้างโดย ยงยุทธและคณะ, 2532)

แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะมีอยู่ 2 รูป คือ แอมโมเนียอิสระหรือ Unionized ammonia (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกรูปหนึ่งคือ แอมโมเนียอิออน หรือ ionized ammonia (NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

ปริมาณแคมโมเนียที่ละลายในน้ำทั้งหมด จะอยู่ในรูป Unionized และ ioninized ตามสมการดังต่อไปนี้

$$NH_3 + H_0O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

หรือ

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

รูป Unionized รูป ionized

ทั้ง 2 รูปของแอมโมเนียจะอยู่ในรูปใดและปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ pH และอุณหภูมิของน้ำในบ่อ ในสภาวะที่ pH สูงขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้น จากการที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่า pH (ตารางที่ 1) โดยที่ pH จะมีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมากกว่าอุณหภูมิ ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงค์ตอนพืช พบว่าการเปลี่ยนแปลง pH ในรอบวันสูง บางครั้งพบว่า pH จะสูงถึง 8.9 ทำให้เปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) มีสูง ดังนั้นการควบคุมความหนาแน่นของแพลงค์ตอนพืช (ความโปร่งใสของน้ำ) จึงมีความจำเป็นที่ต้องคำนึงถึง เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในรอบวันไม่ให้สูงเกินควร (ยงยุทธและคณะ, 2532)

ตารางที่ 1 แสดงถึงอัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระในน้ำที่ระดับ pH และอุณหภูมิต่างๆ

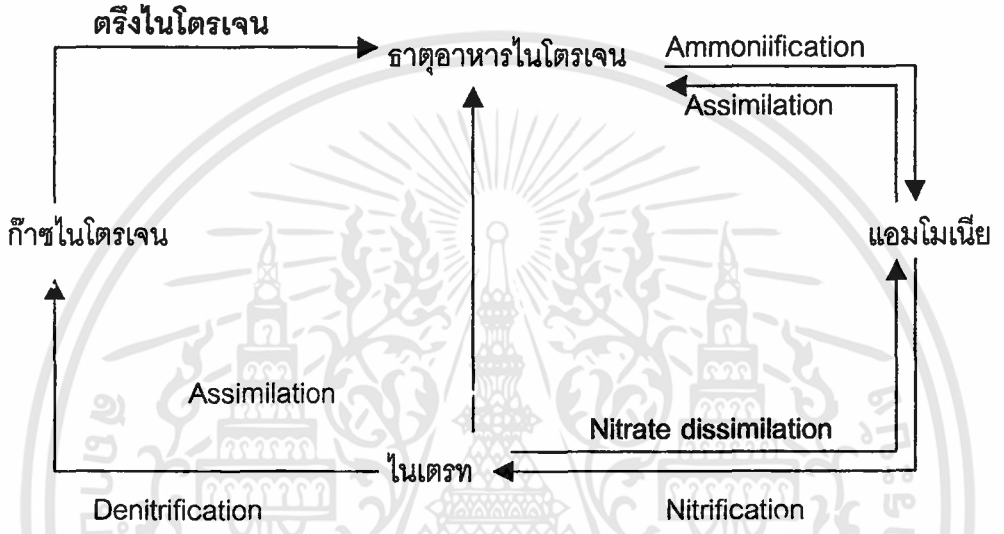
PH	10 องศาเซลเซียส	15 องศาเซลเซียส	20 องศาเซลเซียส
7.0	0.19	0.27	0.40
7.1	0.23	0.34	0.50
7.2	0.29	0.43	0.63
7.3	0.37	0.54	0.79
7.4	0.47	0.68	0.99
7.5	0.59	0.83	1.24
7.6	0.74	1.07	1.56
7.8	1.16	1.69	2.45
7.9	1.46	2.12	3.06
8.0	1.83	2.65	3.38

ที่มา : มั่นสินและไพพรรณ, 2536

4.2 ไนไตรท์ และ ไนเตรท ไนไตรท์เป็นสารตัวกลางของการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้เป็นไนเตรท โดยไนตริไฟอิ้งแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ Nitrosomonas และ Nitrobacter ซึ่งแบคทีเรีย 2 กลุ่มนี้เป็นพวกแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน ไนไตรท์ส่วนใหญ่จะพบในน้ำในปริมาณน้อย ยกเว้นในสภาวะที่แหล่งน้ำขาดออกซิเจน ไนไตรท์จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยไนไตรท์จะซึมผ่านผิวหนังและเหงือกเข้าไปในพลาสม่าของสัตว์น้ำ แล้วเข้าไปจับกับเม็ดเลือดแดง แล้วจะไป Oxidize Haemoglobin ในเม็ดเลือดแดง ให้กลายเป็น Methemoglobin ซึ่งเป็น Haemoglobin ที่ไม่สามารถรับออกซิเจนส่งไปให้เซลล์ต่างๆ ในร่างกายได้ ทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจน ร่างกายอ่อนแอ

และติดเชื้อได้ง่าย ส่งผลให้โตช้าเนื่องจากสัตว์น้ำจะกินอาหารลดลงและตายในที่สุด (ช่วยชูศรีและจารุวรรณ, 2525)

ไนเตรทเป็นผลจากขบวนการ Nitrification การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทเกิดจากการใช้ไนเตรทโดยแพลงก์ตอนพืช การเปลี่ยนถ่ายน้ำใหม่ โดยปกติแล้วไนเตรทจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ยกเว้นในกรณีที่ความเข้มข้นสูงมาก (ยงยุทธและคณะ, 2532) ปริมาณไนเตรทไม่ควรเกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีมากเกินไปจะส่งผลให้สัตว์น้ำได้รับอันตรายได้ โดยทำให้เกิดโรคโลหิต คือ Methemoglobinemia เช่นเดียวกับการโดนไนไตรท์ (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528)



ภาพที่ 1 วัฏจักรของไนโตรเจนในชั้นน้ำและชั้นตะกอนดินใต้น้ำ
ที่มา : มั่นสินและไพพรรณ, 2536

จากภาพแสดงให้เห็นถึงการหมุนเวียนไนโตรเจนในระบบหรือเขียนเป็นสมการขบวนการ Nitrification ดังนี้

$$NH_4^+ + 1.5O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

$$NO_2^- + 0.5O_2 \longrightarrow NO_3^-$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่สำคัญของการเกิดขบวนการนี้คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) นั่นเอง เนื่องจากขบวนการนี้จะต้องใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งก็คือ Nitrosomonas และ Nitrobacter ในการทำให้แอมโมเนียกลายเป็นไนไตรท์ และจากไนไตรท์กลายเป็นไนเตรท ตามลำดับ ดังนั้นหากในระบบมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอจะทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้

Hargrove และคณะ (1996) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นที่เกิดในบ่อเลี้ยงปลานิลโดยมีระบบกรองชีวภาพแบบชุดและแบบเดี่ยว ซึ่งศึกษาถึงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) และไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในระบบ ทำการทดลองโดยใช้ปลานิล 49 ตัว น้ำหนักประมาณตัวละ 100-200 กรัม ทำการทดลอง 88 วัน โดยในช่วงแรกให้อาหารปลานิลด้วยอาหารปลาดุก ปริมาณ 1.48 กิโลกรัมต่อวัน และเพิ่มการให้อาหารขึ้นเรื่อยๆจนวันที่ 67 ให้อาหารปริมาณ 13.20 กิโลกรัมต่อวัน ในวันที่ 68 เพิ่มการให้อาหารเป็น 14.85 กิโลกรัมต่อวัน และลดการให้อาหารลงเป็น 12.38 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อการทดลองสิ้นสุดลงพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ TAN มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 70 และ 72 ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มการให้อาหารในวันที่ 68 นั่นเอง ดังนั้นจึงทำการลดปริมาณการให้อาหารลงในวันที่ 72 ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของ TAN ลดลงต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 74 ส่วนค่าไนไตรท์มีค่าเท่ากับ 13-14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 72 และ 74 เนื่องจากการเพิ่มอัตราการให้อาหารเช่นกัน แต่ค่าไนไตรท์ก็ลดต่ำลงน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในเวลา 10 วัน

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนคือ การให้อาหารสัตว์น้ำนั่นเอง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการให้อาหารในวันที่ 68 ทำให้มีอาหารเหลือตกค้างและปริมาณของเสียที่สัตว์น้ำถ่ายออกมาถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ดังนั้นหากเราควบคุมปริมาณการให้อาหารที่พอเหมาะก็จะสามารถลดปริมาณการสะสมของไนโตรเจนลงได้

5. ปริมาณออโธฟอสเฟต

ออโธฟอสเฟตเป็นธาตุที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และการสร้างโปรโตพลาสซึม (สุชาติและคณะ, 2534) ในทางประมงมักจะพิจารณาในรูปของสารประกอบออโธฟอสเฟต ได้แก่ PO_4^{3-}, HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$ สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำได้ดีและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528) ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบฟอสเฟตในปริมาณต่ำ เนื่องจากสามารถตกตะกอนกับเหล็ก แคลเซียม อลูมิเนียม และโซเดียมได้ และบางส่วนจะถูกดูดซับโดยดินเหนียวใต้ท้องน้ำ สำหรับในน้ำที่มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.3 – 6.9 จะเป็นช่วงที่มีอนินทรีย์ฟอสเฟต อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากที่สุด (ภานุและคณะ, 2539) แต่ถ้าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำสูงกว่านี้ ปริมาณฟอสเฟตจะลดลง เพราะว่าน้ำมีความเป็นกรดเป็นด่างสูงหรือมีสภาพเป็นด่าง ฟอสเฟตจะตกตะกอนกับแคลเซียมในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต (Boyd, 1982)

6. ความเป็นด่าง

ความสำคัญของความเป็นด่างของน้ำคือ เป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเร็วเกินไป (Buffering capacity) หากความเป็นด่างของน้ำมีค่าต่ำ

แสดงว่าคว่มสามารถในการควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงน้อยลงไปด้วย ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างผันแปรง่าย ส่งผลให้ปลาเครียด และน้ำที่ให้ผลผลิตสูงควรมีค่าความเป็นด่างมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ศุภรัตน์, 2540) ในสภาพปกติความเป็นด่างของน้ำธรรมชาติจะปรากฏในรูปของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) เป็นส่วนใหญ่ แต่ในสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำสูงค่าความเป็นด่างของน้ำจะประกอบด้วยคาร์บอเนต(CO_3^{2-})และไฮดรอกไซด์ (OH^-)

7. สารแขวนลอยและตะกอน

สารแขวนลอยและตะกอนประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ เมื่อสูบเข้ามาในบ่อจะตกตะกอนและเน่าสลายทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนและเพิ่มแอมโมเนีย เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ บางครั้งอาจเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อ

การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการสะสมของไนโตรเจน

ปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนมากจะอยู่ที่ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีน้อย การสะสมของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีวิธีการบำบัดอยู่หลายวิธี

1. การถ่ายน้ำในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบเปิด คือระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยมีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบ หรือก็คือการเปิดระบบออกสู่สิ่งแวดล้อมนั่นเอง วิธีนี้เป็นวิธีที่ช่วยในการบำบัดน้ำที่ดีมากเนื่องจากมีการปล่อยน้ำเสียออกนอกระบบ แล้วนำน้ำดีเข้ามาใส่แทน ทำให้สามารถลดปริมาณของเสียและสารพิษลงได้มาก แต่วิธีการนี้จะทำให้สูญเสียน้ำเป็นจำนวนมาก และน้ำเสียที่ปล่อยออกมายังเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีก

2. การใช้สารเคมี คือการนำสารเคมีเข้ามาช่วยในการบำบัด เช่น การใช้ปูนไลม์ในการปรับค่า pH หรือใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเพิ่มออกซิเจนในน้ำเป็นต้น

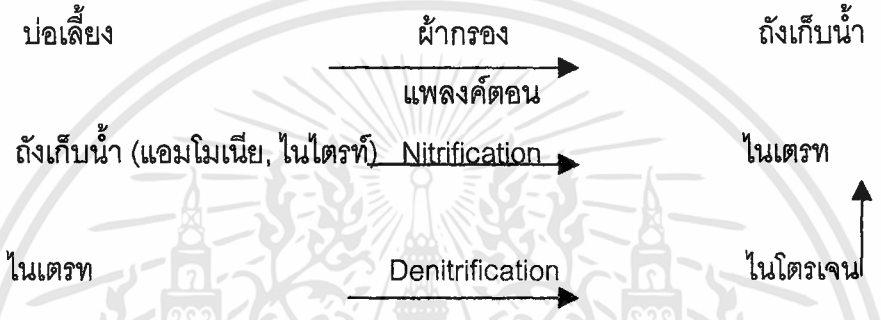
3. และการบำบัดแบบชีวภาพ ซึ่งการบำบัดแบบชีวภาพนั้นก็มีวิธีอยู่ 2 แบบ

3.1 แบบเลี้ยงสัตว์น้ำควบคู่ไปกับการเลี้ยงพันธุ์ไม้น้ำ (Hydroponic) โดยใช้พันธุ์ไม้น้ำช่วยในการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากพันธุ์ไม้น้ำต้องการคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำเสีย(ซึ่งมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่)และจะคายก๊าซออกซิเจนออกมาทำให้น้ำมีคุณภาพที่ดีขึ้น (Lawson,1995)

3.2 คือการใช้ระบบกรองชีวภาพช่วยในการบำบัด คือการนำน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำไปบำบัดในถังกรองชีวภาพ ซึ่งในถังกรองจะมีวัสดุต่างๆช่วยในการบำบัด เช่น ถ่าน กรวดทราย เส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น โดยวัสดุพวกนี้จะเป็นตัวดูดซับของเสียและยังเป็นวัสดุในการเกาะของ

พวกแบคทีเรีย aerobic ที่ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้แอมโมเนียและไนไตรท์อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้

