

ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนของตะกอนชีวภาพ
จากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก



นางสาวพรรณทภรณ์ สิทธิพลางกูร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

EFFICIENCY OF INORGANIC NITROGEN TREATMENT OF BIOLOGICAL SLUDGE
FROM BIOFLOC AQUACULTURE SYSTEM

Miss Pantaporn Sittplangkoon



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนของ ตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก
โดย	นางสาวพรรณทรรณ สิริพิลาญกูร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข)

พรรณทรากรณ์ สิทธิ์กลางกูร : ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนของตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก. (EFFICIENCY OF INORGANIC NITROGEN TREATMENT OF BIOLOGICAL SLUDGE FROM BIOFLOC AQUACULTURE SYSTEM) อ.ที่ปรีกษานิตยสาร: ผศ. ดร.วิบูลย์ลักษณ์ ฟังรัมย์, อ.ที่ปรีกษานิตยสาร: ผศ. ดร.กชิตศ หนูทอง, 159 หน้า.

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเทคโนโลยีไบโอฟล็อกเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ และศึกษาความสามารถของตะกอนชีวภาพในการควบคุมความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ตลอดจนติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของตะกอนในระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลการทดลองส่วนที่ 1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นว่าระดับของตะกอนชีวภาพในช่วง 200-500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. (6-14 มล./ล.) มีความเหมาะสมในการควบคุมคุณภาพน้ำเมื่อภาระไนโตรเจนจากการให้อาหารสัตว์น้ำมีค่าไม่เกิน 2.68 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน ที่ความหนาแน่นปลาในถังเท่ากับ 3 กก./ล.บ.ม. การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพและความหนาแน่นของสัตว์น้ำที่สามารถคงไว้ได้ในระบบเทคโนโลยีไบโอฟล็อกที่ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์อยู่ในระดับที่ปลอดภัย โดยที่มาของตะกอนชีวภาพเกิดจากการให้อาหารสัตว์น้ำเท่านั้น ผลการทดลองพบว่าเมื่อระดับของตะกอนชีวภาพอยู่ระหว่าง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. (6-9 มล./ล.) ความเข้มข้นแอมโมเนียและไนไตรต์ในระบบมีค่าน้อยกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล. และอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพในช่วงดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 16.07 ± 5.77 มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอย/วัน การทดลองส่วนที่ 3 คล้ายคลึงกับการทดลองส่วนที่ 2 ยกเว้นที่มาของตะกอนชีวภาพเกิดจากการเติมแบคทีเรียสังเคราะห์และอาหารสัตว์น้ำในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 ผลการทดลองที่ได้รับคล้ายคลึงกับการทดลองส่วนที่ 2 กล่าวคือระดับที่เหมาะสมของตะกอนชีวภาพอยู่ในช่วง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. และตะกอนชีวภาพในช่วงดังกล่าวมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 15.20 ± 20.15 มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอย/วัน ข้อมูลจากการทดลองส่วนที่ 2 และ 3 ถูกนำมาใช้ในการทดลองส่วนสุดท้าย ซึ่งเลี้ยงปลาในในระบบเทคโนโลยีไบโอฟล็อกโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการควบคุมความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน และติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของตะกอนชีวภาพระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลการทดลองพบว่าเมื่อระดับตะกอนชีวภาพอยู่ระหว่าง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์น้อยกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล. เมื่ออัตราภาระไนโตรเจนจากอาหารไม่เกิน 2.28 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน ผลการวิเคราะห์ธาตุในตะกอนชีวภาพพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการทดลองทั้งในชุดควบคุม (เติมแบคทีเรียสังเคราะห์และอาหารสัตว์น้ำทุกวัน) และชุดทดลอง (เติมอาหารสัตว์น้ำเท่านั้น) อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนในชุดควบคุม (ร้อยละ 34.19 ± 0.172) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง (ร้อยละ 32.17 ± 0.273) ขณะที่ร้อยละปริมาณไนโตรเจนและไฮโดรเจนในตะกอนชีวภาพของชุดควบคุมและชุดทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ผลการทำสมดุลมวลไนโตรเจนพบว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันมีความสำคัญต่อการบำบัดสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 44.2 และ 55.0 ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ ตามมาด้วยกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ และยังอาจเปลี่ยนแนวทางการกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนโดยตรงมาให้อาหารที่มีโปรตีนต่ำ แทน นอกจากนี้ผลการสังเกตระหว่างการเลี้ยงปลาในถังทดลองสุดท้ายพบว่ามีความจำเป็นต้องปรับปรุงหน่วยแยกตะกอนเพื่อให้มีประสิทธิภาพและใช้งานสะดวกมากขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษานิตยสาร: ผศ. ดร.กชิตศ หนูทอง