ในการศึกษาเรื่องบำบัดน้ำทิ้งทั้งทางด้านอุตสาหกรรม แหล่งชุมชนและแหล่งเกษตรกรรมพอจะสามารถสรุปได้ว่าการใช้ระบบบำบัดแบบชีวภาพจะเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ วิธีการเริ่มจากการกรองตะกอนต่อด้วยขบวนการเพิ่มปริมาณออกซิเจน (Nitrification) โดยจะเปลี่ยนแอมโมเนียและไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท ต่อจากนั้นในขบวนการลดแก๊สออกซิเจน โดยเปลี่ยนไนเตรทเป็นไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งจะสามารถระเหยไปในบรรยากาศได้ ดังลำดับขั้นตอนข้างล่างนี้



นอกจากนี้ พุทธและคณะ (2543) ยังได้กล่าวว่า ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดก็เป็นวิธีหนึ่งที่มีการใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วให้ดีขึ้นและหมุนเวียนนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ระบบกรองชีวภาพที่ใช้หินและทรายหยาบเป็นพื้นที่เกาะของแบคทีเรียบำบัดคุณภาพน้ำและระบบรางตกตะกอน สามารถประยุกต์ใช้ในการรักษาคุณภาพน้ำ และหมุนเวียนกลับไปใช้ในโรงเพาะฟักกุ้งกุลาดำ และการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในบ่อ โดยมีผลผลิตที่ดีกว่าโรงเพาะฟักที่ไม่ใช้ระบบบำบัดคุณภาพน้ำ

พุทธและคณะ ได้ศึกษาการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดโดยใช้บ่อออกซิเดชั่น และระบบกรองด้วยทราย

บ่อบำบัดเป็นบ่อดินขนาด 0.5 ไร่ (30 x 27 เมตร) ความลึกประมาณ 1.5 เมตร เติมน้ำจากบ่อเก็บน้ำลงไปในบ่อบำบัดให้ได้ความสูง 150 ซม. จัดการให้บ่อบำบัดปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้วิธีการบำบัดแบบเติมอากาศ (บ่อออกซิเดชั่น) และกระตุ้นให้มีการใช้สารอินทรีย์และธาตุอาหารโดยผ่านการบริโภคของสิ่งมีชีวิตต่างๆ กล่าวคือ ปล่อยปลาที่สามารถกินตะกอนและซากอินทรีย์ก้นบ่อ เช่น ปลานิลแดง, ปลาปู่แคระ จำนวนไม่เกิน 50 กิโลกรัม แขวนตะกร้าใส่สาหร่ายผมนางกลางบ่อ และปลูกพันธุ์ไม้น้ำบริเวณขอบบ่อ เพื่อเป็นตัวดูดซับธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำและดิน ในบ่อบำบัดยังมีแพลงค์ตอนและแบคทีเรียซึ่งเติบโตขึ้นตามธรรมชาติ (ในสภาพที่มีออกซิเจน) เป็นตัวช่วยในการดูดซับสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำอีกด้วย

ในช่วงเริ่มของการศึกษา บ่อนี้จะปล่อยกุ้ง P17 ความหนาแน่น 62 ตัวต่อตารางเมตร โดยมีการถ่ายน้ำหมุนเวียนรวมทั้งสิ้นจำนวน 15 ครั้ง ครั้งละประมาณ 5-10% ทุกๆ 5-15 วัน ใช้เวลาเลี้ยง 147 วัน

เมื่อถึงเวลาเปลี่ยนถ่ายน้ำ น้ำจากบ่อบำบัดจะถูกเติมเข้าไปยังบ่อเลี้ยงกุ้งก่อน โดยการสูบน้ำผ่านกระบะกรองทรายขนาด 1.7 ตัน เจาะรูหรือเปิดเป็นช่องตรงบริเวณผนังและก้นเพื่อให้น้ำไหลเข้าไปในกระบะ ภายในกระบะมีถุงอวนบรรจุทรายและเปลือกหอยและซากประการังใส่ไว้จนเต็ม สูบน้ำเข้าบ่อบำบัดประมาณครั้งละ 80 – 120 เมตริกตัน หลังจากนั้นจึงสูบน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งเข้ามายังบ่อบำบัด ในระหว่างการบำบัด ควบคุมให้น้ำไหลภายในบ่ออย่างเป็นระบบ โดยจัดให้มีผ้าพลาสติกกั้นให้เป็นช่องทางเดินของน้ำ ใช้เครื่องเพิ่มอากาศใต้น้ำ ขนาด 2 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง การบำบัดจะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ จนกว่าน้ำในบ่อจะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้เมื่อต้องการถ่ายน้ำในครั้งต่อไป

ข้อมูลการเลี้ยงพบว่า จากระยะเวลาเลี้ยง 147 วัน สามารถผลิตกุ้งได้ 1,120 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 15.4 กรัม อัตรารอด 74%

จากผลการทดลองพอจะสรุปได้ว่า ในบ่อเลี้ยงมีการสะสมของแอมโมเนียรวมเป็น 3 ช่วงโดย ช่วงที่ 1 แบ่งเป็นสัปดาห์ได้ดังนี้สัปดาห์แรกของการเลี้ยง พบว่ามีการสะสมของแอมโมเนียประมาณ 0.6 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ช่วงที่ 2 พบว่า มีการสะสมของแอมโมเนียสูงสุดและต่ำสุดประมาณ 2.6 และ 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ ช่วงที่ 3 จะมีการสะสมจนถึงระดับสูงอีกครั้งคือ 1.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

ส่วนปริมาณไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงจะมีการสะสมประมาณ 3 ช่วงเช่นกัน คือในประมาณวันที่ 13, 73 และ 99 โดยมีความเข้มข้น 0.26, 0.51 และ 0.14 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ

ในบ่อบำบัดมีการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ในลักษณะเดียวกันกับบ่อเลี้ยง โดยจะมีการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์ประมาณ 3 ครั้งในช่วงสัปดาห์แรก และวันที่ 69-73 และ 106-111 ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นสูงประมาณ 1.7 และ 0.4 , 1.3 และ1.1 และ 0.4 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำของบ่อบำบัดโดยวิธีการออกซิเดชั่นและการกรองด้วยกระบะทราย เกิดขึ้นในระดับต่างๆ กัน โดยพบว่าสามารถลด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตได้เฉลี่ยถึง 36%, 14%, 21% และ 26% ตามลำดับ(พุทธและคณะ, 2543)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. บ่อปูนกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 m. 13 cm. X 83 cm. จำนวน 18 บ่อ
2. กระเบื้องขนาด 1 m. 13 cm. X 70 cm. และ 56.5 cm. X 70 cm. อย่างละ 9 แผ่น
3. ถังพลาสติกขนาด 55 X 80 X 50 cm. จำนวน 9 ถัง
4. ตะกร้าพลาสติกขนาด 55 X 40 X 40 cm. จำนวน 18 ตะกร้า
5. เส้นใยกรองหยาบขนาด 54 X 78.5 X 2 cm. ถังละ 1 ชั้น หนัก 470 กรัม
6. เส้นใยกรองละเอียดขนาด 54 X 78.5 X 12 cm. ถังละ 3 ชั้น หนัก 1.7 กิโลกรัม
7. ถ่านคาร์บอนหนัก 24 กิโลกรัมต่อถัง
8. ท่อพีวีซี
10. เครื่องให้อากาศพร้อมด้วยอุปกรณ์ในการให้อากาศ
11. ปั๊มน้ำขนาดเล็ก 18 ตัว
12. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์น้ำ
    - 12.1 เครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
    - 12.2 เครื่องวัดปริมาณความเป็นกรดเป็นด่าง(pH) HANA รุ่น HI 8424
    - 12.3 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(DO meter) รุ่น YSI 52
    - 12.4 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer) Milton Roy รุ่น SPECTRONIC 401
    - 12.5 หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)
    - 12.6 Water baht
13. อาหารปลาดุกเม็ดเล็ก, อาหารปลาดุกเม็ดใหญ่ และอาหารปลากินพืช
14. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด
15. ปลานิลแดงแปลงเพศ ขนาด 2-3 นิ้ว จำนวน 900 ตัว

วิธีการทดลอง

1. แผนการทดลอง

จัดแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randommized Design) โดยแบ่งออกเป็น 3 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ ละ 3 ซ้ำ

ทรีทเมนต์ที่ 1 บ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงที่ความหนาแน่น 50 ตัว / บ่อ (70 ตัว /ลบ.ม.)

ทรีทเมนต์ที่ 2 บ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงที่ความหนาแน่น 100 ตัว / บ่อ (140 ตัว / ลบ.ม.)

ทรีทเมนต์ที่ 3 บ่อที่เลี้ยงปลานิลแดงที่ความหนาแน่น 150 ตัว / บ่อ (210 ตัว / ลบ.ม.)

2. วิธีการทดลอง

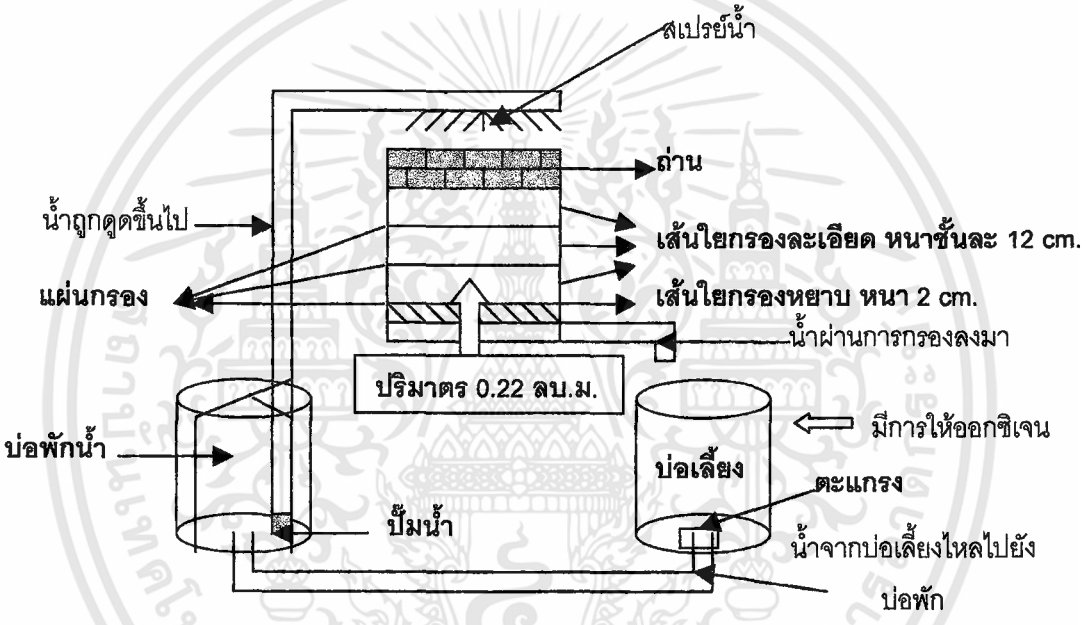
2.1 ขั้นตอนการเตรียมถังกรอง

2.1.1 นำถ่านใส่ตะกร้าพลาสติก ตะกร้าละ 12 กก. จำนวน 18 ตะกร้า

2.1.2 นำเส้นใยกรองใส่ในถังพลาสติกเป็นชั้นๆ โดยมีแผ่นกรองพลาสติกวางซ้อนเพื่อเพิ่มเนื้อที่ในการไหลของน้ำ

2.1.3 นำตะกร้าพลาสติก 2 ตะกร้า วางซ้อนบนถังพลาสติก ด้านล่างของถังจะเจาะเป็นรูให้น้ำไหลออกมายังบ่อเลี้ยง

2.2 ขั้นตอนการเตรียมบ่อพักน้ำ



ภาพที่ 2 แสดงผังของระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการทดลอง

*** การคำนวณปริมาตรถังกรองใช้สูตร $\frac{\text{Area Filter}}{\text{Specific Surface Area}}$ (Wheaton *et al*, 1994)

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

2.3.1 เติมน้ำลงไปในบ่อเลี้ยงบ่อ สูงประมาณ 70 cm. จากนั้นปล่อยปลานิลแดง ขนาดตัว 13.13 $\pm$ 0.28 กรัม เป็นจำนวน 50 ตัว 100 ตัว และ 150 ตัว

2.3.2 วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ก่อนการทดลอง

2.3.3 การให้อาหาร ให้อาหารปลาดุกเม็ดเล็กในระยะแรก โดยจะให้ทุกวันๆ ละ 2 มื้อ เวลาในการให้คือเวลาประมาณ 9.00 และ 16.00 นาฬิกา การให้อาหารแต่ละครั้งจะให้ปลากิน

จนอิ่ม โดยจะมีการปรับเปลี่ยนปริมาณอาหารตามความต้องการบริโภคของปลา เมื่อปลาโตขึ้นจะให้อาหารปลากินพืชขนาดใหญ่ขึ้น

2.3.4 ไม่มีการถ่ายน้ำ แต่มีการดูดตะกอนและเติมน้ำในส่วนที่หายไป ทุกๆ 2 สัปดาห์

2.3.5 ในการตั้งระบบหมุนเวียนน้ำ ให้มีอัตราการหมุนเวียนน้ำเท่ากับ 5.4 ลิตร/นาที

2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์น้ำทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างทั้งบ่อพักและบ่อเลี้ยง ซึ่งทำการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำตามพารามิเตอร์ต่อไปนี้

2.4.1 อุณหภูมิ โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ

2.4.2 DO โดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO meter)

2.4.3 pH ใช้เครื่องวัด pH

2.4.4 ความเป็นด่าง โดยการไตเตรทตามวิธี APHA (1981)

2.4.5 แอมโมเนียรวม ($NH_4^+ + NH_3$) ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2.4.6 ไนไตรท์ (NO_2)ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวิธี Diazotization

2.4.7 ไนเตรท (NO_3) ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยการนำน้ำผ่าน cadmium column

2.4.8 ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (SRP) ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2.4.9 ฟอสฟอรัสรวม (TP) ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2.4.10 ไนโตรเจนรวม (TKN) ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2.4.11 ตะกอนรวม (TSS) ใช้การระเหยของน้ำโดยการใช้ Water baht

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำในบ่อพักและบ่อเลี้ยง ในแต่ละทรีทเมนต์ทุกๆ 2 สัปดาห์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มทดลอง (Oneway-ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์

สถานที่ทำการทดลอง

ห้อง D 104 ตึกเจ้าคุณทหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ระยะเวลาในการทำการทดลอง

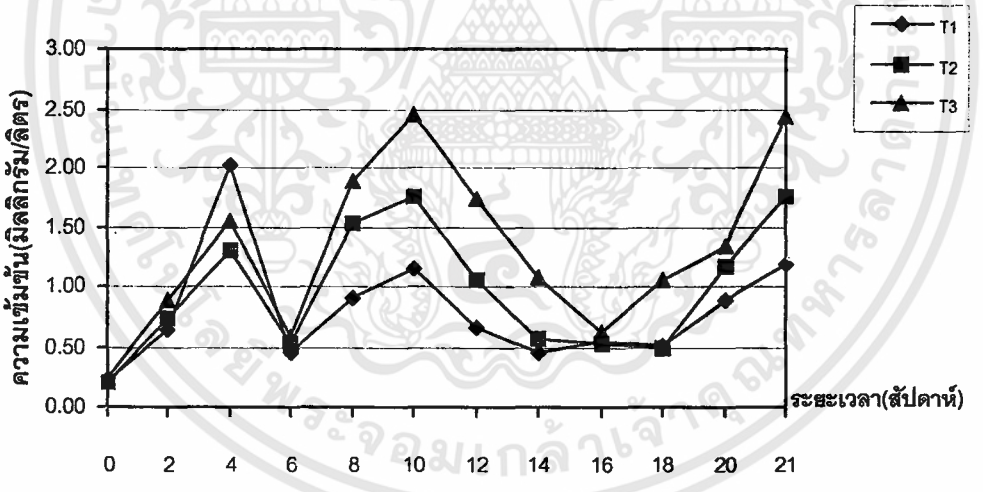
ตั้งแต่ 4 กรกฎาคม – 28 พฤศจิกายน 2544 รวมระยะเวลาการทดลอง 140 วัน

ผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำจากการเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด โดยมีการใช้ระบบกรองเพื่อช่วยปรับปรุงให้น้ำมีคุณสมบัติดีขึ้นเหมาะสมในการเลี้ยง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการเลี้ยงปลานิลแดงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน คือที่ความหนาแน่น 50 ตัว/บ่อ (ทรีทเมนต์ที่ 1) , 100 ตัว/บ่อ (ทรีทเมนต์ที่ 2) และ 150 ตัว/บ่อ (ทรีทเมนต์ที่ 3) โดยเก็บน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์ทั้งบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงปลาทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 21 สัปดาห์ ซึ่งพบว่า

1. ปริมาณแอมโมเนียรวม

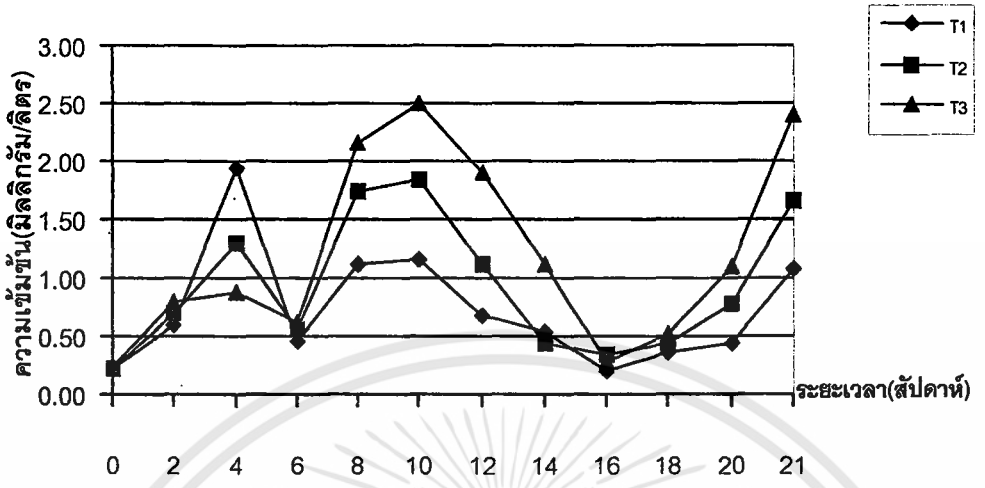
บ่อพัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 8 10 และ 12 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนียรวมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($P > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.44 – 0.46 มก./ล. จากภาพที่ 3 พบว่า มีการสะสมของแอมโมเนียเป็น 3 ช่วง คือในช่วงสัปดาห์ที่ 2-6 สัปดาห์ที่ 6-16 และช่วงสัปดาห์ที่ 16-21 โดยสัปดาห์ที่ 6-16 มีการสะสมสูงสุด



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ

บ่อเลี้ยง จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 8 10 และ 12 โดยค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 0.20 – 1.93 มก./ล. แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนียรวมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($P > 0.05$) จากภาพที่ 4 พบว่า มี

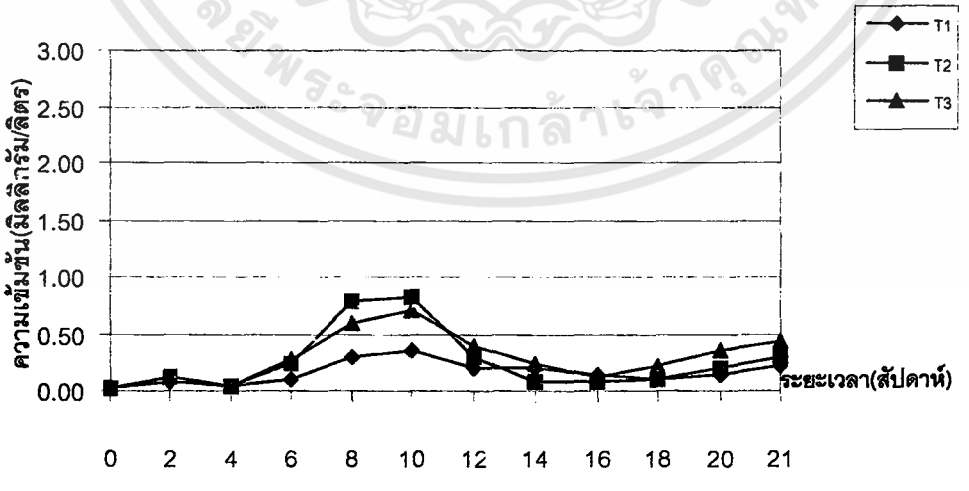
การสะสมของแอมโมเนียเป็น 3 ช่วง คือในช่วงสัปดาห์ที่ 2-6 สัปดาห์ที่ 6-16 และช่วงสัปดาห์ที่ 16-21 โดยเฉพาะสัปดาห์ที่ 6-16 มีการสะสมสูง



ภาพที่ 4 แสดงปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง

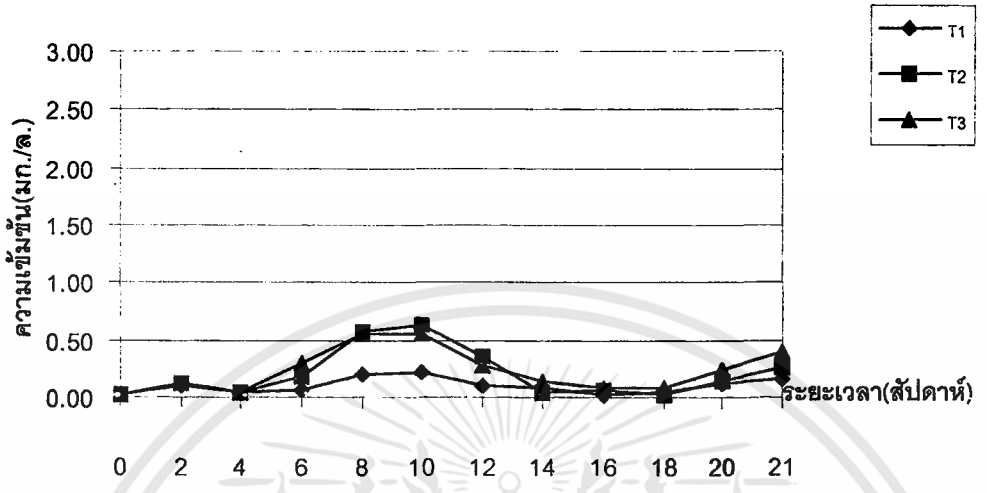
2. ปริมาณไนไตรท์ (NO_2^-)

บ่อพัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 10 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรท์มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($P > 0.05$) จากภาพที่ พบว่ามีการสะสมของไนไตรท์เป็น 3 ช่วง คือในช่วงสัปดาห์ที่ 2-6 สัปดาห์ที่ 6-16 และช่วงสัปดาห์ที่ 16-21 เช่นเดียวกับแอมโมเนีย โดยเฉพาะสัปดาห์ที่ 6-16 นอกจากนั้นจะเห็นว่า ปริมาณของไนไตรท์มีค่าไม่สูงมาก แต่จะสูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 10 ซึ่งมีค่าสูงถึง 0.7 ppm ใน T3



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ

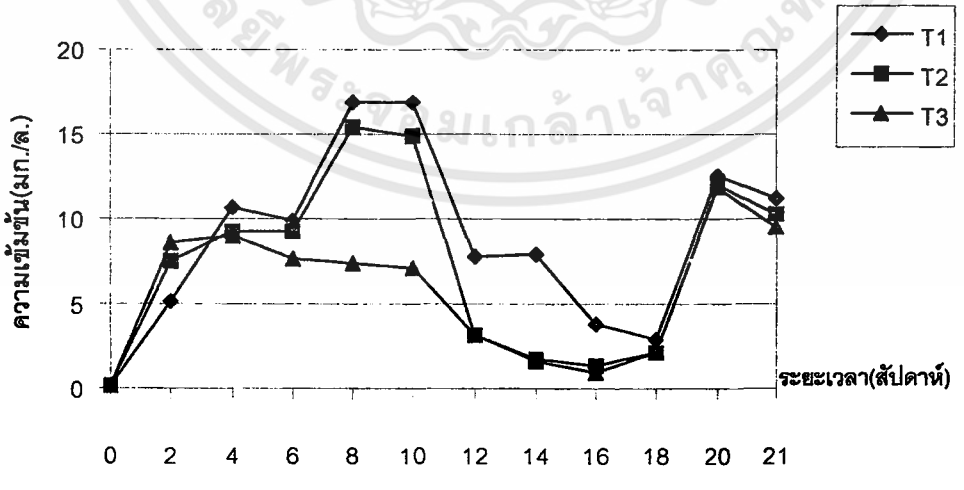
บ่อเลี้ยง จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.62 มก./ล.



ภาพที่ 6 แสดงปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง

3. ปริมาณไนเตรท (NO_3^-)

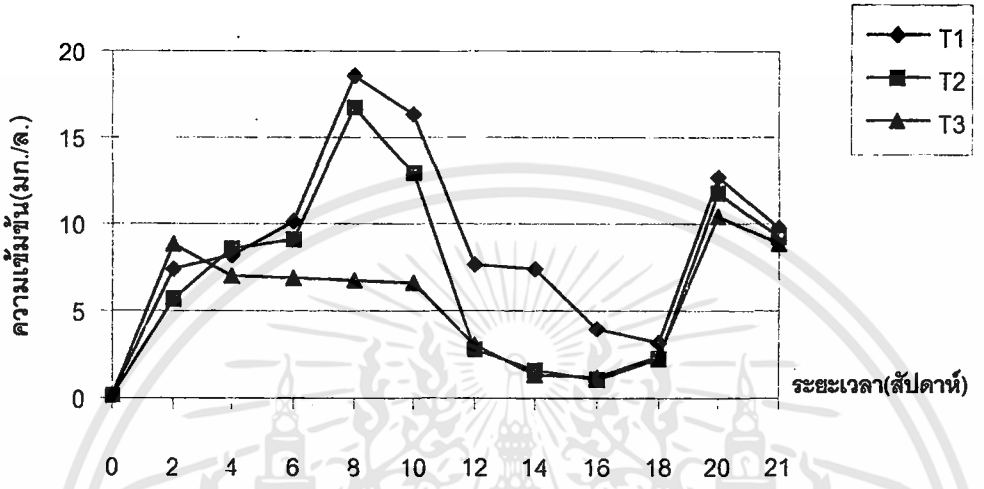
บ่อพัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 10 -14 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไนเตรทมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($P > 0.05$) จากภาพที่ 7 พบว่าปริมาณของไนเตรทมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่สัปดาห์แรก และเริ่มลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 12 จากนั้นก็สูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 20



ภาพที่ 7 แสดงปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากบ่อพักน้ำ

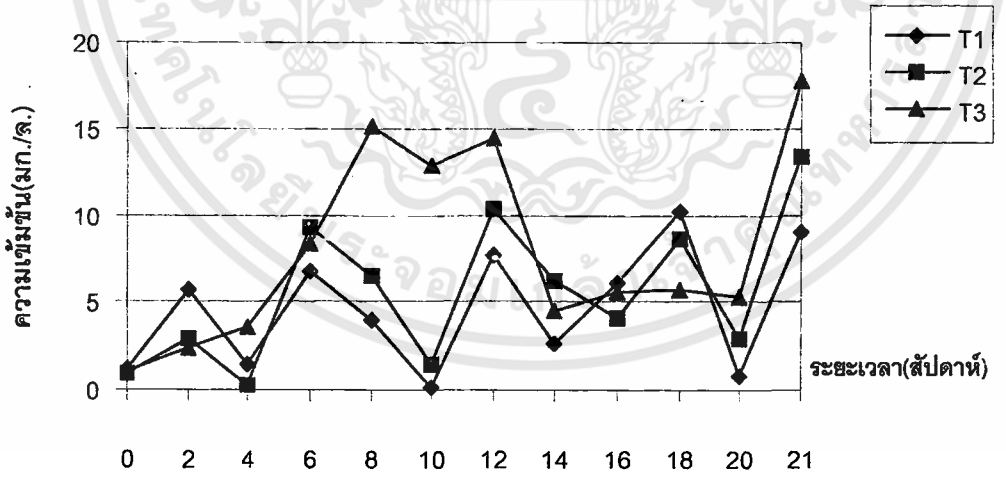
99213

บ่อเลี้ยง จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 8 –14 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไนเตรทมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($P > 0.05$) จากภาพที่ 8 พบว่าปริมาณของไนเตรทมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่สัปดาห์แรก และเริ่มลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 12 จากนั้นก็สูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 20

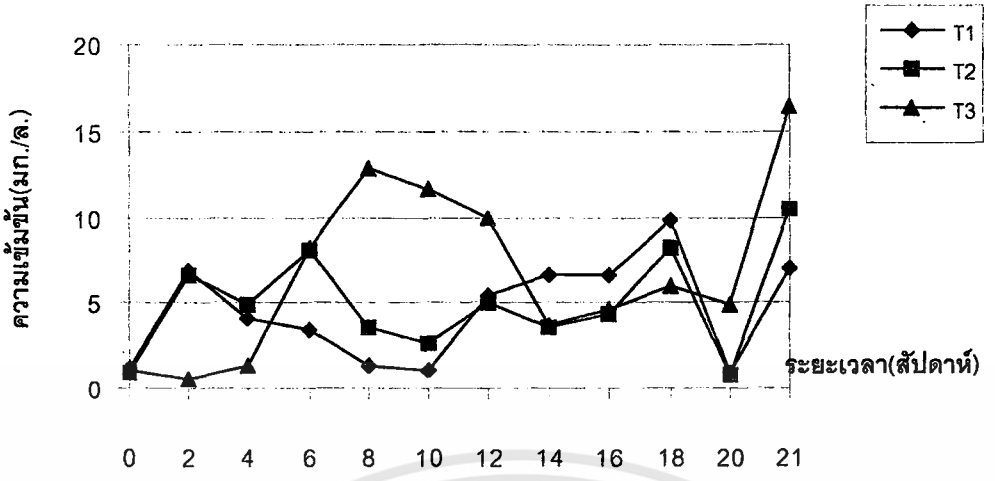


ภาพที่ 8 แสดงปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง

4. ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน



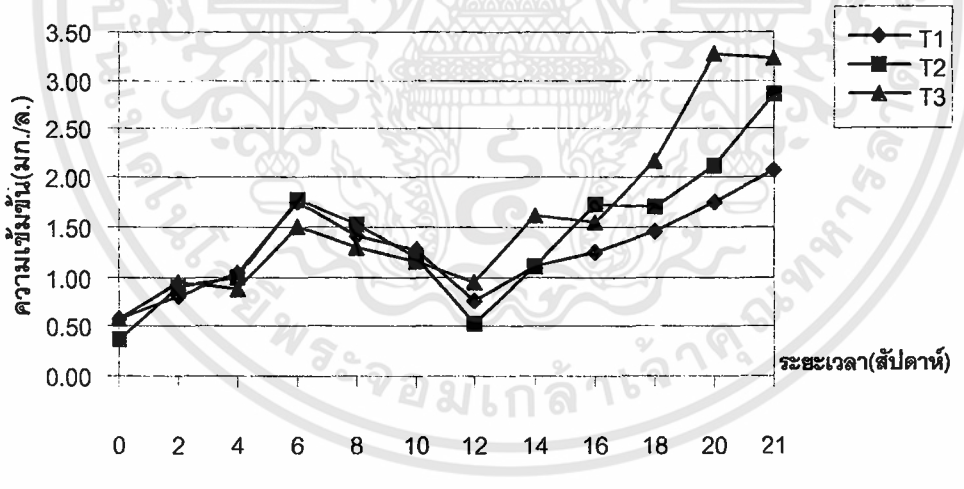
ภาพที่ 9 แสดงปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ยในน้ำจากบ่อพัก



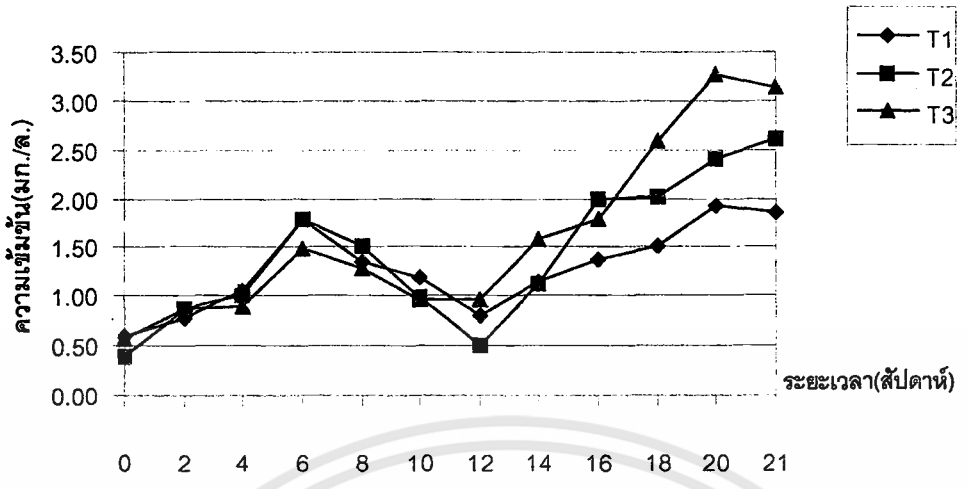
ภาพที่ 10 แสดงปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ยในน้ำจากบ่อเลี้ยง

5. ปริมาณออโธฟอสเฟต (SRP)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณออโธฟอสเฟตเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ทั้งในบ่อพักน้ำและบ่อ จากภาพที่ 11 และ 12 พบว่า กราฟจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ และลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 12 และหลังจากนั้นเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ



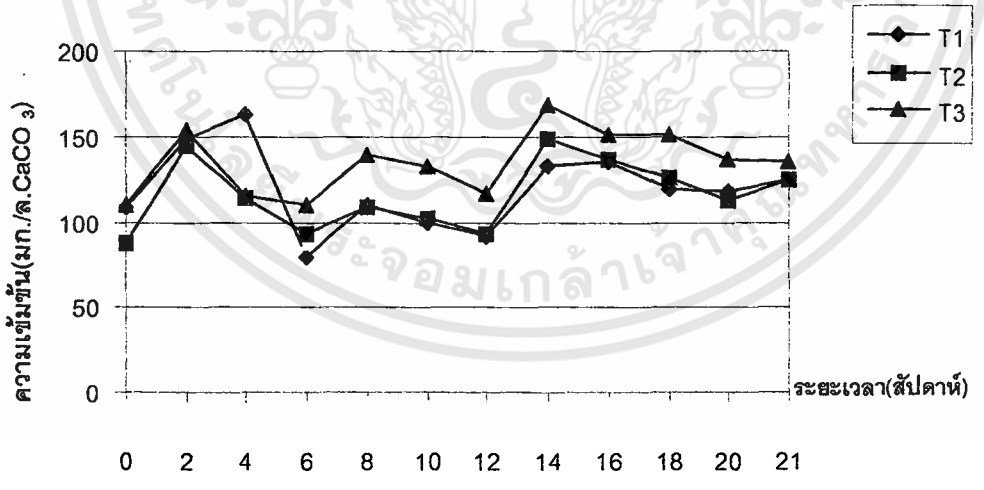
ภาพที่ 11 แสดงปริมาณออโธฟอสเฟตของน้ำในบ่อพักน้ำ



ภาพที่ 12 แสดงปริมาณออโธฟอสเฟตของน้ำในบ่อเลี้ยง

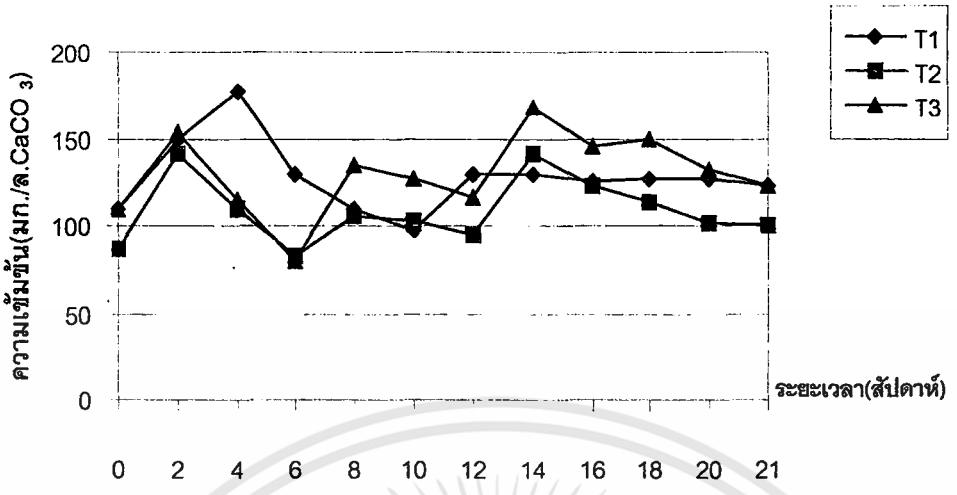
6. ค่าความเป็นด่าง(Alkalinity)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่าความเป็นด่าง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในบ่อพักน้ำ แต่ในบ่อเลี้ยงพบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 6 , 14 , 18 และ 20 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 79.00 ถึง 168.66 มก./ล.$CaCo_3$ และ 80.00 ถึง 177.66 มก./ล.$CaCo_3$ ตามลำดับ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าในบ่อเลี้ยงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 13 แสดงค่าความเป็นด่างเฉลี่ยของน้ำในบ่อพักน้ำ

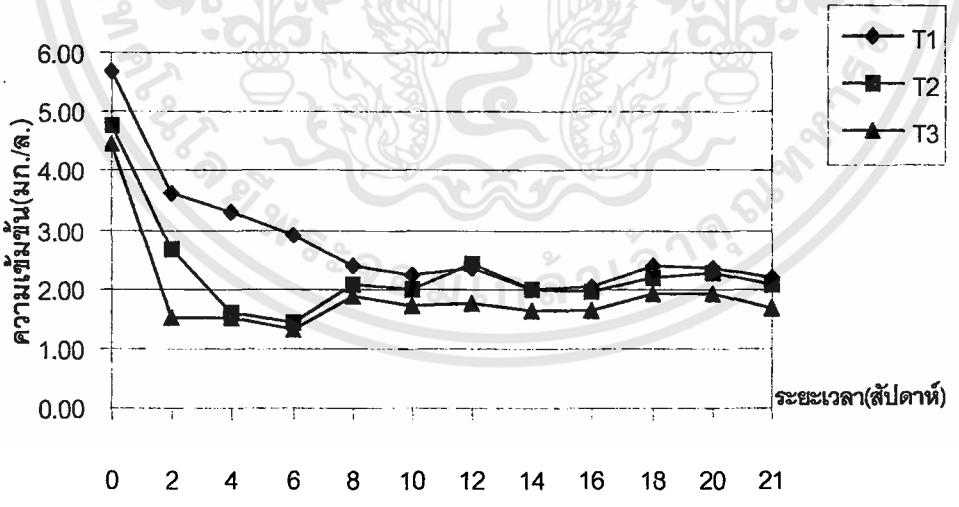
18783



ภาพที่ 14 แสดงค่าความเป็นด่างเฉลี่ยของน้ำในบ่อเลี้ยง

7. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

บ่อพัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 0, 2, 6 และ 18 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จากภาพที่ 15 พบว่า ปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนคงที่

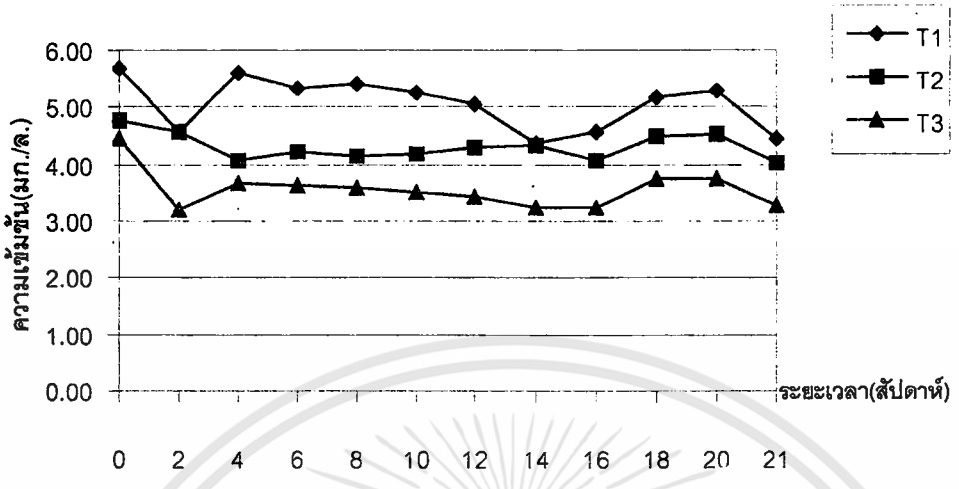


ภาพที่ 15 แสดงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อพักน้ำ

บ่อเลี้ยง จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 4 – 21 จากภาพที่ 16 พบว่า ในแต่

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ

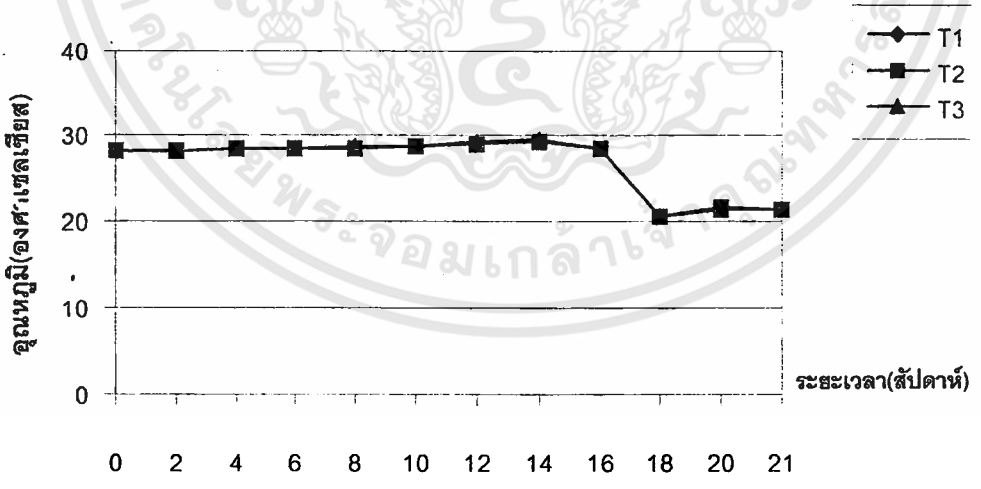
ละช่วงสัปดาห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์



ภาพที่ 16 แสดงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อเลี้ยง

8. อุณหภูมิ

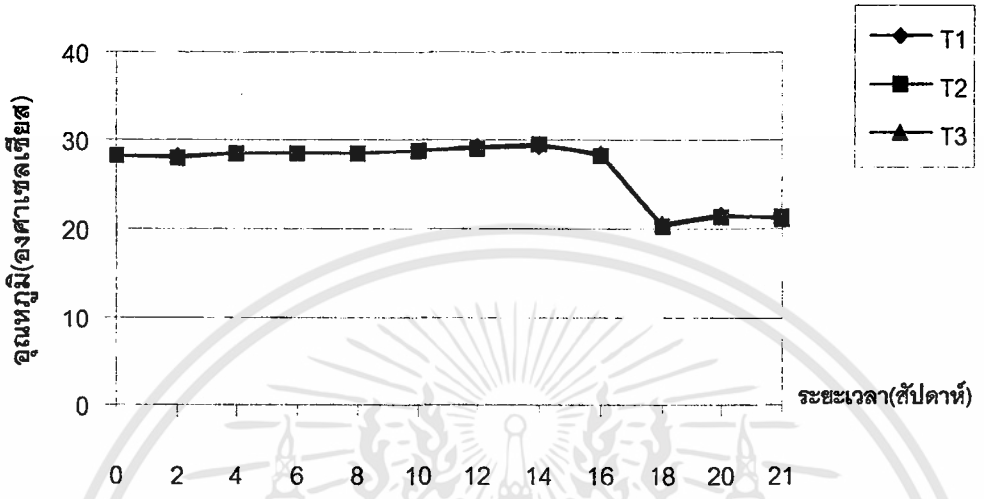
บ่อพัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) จากภาพที่ 17 พบว่า อุณหภูมิตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 20.40 – 29.40 องศาเซลเซียส โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 0 – 16 กราฟมีลักษณะคงที่ และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 18 ซึ่งเป็นช่วงสัปดาห์ที่อุณหภูมิลดลงต่ำที่สุด



ภาพที่ 17 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อพักน้ำ

บ่อเลี้ยง จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในช่วงสัปดาห์ที่ 14, 16 และ 18 จากภาพที่ 18 พบว่าอุณหภูมิตลอด

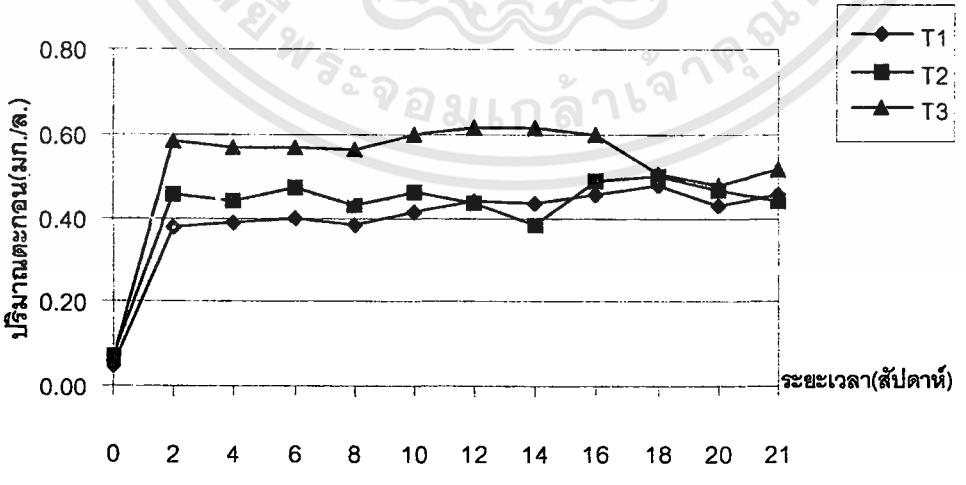
การทดลองจะอยู่ในช่วง 20.27 – 29.43 องศาเซลเซียส โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 0 – 16 กราฟมีลักษณะคงที่ และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 18 ซึ่งเป็นช่วงสัปดาห์ที่อุณหภูมิลดลงต่ำที่สุดคือ 20.27 องศาเซลเซียส แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



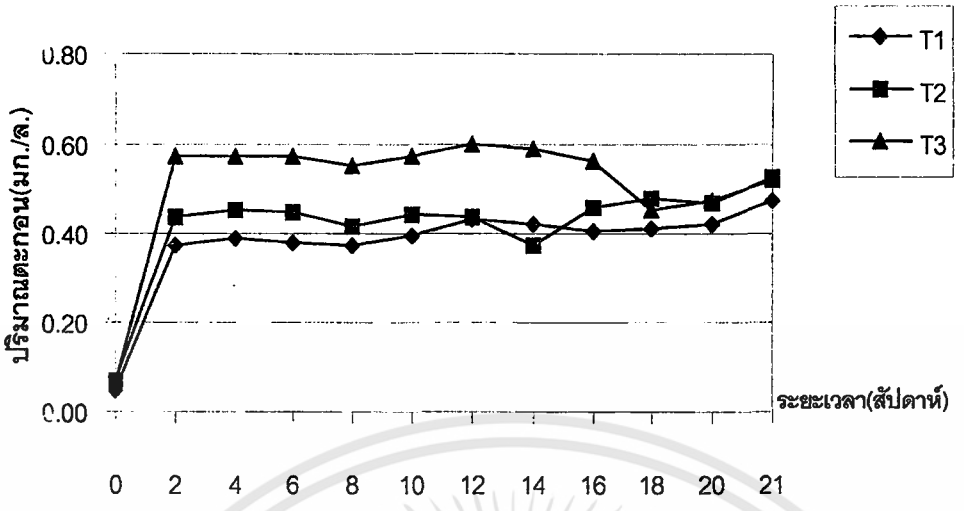
ภาพที่ 18 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อเลี้ยง

9. ปริมาณตะกอนรวม(TSS)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณตะกอนรวม มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยง จากภาพที่ 19 และ 20 พบว่าปริมาณตะกอนรวมมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.37 ถึง 0.62 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.37 ถึง 0.60 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



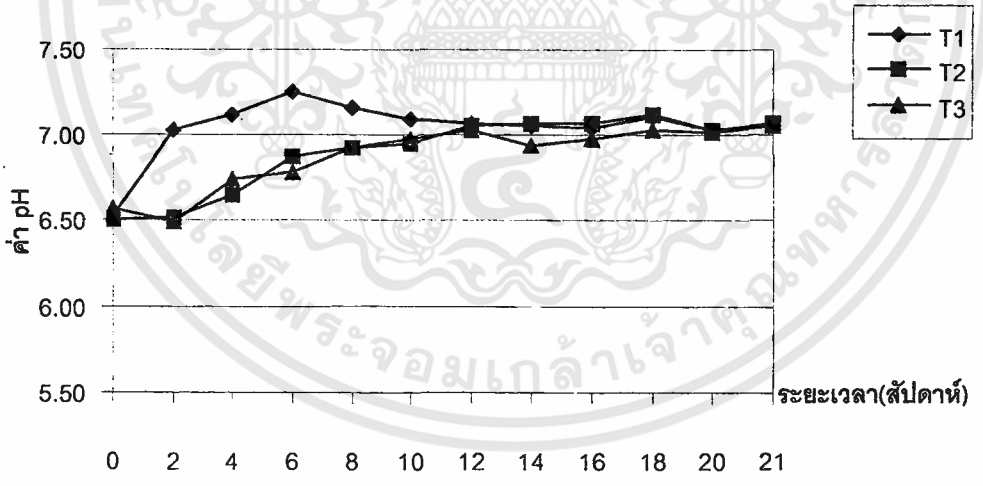
ภาพที่ 19 แสดงปริมาณตะกอนรวมเฉลี่ยในบ่อพักน้ำ



ภาพที่ 20 แสดงปริมาณตะกอนรวมเฉลี่ยในบ่อเลี้ยง

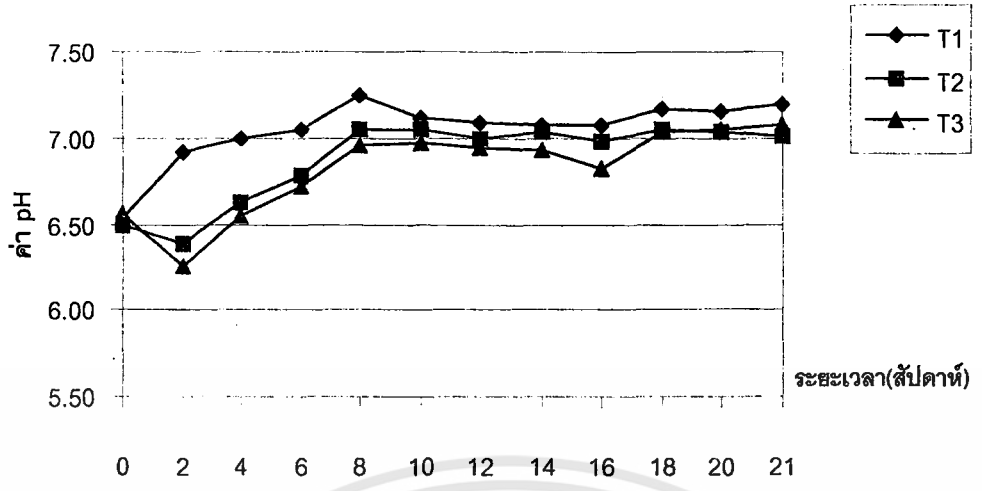
10. ค่าความเป็นกรด-เป็นด่าง (pH)

บ่อพัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า pH เฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ จากภาพที่ 21 พบว่า ค่า pH มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 14 ตลอดการทดลองค่า pH จะอยู่ในช่วง 6.49 – 7.25



ภาพที่ 21 แสดงค่าความเป็นกรด-เป็นด่างเฉลี่ยในบ่อพักน้ำ

บ่อเลี้ยง จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่า pH เฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 , 16 และ 20 จากภาพที่ 22 พบว่า ค่า pH มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 10 ตลอดการทดลองค่า pH จะอยู่ในช่วง 6.25 – 7.25 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 22 แสดงค่าความเป็นกรด-เป็นด่างเฉลี่ยในเลี้ยง

ตารางที่ 2 ผลของคุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเฉลี่ยจากการเลี้ยงปลานิลแดงตลอดเวลา 21 สัปดาห์

พารามิเตอร์	T1	T2	T3
	เฉลี่ย ± SD	เฉลี่ย ± SD	เฉลี่ย ± SD
1. ปริมาณแอมโมเนียรวม (NH_4^+) (มก./ล.)	0.86±0.47	1.04±0.50	1.32±0.62
	(0.44 – 2.03)	(0.49 – 1.76)	(0.58 – 2.46)
2. ปริมาณไนไตรท์ (NO_2^-) (มก./ล.)	0.17±0.10	0.22±0.21	0.30±0.20
	(0.03 – 0.36)	(0.03 – 0.79)	(0.03 – 0.71)
3. ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) (มก./ล.)	9.59±4.70	7.89±5.19	5.99±3.23
	(2.94 – 16.89)	(1.26 – 15.38)	(0.94 – 11.79)
4. ปริมาณไนโตรเจนรวม (TKN) (มก./ล.)	14.87±4.47	14.74±6.28	15.88±7.66
	(9.45 – 21.99)	(5.95 – 25.67)	(6.89 – 24.88)
5. ปริมาณออโธฟอสเฟต (SRP) (มก./ล.)	1.33±0.41	1.49±0.65	1.54±0.63
	(0.77 – 2.06)	(0.52 – 2.88)	(0.89 – 3.27)
6. ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (TP) (มก./ล.)	2.05±0.53	2.27±0.73	2.24±0.71
	(1.30 – 3.25)	(1.31 – 3.70)	(1.29 – 3.47)
7. ค่าความเป็นด่าง (มก./ล.$CaCO_3$)	120.24±24.66	118.39±19.31	136.24±17.69
	(79.00–162.25)	(92.33–148.33)	(110.33-168.67)
8. ปริมาณตะกอนรวม (TSS) (มก./ล.)	0.42±0.04	0.45±0.03	0.59±0.02
	(0.37 – 0.48)	(0.38 – 0.50)	(0.50 – 0.62)
9. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) (มก./ล.)	2.52±0.53	2.06±0.34	1.67±0.19
	(1.97 – 3.61)	(1.44 – 2.67)	(1.29 – 1.92)
10. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	(20.30 -29.27)	(20.40-29.33)	(20.47-29.40)
11. ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	(7.02 – 7.25)	(6.51 – 7.12)	(6.49 – 7.06)
12. ปริมาณแอมโมเนียอิสระ(NH_3) (มก./ล.)	0.006±0.003	0.007±0.003	0.009±0.005
	(0.003 – 0.015)	(0.002 – 0.012)	(0.003 – 0.017)

หมายเหตุ : 1. มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)ในทุกพารามิเตอร์

2. (_ - _) : ต่ำสุด - สูงสุด

ตารางที่ 3 ผลของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงเฉลี่ยจากการเลี้ยงปลานิลแดงตลอดเวลา 21 สัปดาห์

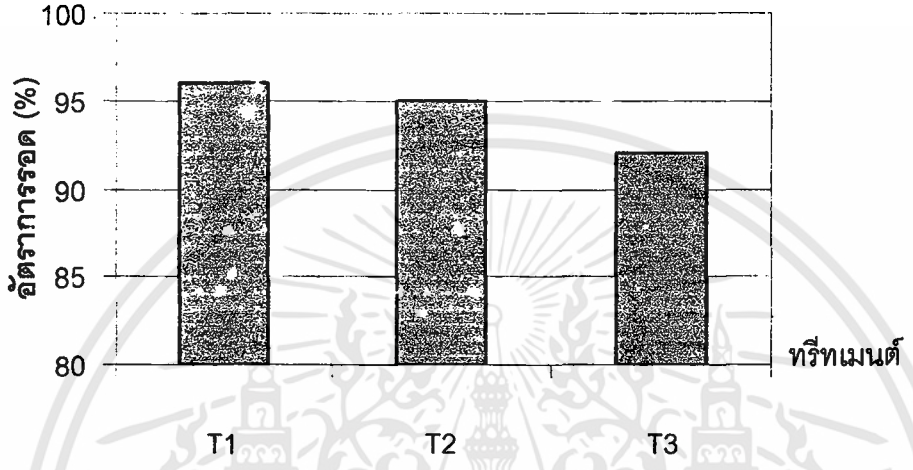
พารามิเตอร์	T1	T2	T3
	เฉลี่ย ± SD	เฉลี่ย ± SD	เฉลี่ย ± SD
1. ปริมาณแอมโมเนียรวม (NH_4^+) (มก./ล.)	0.782±0.501	0.993±0.563	1.213±0.756
	(0.2 – 1.94)	(0.34 – 1.84)	(0.29 – 2.50)
2. ปริมาณไนไตรท์ (NO_2^-) (มก./ล.)	0.103±0.067	0.217±0.213	0.238±0.182
	(0.02 – 0.22)	(0.03 – 0.63)	(0.03 – 0.55)
3. ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) (มก./ล.)	9.537±4.723	7.644±5.138	5.539±2.819
	(3.17 – 18.55)	(1.06 – 16.77)	(1.20 – 10.40)
4. ปริมาณไนโตรเจนรวม (TKN) (มก./ล.)	15.073±2.725	15.627±5.679	14.355±6.664
	(10.85 – 21.18)	(6.03 – 24.58)	(6.18 – 22.26)
5. ปริมาณออโธฟอสเฟต (SRP) (มก./ล.)	1.339±0.396	1.527±0.681	1.558±0.657
	(0.78 – 1.91)	(0.51 – 2.60)	(0.87 – 3.27)
6. ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (TP) (มก./ล.)	2.022±0.456	2.232±0.703	2.174±0.689
	(1.44 – 3.05)	(1.39 – 3.62)	(1.36 – 3.24)
7. ค่าความเป็นด่าง (มก./ล.$CaCO_3$)	129.39±20.47	110.76±18.42	132.36±23.33
	(98.00 -177.67)	(83.33 –142.00)	(80.33 –168.33)
8. ปริมาณตะกอนรวม (TSS) (มก./ล.)	0.407±0.030	0.449±0.039	0.563±0.034
	(0.37 – 0.47)	(0.37 – 0.53)	(0.49 – 0.60)
9. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) (มก./ล.)	5.015±0.427	4.260±0.195	3.400±0.223
	(4.40 – 5.92)	(4.10 – 4.57)	(3.18 – 3.76)
10. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	(20.7– 29.17)	(20.7– 29.43)	(20.5– 29.43)
11. ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	(6.92 – 7.25)	(6.39 – 7.05)	(6.25 – 7.08)
12. ปริมาณแอมโมเนียอิสระ(NH_3) (มก./ล.)	0.005±0.004	0.006±0.004	0.008±0.005
	(0.001 – 0.014)	(0.002 – 0.013)	(0.002 – 0.017)

หมายเหตุ : 1. มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)ในทุกพารามิเตอร์

2. (_ - _) : ต่ำสุด - สูงสุด

ตารางที่ 4 แสดงอัตราการรอดตายของปลานิลแดงในแต่ละทรีทเมนต์ที่เลี้ยงเป็นเวลา 21 สัปดาห์

	อัตราการรอดตาย (%)
ทรีทเมนต์ที่ 1	96 ± 2
ทรีทเมนต์ที่ 2	95 ± 2
ทรีทเมนต์ที่ 3	92 ± 1



ภาพที่ 23 แสดงอัตราการรอดตายของปลานิลแดงในแต่ละทรีทเมนต์ที่เลี้ยงเป็นเวลา 21 สัปดาห์

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การเลี้ยงปลานิลแดงในระบบปิดจะทำให้เกิดการสะสมตัวของธาตุอาหาร โดยเฉพาะสารประกอบที่เป็นพิษต่อปลา คือแอมโมเนียและไนไตรท์ จากการศึกษาครั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าแอมโมเนียรวมและไนไตรท์มีการสะสมตัวอย่างเห็นได้ชัด 2 ช่วง ซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วงที่ปลากินอาหารมากและเจริญเติบโตเร็ว การกินอาหารของปลาทำให้มีการขับแอมโมเนียออกมาในรูปของเสีย ซึ่งจุลชีพกลุ่มเฮเทอโรโทป (heterotrop : สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์เองได้) จะย่อยสารอินทรีย์และปล่อยแอมโมเนียออกมา (ดุสิตและคณะ, 2536) ดังนั้นสาเหตุนี้จึงทำให้บ่อเลี้ยงปลามีปริมาณแอมโมเนียรวมเพิ่มมากขึ้น

การเกิดไนไตรท์เป็นการบ่งชี้ว่ากระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ไนไตรท์เป็นสารตัวกลางของการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรท โดยไนตริไฟอิ้ง 2 กลุ่ม คือ Nitrosomonas และ Nitrobacter (สิริและคณะ, 2542) จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ในขณะที่ปริมาณแอมโมเนียรวมในบ่อเลี้ยง เพิ่มขึ้นจาก 0.8 มก./ล. มาเป็น 2.5 มก./ล. ภายในเวลา 10 สัปดาห์ ในช่วงเดียวกันก็พบการเพิ่มขึ้นของไนไตรท์จาก 0.03 มก./ล. มาเป็น 0.55 มก./ล. ด้วย โดยทั่วไปในการบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะเร่งให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นขึ้นโดยการสร้างระบบ Biofilter ซึ่งต้องใช้วัสดุเป็นพื้นที่ยึดเกาะให้กับแบคทีเรีย ซึ่งในการทดลองนี้มีการใช้เส้นใยกรองหยาบและละเอียดเป็นวัสดุยึดเกาะให้แบคทีเรีย นอกจากนี้น้ำในบ่อพักและบ่อเลี้ยงยังมีอนุภาคสารแขวนลอยอยู่ แบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทปจะอาศัยอนุภาคเหล่านี้เป็นอาหารและพื้นที่ยึดเกาะไปพร้อมๆ กันกับการปล่อยแอมโมเนียออกมา การเพิ่มจำนวนของไนตริไฟอิ้งแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลาขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารคือแอมโมเนียที่ผลิตจากพวกเฮเทอโรโทปที่ย่อยสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงปลา จนกระทั่งไนตริไฟอิ้งแบคทีเรียเพิ่มจำนวนขึ้นมากเกินพอ ปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรท์จะค่อยๆ ลดลง และในบ่อเลี้ยงยังมีการเพิ่มและย่อยสารอินทรีย์จึงเกิดการสะสมของปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ใหม่ได้ ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ได้ผลคล้ายคลึงกับของ พุทธและคณะ (2543) ซึ่งได้ทำการทดลองเลี้ยงกุ้งทะเลในระบบปิดเช่นเดียวกัน ปล่อยกุ้ง P17 ที่ความหนาแน่น 100,000 ตัว/ไร่ ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 147 วัน และพบการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์ 2 ช่วง คือในช่วงประมาณ 50 วัน และ 100 วัน ซึ่งการสะสมแอมโมเนียรวมสูงสุดประมาณ 2.6 มก./ล. และมีการสะสมอีกครั้งคือ 1.4 มก./ล. ส่วนการสะสมของไนไตรท์ในการทดลองพบว่ามีการสะสมประมาณ 0.26 และ 0.51 มก./ล. ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ ที่มีการสะสมของแอมโมเนียรวมสูงสุดประมาณ 2.4 มก./ล. และมีการสะสมอีกครั้งประมาณ 1.9 มก./ล. และการสะสมของไนไตรท์ประมาณ 0.13 และ 0.62 มก./ล. นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า ปริมาณแอมโมเนียรวมและปริมาณไนไตรท์มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอด

คล้องกับผลการทดลองของ Twarowska *et al.* (1997) ได้ทำการเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดโดยมีการใช้ถังกรองชีวภาพทำการเลี้ยงปลานิลขนาดเริ่มต้น 3.6 กรัม 108 ตัวต่อลบ.ม. เป็นระยะเวลา 177 วันเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าเท่ากับ 0.62 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ Suresh และ Lin (1992) ยังได้ศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด โดยทำการเลี้ยงที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน คือ 50 100 และ 200 ตัวต่อลบ.ม. เลี้ยงปลาขนาด 75 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.24 – 0.27 มก./ล. ในขณะเดียวกัน สิริและคณะ (2542) ได้รายงานถึงผลการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีชีวภาพ โดยเลี้ยงในระบบปิดปล่อยกุ้ง 27 ตัว/ตร.ม. ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 5 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณของไนไตรท์มีค่าอยู่ในช่วง 0.50 ถึง 0.10 มก./ล. ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองนี้ จะเห็นว่าปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรท์มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากระบบกรองที่มีประสิทธิภาพในการช่วยลดการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์ในระบบ นอกจากนั้นจากการทดลองครั้งนี้มีการใช้พวก หิน กรวด ทราย เป็นเป็นวัสดุกรองเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของพวกแบคทีเรียที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์จากของเสียที่สัตว์น้ำขับออกมา ซึ่งหากมีพวกแบคทีเรียชนิดนี้มากก็จะทำให้วัฏจักรไนโตรเจนเกิดขึ้นเร็วและทำให้ไม่มีการสะสมของไนโตรเจนที่เป็นพิษมากนักเป็นผลให้ในการทดลองมีการสะสมของปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ที่ไม่สูงมากนัก

ในการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณของออโธฟอสเฟตพบค่อนข้างสูงคืออยู่ในช่วง 0.5 – 2.6 มก./ล. มีรายงานกล่าวว่าในธรรมชาติความเข้มข้นของปริมาณฟอสเฟตจะค่อนข้างต่ำ เพราะ SRP โดยปกติจะมีค่าไม่เกิน 5-20 ไมโครกรัม/ลิตร (สุชาติและคณะ, 2543) และนอกจากนี้ทางกรมประมงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกแบบเปิด จากการศึกษาพบว่าค่า SRP มีค่าอยู่ประมาณ 0.0 – 2.1 มก./ล. แต่ในกรณีของบ่อปลานิลแดงนี้มีความแตกต่างกับแหล่งน้ำธรรมชาติและการเลี้ยงแบบเปิด ปริมาณของ SRP มีแนวโน้มสูงขึ้น และลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 6 –12 หลังจากนั้นก็มีปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ สาเหตุที่ SRP มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ในช่วงสัปดาห์ที่ 0 –6 เนื่องมาจากระบบเลี้ยงนี้เป็นแบบระบบปิด อาจเกิดจากไม่มีแพลงก์ตอนพืชซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ฟอสฟอรัสในการดำรงชีวิตอยู่ในระบบการเลี้ยงนี้ เนื่องจากในการทดลอง ห้องปฏิบัติการอยู่ในที่ร่มแสงมีน้อยซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และระบบการเลี้ยงนี้ยังไม่มีการถ่ายเทน้ำออกไปทำให้มีการสะสมมากขึ้น และสาเหตุที่ทำให้ปริมาณของ SRP ลดลงเป็นเพราะช่วงก่อนสัปดาห์ที่ 6 มีการเปลี่ยนอาหารให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเป็นอาหารปลากินพืช ซึ่งปลายังไม่คุ้นเคยกับอาหารจึงทำให้กินอาหารน้อยลง ค่า SRP จึงน้อยลงด้วย แต่ต่อมาปลาก็เริ่มชินกับอาหารทำให้ปริมาณของ SRP เพิ่มสูงขึ้นด้วย

ความเป็นด่างในบ่อเลี้ยงปลานิลในทุกระดับความหนาแน่น อยู่ในเกณฑ์ดี คือมีค่าอยู่ในช่วง 80 –170 มก./ล.$CaCO_3$ เพราะความเป็นด่างของน้ำที่ให้ผลผลิตสูงควรมีค่ามากกว่า 100 มก./ล.$CaCO_3$ (ไมตรี, 2532) เพราะความเป็นด่างของน้ำเป็นตัว Buffering capacity ที่ช่วยควบคุมไม่ให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลง ค่า pH อย่างรวดเร็ว (ศุภรัตน์, 2540) ดังจะเห็นได้ในการทดลองครั้งนี้ ค่า pH ในแต่ละทรีทเมนต์ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก คืออยู่ในช่วง ประมาณ 6.5 – 7.2 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ(ไมตรี, 2530) และจากการทดลองจะเห็นว่า ค่า pH ในทรีทเมนต์ที่ 1 จะมากกว่า ทรีทเมนต์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากในทรีทเมนต์ที่ 3 มีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นที่สุด ทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ซึ่ง ค่า pH ของน้ำก็ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวได้ H^+ ออกมาทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น ดังนั้นหากมีคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมากก็จะทำให้ ค่า pH น้อยลงด้วย(ไมตรี, 2532)

อุณหภูมิที่วัดได้ในการทดลองอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยปกติปลาในเขตร้อนจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25 – 32 องศาเซลเซียส (ไมตรี, 2530) ดังนั้นการทดลองนี้อุณหภูมิจึงอยู่ในช่วงที่พอเหมาะในการเลี้ยงปลา แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 18 –21 อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิในอากาศลดลง เป็นผลทำให้ช่วงนั้นปลากินอาหารได้น้อยลง

เอกสารอ้างอิง

ช่วยชูศรี ศรีภูมั่น และ จารุวรรณ สมศิริ. 2525. พิษเฉียบพลันของแอมโมเนียและไนไตรท์ที่มีต่อปลาดุกด้าน. วารสารการประมง. 35(4): 373-378.

ดุสิต ตันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และคณิต ไชยาคำ. 2536. ปริมาณมลสารที่ปล่อยออกจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2536. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 16 น.

พรรณศรี จริโมภาส. 2531. ปลานิลแดงสายพันธุ์ไทย. วารสารการประมงฉบับที่ 41(1): 41 – 43.

พุทธ ส่องแสงจินดา, สิริ ทุกข์วินาศ, ชัชวาล อินทรมนตรี และ ลักขณา ละอองศิริวงศ์. 2543. การบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดหมุนเวียนโดยใช้บ่อออกซิเดชั่นและระบบกรองด้วยทราย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2543. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทยจังหวัดสงขลา. 12 น.

ภานุ เทวรัตน์มณีกุล, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัลยวุฒิ, วีระ วัชกรโยธิน และนวลมณี พงศ์ธนา. 2539. หลักการเพาะเลี้ยงปลา. ข่าวกรมประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง. น. 19 – 23.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์. 2530. การเลี้ยงปลานิล. เอกสารวิชาการฉบับที่ 11. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กองประมงน้ำจืด, กรมประมง กรุงเทพมหานคร. 112 น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่มที่ 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. 319 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2530. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง. 38 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2532. การควบคุมคุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง. 15 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง. 115 น.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, เพิ่มศักดิ์ เพิงมาก, พุทธ ส่องแสงจินดา, ศุภโยค สุวรรณมณี และวิชาญ ชูสุวรรณ. 2532.การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2532. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา. 20 น.

ศุภรัตน์ ฉัตรจริยเวศน์. 2540. วิทยานิพนธ์เรื่องผลของความหนาแน่นที่มีต่อการเลี้ยงปลาดุกอุยเทศ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 12 น.

สิริ ทุกข์วินาศ, ขวัญฤทัย ถนอมเกียรติ และ ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2542. ประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีชีวภาพ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2542. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาประมงอ่าวคุ้งกระเบน.13น.

สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัลยวุฒิ และ วิสุทธิ์ ศรีชุมพวง. 2531. การเปรียบเทียบผลผลิตของลูกปลานิลและลูกปลานิลแดงที่เพาะในบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 91. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กรุงเทพมหานคร. 15 น.

สุชาติ อิงธรรมจิตร์, โสภา อารีรัตน์, ไพพรรณ เทียนทอง และเสาวคนธ์ วัลลีย์. 2534. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ แพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลาดุก. รายงานสัมนาวิชาการประจำปี 2534. กรมประมง, กรุงเทพมหานคร. น. 203 – 254.

Boyd, C.E. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Aubum University, Alabama. 318 p.

Hargrove, L.L.,P.W. Westerman and T.M. Losordo. 1996. Nitrification in Three-stage and Single-stage Floating Bead Biofilters in Laboratory-scale Recirculating Aquaculture System. Aquaculture Engineering 15(1): 67-80.

Lawson, T.B. 1995. Recirculating Aquaculture System. Fundamentals of Aquacultural Engineering. Department of Biological Engineering Louisiana State University. P.192 – 246.

Mali Boonyaratpalin and Nanthiya Unprasert . 1989. Effects of Pigments from Different Sources on Colour Changes and Growth of Red *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 79 : 375-380.

Miller, G.E. and G.S. Libey. 1984. Evaluation of a Trickling Biofilter in a circulating Aquaculture System Containing Channel Catfish. Aquaculture Engineering 3(1984):39-57.

Suresh, A. V. and C.K. Lin. 1992. Effect of Stocking Density on Water Quality and Production of Red Tilapia in a Recirculated Water System. Aquacultural Engineering 11:1 – 22.

Twarowska, J. G., P. W. Westerman and T. M. Losordo. 1997. Water Treatment and Waste Characterization Evaluation of an Intensive Recirculating Fish Production System. Aquacultural Engineering 16(1997):133 – 147.

Wheaton, F. W., J. N. Hochheimer, G. E. Kaiser, R. F. Malone, M. J. Krones, G. S. Libey and C. C. Easter. 1994. Nitrification Filter Design Methods. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 27:167 – 171.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	0.2275a	0.2154a	0.2476a	0.2275a	0.2154a	0.2476a
สัปดาห์ที่ 2	0.6367a	0.7387a	0.8912a	0.5968a	0.6985a	0.7975a
สัปดาห์ที่ 4	2.0269a	1.3050a	1.5410a	1.9381a	1.2967a	0.8802a
สัปดาห์ที่ 6	0.4443a	0.5206a	0.5775a	0.4540a	0.5567a	0.6109a
สัปดาห์ที่ 8	0.9081a	1.5310bc	1.8882ac	1.1185a	1.7470b	2.1567b
สัปดาห์ที่ 10	1.1573a	1.7525bc	2.4612ac	1.1600a	1.8355b	2.4972c
สัปดาห์ที่ 12	0.6642a	1.0584ab	1.7321b	0.6888a	1.1197ab	1.8958b
สัปดาห์ที่ 14	0.4542a	0.5687a	1.0693a	0.5346a	0.4437a	1.1225a
สัปดาห์ที่ 16	0.5423a	0.5261a	0.6259a	0.2050a	0.3359a	0.2887a
สัปดาห์ที่ 18	0.5126a	0.4897a	1.0610a	0.3669a	0.4479a	0.5161a
สัปดาห์ที่ 20	0.8950a	1.1720a	1.3440a	0.4507a	0.7901a	1.1052a
สัปดาห์ที่ 21	1.1926a	1.7615a	2.4381a	1.0882a	1.6557a	2.4074a
เฉลี่ย	0.8576a	1.0385a	1.3202b	0.7819a	0.9934a	1.2136b
SD	0.4703	0.5007	0.6185	0.5013	0.5634	0.7558
MAX	2.0269	1.7615	2.4612	1.9381	1.8355	2.4972
MIN	0.4443	0.4897	0.5775	0.2050	0.3359	0.2887

ตารางผนวกที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	0.0157a	0.0143a	0.0176a	0.0157a	0.0143a	0.0176a
สัปดาห์ที่ 2	0.0744a	0.1087b	0.1235b	0.1058a	0.1153a	0.1267a
สัปดาห์ที่ 4	0.0339a	0.0325a	0.0315a	0.0347a	0.0323a	0.0328a
สัปดาห์ที่ 6	0.0982a	0.2434a	0.2773a	0.0569a	0.1697a	0.3016a
สัปดาห์ที่ 8	0.2949a	0.7851a	0.5821a	0.2012a	0.5641a	0.5549a
สัปดาห์ที่ 10	0.3621ab	0.1815b	0.6974ac	0.2154a	0.6276a	0.5467a
สัปดาห์ที่ 12	0.2000a	0.2918a	0.3949a	0.0947a	0.3561a	0.2726a
สัปดาห์ที่ 14	0.2026a	0.0827a	0.2281a	0.0882a	0.0475a	0.1407a
สัปดาห์ที่ 16	0.1420a	0.0745a	0.1242a	0.0214a	0.0536a	0.0831a
สัปดาห์ที่ 18	0.0894a	0.0946a	0.2235a	0.0328a	0.0252a	0.0845a
สัปดาห์ที่ 20	0.1424a	0.2014a	0.3520a	0.1137a	0.1453a	0.2385a
สัปดาห์ที่ 21	0.2095a	0.2918a	0.4335a	0.1635a	0.2527a	0.3973a
เฉลี่ย	0.1681a	0.2170a	0.2945a	0.1025a	0.2172a	0.2376a
SD	0.0984	0.2086	0.2020	0.0669	0.2130	0.1819
MAX	0.3621	0.7851	0.6974	0.2154	0.6276	0.5549
MIN	0.0339	0.0325	0.0315	0.0214	0.0252	0.0328

ตารางผนวกที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	0.1528a	0.1688a	0.1587a	0.1528a	0.1688a	0.1587a
สัปดาห์ที่ 2	5.1602a	7.5355b	8.5652b	7.3366a	7.9918a	8.7816a
สัปดาห์ที่ 4	10.6910a	9.1498a	8.9474a	8.1456a	8.5927a	7.0091a
สัปดาห์ที่ 6	9.8642a	9.2497a	7.6335a	10.0665a	9.1323a	6.8392a
สัปดาห์ที่ 8	16.8019a	15.3846a	7.3695a	18.5513a	16.7743b	6.7700b
สัปดาห์ที่ 10	16.8880a	14.9265b	7.1574c	16.2670a	12.8513b	6.5671b
สัปดาห์ที่ 12	7.8252a	3.1216b	3.1584b	7.5677a	2.8046bc	3.0339ac
สัปดาห์ที่ 14	7.8422a	1.7377ab	1.5141b	7.4149a	1.6415ab	1.2877b
สัปดาห์ที่ 16	3.8233a	1.2632a	0.9413a	3.9980a	1.0578a	1.1957a
สัปดาห์ที่ 18	2.9433a	2.1554a	2.1062a	3.1702a	2.2964a	2.4005a
สัปดาห์ที่ 20	12.5203a	12.0027a	11.7915a	12.6759a	11.6820a	10.3952a
สัปดาห์ที่ 21	11.1391a	10.2912a	9.4452a	9.7133a	9.2624a	8.8473a
เฉลี่ย	9.5907a	7.8925a	6.6642a	9.5370a	7.6442a	6.5399a
SD	4.6986	5.1895	3.2301	4.7232	5.1387	2.8190
MAX	16.8880	15.3846	11.7915	18.5513	16.7743	10.3952
MIN	2.9433	1.2632	0.9413	3.1702	1.0578	1.1957

ตารางผนวกที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออโธฟอสเฟต(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	0.5843a	0.3782a	0.5725a	0.5843a	0.3782a	0.5725a
สัปดาห์ที่ 2	0.7992a	0.8885ab	0.9381b	0.7791a	0.8586a	0.8688a
สัปดาห์ที่ 4	1.0342a	0.9905a	0.8850a	1.0564a	1.0169a	0.8834a
สัปดาห์ที่ 6	1.7561a	1.7742a	1.4973a	1.7841a	1.7841a	1.4767a
สัปดาห์ที่ 8	1.4007a	1.5302a	1.2815a	1.3511a	1.5108a	1.2912a
สัปดาห์ที่ 10	1.2696a	1.2063a	1.1532a	1.1970a	0.9878a	0.9622a
สัปดาห์ที่ 12	0.7676a	0.5191a	0.9395a	0.7915a	0.5097a	0.9700a
สัปดาห์ที่ 14	1.1048a	1.1070a	1.6195a	1.1337a	1.1259a	1.5752a
สัปดาห์ที่ 16	1.2474a	1.7305a	1.5395a	1.3758a	1.9919a	1.7856a
สัปดาห์ที่ 18	1.4611a	1.6998a	2.1675a	1.5083a	2.0055a	2.5831a
สัปดาห์ที่ 20	1.7560a	2.1245a	3.2735a	1.9112a	2.4131a	3.2733a
สัปดาห์ที่ 21	2.0641a	2.8470a	3.2140a	1.8463a	2.5987a	3.1405a
เฉลี่ย	1.3328a	1.4925a	1.5403a	1.3394a	1.5275a	1.5575a
SD	0.4087	0.6488	0.6288	0.3961	0.6811	0.6567
MAX	2.0641	2.8470	3.2735	1.9112	2.5987	3.2733
MIN	0.7676	0.5191	0.8850	0.7791	0.5097	0.8688

ตารางผนวกที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสรวม(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	0.8926a	0.6587a	1.0371a	0.8926a	0.6587a	1.0371a
สัปดาห์ที่ 2	1.6198a	1.9344a	2.0034a	1.6155a	1.9092a	1.8255a
สัปดาห์ที่ 4	1.3011a	1.3093a	1.2896a	1.4420a	1.3920a	1.3598a
สัปดาห์ที่ 6	2.4523a	2.1370a	1 6573a	2.5032a	2.1062a	1.6669a
สัปดาห์ที่ 8	2.1650a	2.3425a	1.8852a	2.1731a	2.3776a	1.9106a
สัปดาห์ที่ 10	2.1887a	1.9188a	1.8075a	2.0382a	1.7241ab	1.5262b
สัปดาห์ที่ 12	1.8361a	1.5409a	1.6322a	1.7380a	1.4213a	1.5816a
สัปดาห์ที่ 14	1.5915a	1.5961a	2.3497a	1.6950a	1.6904a	2.3037a
สัปดาห์ที่ 16	1.7790a	2.5116a	2.2748a	1.7888a	2.5443a	2.3352a
สัปดาห์ที่ 18	2.2454a	3.0132a	2.6290a	2.1596a	2.8188a	2.4895a
สัปดาห์ที่ 20	2.0885a	2.9660a	2.5275a	2.0348a	2.9429a	2.4893a
สัปดาห์ที่ 21	3.2533a	3.6990a	3.4762a	3.0543a	3.6247a	3.2395a
เฉลี่ย	2.0473a	2.2698a	2.2364a	2.0220a	2.2319a	2.1745a
SD	0.5251	0.7283	0.7143	0.4564	0.7030	0.6893
MAX	3.2533	3.6990	3.4762	3.0543	3.6247	3.2395
MIN	1.3011	1.3093	1.2896	1.4420	1.3920	1.3598

ตารางผนวกที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวม(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	1.6237a	1.2649a	1.4864a	1.6237a	1.2649a	1.4864a
สัปดาห์ที่ 2	11.6237a	11.2576a	12.0264a	14.9918a	14.9735a	11.2301a
สัปดาห์ที่ 4	11.3045a	10.7507a	6.9884a	14.2845a	15.4184a	9.1948a
สัปดาห์ที่ 6	17.1238a	19.2335a	16.8952a	13.9592a	18.0819a	15.9283a
สัปดาห์ที่ 8	21.9882a	24.1716a	24.8848a	21.1762a	21.2201a	22.2625a
สัปดาห์ที่ 10	18.2686a	16.0303b	23.2170a	16.6338a	14.6917a	21.2750b
สัปดาห์ที่ 12	16.2371a	13.7508a	21.4979a	13.7457ab	9.6523b	15.1708ac
สัปดาห์ที่ 14	11.1482a	8.6012a8	7.3782a	14.6857a	5.8330a	6.25632a
สัปดาห์ที่ 16	10.5356a	5.9540a	7.2820a	10.8455a	6.0314a	6.1753a
สัปดาห์ที่ 18	9.4456a	10.4416a	12.5440a	13.2470a	10.8123a	12.0595a
สัปดาห์ที่ 20	14.3390a	16.2275a	15.2835a	14.1963a	13.7791a	13.9880a
สัปดาห์ที่ 21	21.5635a	25.6698a	23.6152a	18.0391a	22.6504a	20.3454a
เฉลี่ย	14.8707a	14.7353a	15.8790a	15.0731a	15.6265a	14.3554a
SD	4.4673	6.2838	7.6627	2.7247	5.6791	6.6648
MAX	21.9882	25.6698	24.8848	21.1762	24.5806	22.2625
MIN	9.4456	5.9540	6.9884	10.8455	6.0314	6.1753

ตารางผนวกที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง(มิลลิกรัมต่อลิตร$CaCO_3$)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	108.667a	87.333a	110a	108.667a	87.333a	110a
สัปดาห์ที่ 2	149a	144a	153.333a	149.333a	141.667a	153a
สัปดาห์ที่ 4	162.667a	114a	115.667a	177.667a	109a	115a
สัปดาห์ที่ 6	79a	92.333a	110.333a	129.333a	83.333ab	80.333b
สัปดาห์ที่ 8	110.333a	109a	139.333a	109.333a	105.667a	134.667a
สัปดาห์ที่ 10	99.333a	102.333a	132.333a	98a	103.333a	127.333a
สัปดาห์ที่ 12	91.667a	92.667a	116.667a	129a	94.667a	115.667a
สัปดาห์ที่ 14	132.333a	148.333a	168.667a	128.667a	142.000ab	168.333b
สัปดาห์ที่ 16	135.333a	136.667a	151a	125.667a	123.333a	145a
สัปดาห์ที่ 18	119.667a	126.333a	151a	126.667ab	113.667b	150a
สัปดาห์ที่ 20	118.333a	112.333a	137a	127.333a	101.667b	132.50a
สัปดาห์ที่ 21	125a	124.333a	135.5a	122.333a	100a	122.5a
เฉลี่ย	120.242a	118.393a	136.242a	129.393a	110.757b	132.363a
SD	24.658	19.307	17.694	20.474	18.416	23.330
MAX	162.667	148.333	168.667	177.667	142.000	168.333
MIN	79.000	92.333	110.333	98.000	83.333	80.333

ตารางผนวกที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนรวม(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	0.0497a	0.0703a	0.0637a	0.0497a	0.0703a	0.0637a
สัปดาห์ที่ 2	0.3747a	0.4543a	0.5830a	0.3717a	0.4377a	0.5717a
สัปดาห์ที่ 4	0.3870a	0.4403a	0.5690a	0.3883a	0.4530a	0.5733a
สัปดาห์ที่ 6	0.3973a	0.4720a	0.5693a	0.3813a	0.4480a	0.5720a
สัปดาห์ที่ 8	0.3787a	0.42967a	0.5623a	0.3730a	0.4167a	0.5550a
สัปดาห์ที่ 10	0.4140a	0.4627a	0.5990a	0.3970a	0.4437a	0.5763a
สัปดาห์ที่ 12	0.4407a	0.4323a	0.6173a	0.4317a	0.4383a	0.5987a
สัปดาห์ที่ 14	0.4340ac	0.3807bc	0.6137a	0.4207a	0.3717a	0.5917a
สัปดาห์ที่ 16	0.4567a	0.4847a	0.5973a	0.4063a	0.4557a	0.5607a
สัปดาห์ที่ 18	0.4753a	0.4983a	0.5031a	0.4083a	0.4787a	0.4552a
สัปดาห์ที่ 20	0.4310a	0.4673a	0.4763a	0.4217a	0.4683a	0.4725a
สัปดาห์ที่ 21	0.4580a	0.4397a	0.5115a	0.4743a	0.5280a	0.5215a
เฉลี่ย	0.4225	0.4511	0.5911	0.4068	0.4491	0.5631
SD	0.0345	0.0320	0.0203	0.0301	0.0385	0.0337
MAX	0.4753	0.4983	0.6173	0.4743	0.5280	0.5987
MIN	0.3747	0.3807	0.5031	0.3717	0.3717	0.4552

ตารางผนวกที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	5.6800a	4.7667ab	4.4567b	5.6800a	4.7667ab	4.4567b
สัปดาห์ที่ 2	3.6067a	2.6700a	1.5167b	4.5700a	4.5733a	3.1833a
สัปดาห์ที่ 4	3.3067a	1.5933a	1.5267a	5.6233a	4.0667b	3.6800b
สัปดาห์ที่ 6	2.9067a	1.4433b	1.2933b	5.3200a	4.2300b	3.6167b
สัปดาห์ที่ 8	2.3933a	2.0567a	1.8533a	5.3967a	4.1467b	3.6033b
สัปดาห์ที่ 10	2.2400a	1.9967a	1.6933a	5.2667a	4.1933b	3.5100b
สัปดาห์ที่ 12	2.3300a	2.4167a	1.7533a	5.0667a	4.3133ab	3.4467b
สัปดาห์ที่ 14	1.9733a	1.9833a	1.6233a	4.4000a	4.3433a	3.2200b
สัปดาห์ที่ 16	2.0433a	1.9467a	1.6400a	4.5867a	4.0767ab	3.2300b
สัปดาห์ที่ 18	2.3700a	2.1967ab	1.9167b	5.1767a	4.4933ab	3.7633b
สัปดาห์ที่ 20	2.3633a	2.2567a	1.9167a	5.2767a	4.5200ab	3.7633b
สัปดาห์ที่ 21	2.2000a	2.0800a	1.6833a	4.4767a	4.0100ab	3.2700b
เฉลี่ย	2.5212a	2.0581a	1.6742a	5.0145a	4.2696ab	3.4806b
SD	0.5249	0.3432	0.1876	0.4265	0.1951	0.2233
MAX	3.6067	2.6700	1.9167	5.6233	4.5733	3.7633
MIN	1.9733	1.4433	1.2933	4.4000	4.0100	3.1833

ตารางผนวกที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	28.07a	28.10a	28.03a	28.07a	28.10a	28.03a
สัปดาห์ที่ 2	28.10a	28.03a	28.07a	28.03a	27.97a	28.10a
สัปดาห์ที่ 4	28.43a	28.43a	28.53a	28.33a	28.37a	28.40a
สัปดาห์ที่ 6	28.37a	28.40a	28.43a	28.40a	28.33a	28.40a
สัปดาห์ที่ 8	28.50a	28.53a	28.57a	28.43a	28.53a	28.50a
สัปดาห์ที่ 10	28.70a	28.73a	28.70a	28.70a	28.63a	28.70a
สัปดาห์ที่ 12	29.00a	29.00a	29.17a	28.97a	29.00a	29.13a
สัปดาห์ที่ 14	29.27a	29.33a	29.40a	29.17a	29.43b	29.43b
สัปดาห์ที่ 16	28.37a	28.47a	28.47a	28.47a	28.17b	28.50a
สัปดาห์ที่ 18	20.53a	20.40a	20.47a	20.27a	20.37ab	20.50b
สัปดาห์ที่ 20	21.20a	21.47bc	21.30ac	21.47a	21.40a	21.47a
สัปดาห์ที่ 21	21.20a	21.30a	21.23a	21.17a	21.20a	21.17a
เฉลี่ย	26.87a	26.91a	26.94a	26.85a	26.85a	26.93a
SD	4.70	4.68	4.73	4.69	4.68	4.69
MAX	29.27	29.33	29.40	29.17	29.43	29.43
MIN	20.53	20.40	20.47	20.27	20.37	20.50

ตารางผนวกที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เป็นด่าง

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	6.53a	6.50a	6.56a	6.53a	6.50a	6.56a
สัปดาห์ที่ 2	7.02a	6.51b	6.49b	6.92a	6.39b	6.25b
สัปดาห์ที่ 4	7.12a	6.65b	6.74b	7.00a	6.63b	6.55b
สัปดาห์ที่ 6	7.25a	6.86b	6.78b	7.05a	6.78b	6.72b
สัปดาห์ที่ 8	7.16a	6.92a	6.92a	7.25a	7.05a	6.96a
สัปดาห์ที่ 10	7.10a	6.95b	6.98b	7.12a	7.05a	6.97a
สัปดาห์ที่ 12	7.07a	7.06a	7.02a	7.09a	7.00bc	6.96ac
สัปดาห์ที่ 14	7.05a	7.06a	6.94a	7.07a	7.04a	6.93a
สัปดาห์ที่ 16	7.04a	7.06a	6.98b	7.08a	6.99b	6.83b
สัปดาห์ที่ 18	7.10a	7.12a	7.03b	7.17a	7.05b	7.03c
สัปดาห์ที่ 20	7.03a	7.03a	7.01a	7.16a	7.04b	7.05b
สัปดาห์ที่ 21	7.07a	7.06a	7.06a	7.19a	7.01a	7.08b
เฉลี่ย	7.09a	6.93b	6.90b	7.10a	6.91b	6.84b
SD	0.07	0.19	0.17	0.09	0.22	0.25
MAX	7.25	7.12	7.06	7.25	7.05	7.08
MIN	7.02	6.51	6.49	6.92	6.39	6.25

ตารางผนวกที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	1.227	0.866	1.061	1.227	0.866	1.061
สัปดาห์ที่ 2	5.752	2.875	2.449	6.953	6.623	0.477
สัปดาห์ที่ 4	1.45	0.263	3.531	4.164	4.941	1.272
สัปดาห์ที่ 6	6.722	9.221	8.406	3.38	8.105	8.179
สัปดาห์ที่ 8	3.984	6.471	15.045	1.307	3.526	12.782
สัปดาห์ที่ 10	0.139	1.463	12.902	1.005	2.694	11.666
สัปดาห์ที่ 12	7.726	10.276	14.385	5.395	5.056	9.967
สัปดาห์ที่ 14	2.647	6.211	4.567	6.647	3.605	3.705
สัปดาห์ที่ 16	6.028	4.091	5.591	6.62	4.379	4.607
สัปดาห์ที่ 18	10.167	8.638	5.728	9.737	8.184	5.967
สัปดาห์ที่ 20	0.782	2.85	5.276	0.952	0.844	4.881
สัปดาห์ที่ 21	9.023	13.323	17.725	7.074	10.45	16.464
เฉลี่ย	4.637	5.546	8.056	4.538	4.939	6.752
SD	3.413	4.158	5.545	2.970	2.958	5.108
MAX	10.167	13.323	17.725	9.737	10.45	16.464
MIN	0.139	0.263	1.061	0.952	0.844	0.477

ตารางผนวกที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียอิสระ(มิลลิกรัมต่อลิตร)

	พัก			เลี้ยง		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สัปดาห์ที่ 0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
สัปดาห์ที่ 2	0.004	0.005	0.006	0.004	0.005	0.006
สัปดาห์ที่ 4	0.014	0.009	0.011	0.014	0.009	0.006
สัปดาห์ที่ 6	0.006	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004
สัปดาห์ที่ 8	0.006	0.011	0.013	0.008	0.012	0.015
สัปดาห์ที่ 10	0.008	0.012	0.017	0.008	0.013	0.017
สัปดาห์ที่ 12	0.005	0.008	0.013	0.005	0.008	0.014
สัปดาห์ที่ 14	0.003	0.004	0.008	0.004	0.003	0.008
สัปดาห์ที่ 16	0.004	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002
สัปดาห์ที่ 18	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002
สัปดาห์ที่ 20	0.004	0.005	0.004	0.003	0.003	0.005
สัปดาห์ที่ 21	0.007	0.010	0.011	0.007	0.007	0.010
เฉลี่ย	0.006	0.007	0.009	0.005	0.006	0.008
SD	0.003	0.003	0.005	0.004	0.004	0.005
MAX	0.014	0.012	0.017	0.014	0.013	0.017
MIN	0.003	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002