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษานิตยสาร: ผศ. ดร.กชิตศ หนูทอง

5370296621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: BIOFLOC / BIOLOGICAL SLUDGE / NITRIFICATION / AQUACULTURE SYSTEM

PANTAPORN SITTPLANGKOON: EFFICIENCY OF INORGANIC NITROGEN TREATMENT OF BIOLOGICAL SLUDGE FROM BIOFLOC AQUACULTURE SYSTEM. ADVISOR: ASST. PROF. WIBOONLUK PUNGRASMI, Ph.D., ASST. PROF. KASIDIT NOOTONG, Ph.D., 159 pp.

This study was divided into four main sections, intended to identify the optimal operating condition of biofloc technology system for aquaculture cultivation and tried to assess the ability of biological sludge in biofloc technology system in controlling inorganic nitrogen concentration and to monitor the change in chemical compositions of biological sludge during aquaculture cultivation. The first experiment revealed the preliminary results that the biological sludge concentrations should be maintained between 200 and 500 mg SS/L (6-14 mL/L) given the nitrogen loading rates from feeding was up to 2.68 mg N/L/day when density of Tilapia 3 kg/m³. The second experiment tried to determine the levels of biological sludge in biofloc technology system and the corresponding aquaculture densities that would yield acceptable ammonia and nitrite concentrations given the sludge was induced by the addition of aquaculture feeds. Results of the second experiment found that maintaining the biological sludge in the range from 200-300 mg SS/L (6-9 mL/L) led to acceptable ammonia and nitrite concentrations less than 1.0 mg N/L and the rates of ammonia degradation of 16.07±5.77 mg N/g SS/day. The third experiment was similar to the second one except sludge was induced by the addition of tapioca starch and feeds with the weight C:N ratio of 20:1. Comparable results to those of the second experiment were obtained such that biological sludge concentrations should be maintained from 200-300 mg SS/L and the corresponding ammonia degradation rates of biological sludge from the identified range were 15.20±20.15 mg N/ g SS/day. Data from the second and third experiment were employed in the last experiment, which cultivated tilapia in biofloc technology system without water exchange for 60 days with aims to study the inorganic nitrogen control by biological sludge and to monitor the change in chemical composition of the biological sludge. It was found that when the biological sludge was maintained between 200 and 300 mg SS/L, ammonia and nitrite concentrations could be kept below 1.0 mg N/L given the nitrogen loading rates were up to 2.28 mg N/L/day. The CHN analysis indicated that the elemental compositions were statistically insignificant different during the 60 days cultivation in both treatment tanks (tapioca starch and feed addition on the daily basis) and control tanks (only daily feed addition). However, carbon compositions (34.19±0.172%) in control tanks were statistically different to those of treatment tanks (32.17±0.273%) while nitrogen and hydrogen compositions are comparable among both sets. Nitrogen balance analysis indicated that nitrification was the main treatment (44.2%52.0% in control and treatment tank respectively) route followed by assimilation, and the method of providing organic carbon source to stimulate biological sludge formation could be altered by using low protein feeds. Finally, the observation made during the tilapia cultivation in the last experiment led to the conclusion that the solids separating unit required additional improvement to increase the efficiency and to facilitate the operators when using the system.

Department: Environmental Engineering

Student's Signature

Field of Study: Environmental Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ให้ความช่วยเหลือและอนุเคราะห์ต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และดร.สรวิศ เผ่าทองสุข กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ผู้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการดำเนินการวิจัย และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องตลอดการดำเนินการวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาชี้แนะแก้ไขวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และตลอดจนคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการเรียน

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือสำหรับทำการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณพี่ปี๊ณา พี่เอกชัย และพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ และช่วยให้กำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนวิจัยบัณฑิตศึกษา สำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) และทุนวิจัยจากโครงการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รหัสโครงการ FW0670B) ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย และขอขอบคุณการสนับสนุนเครื่องมือ Microplate Spectrophotometer จากโครงการ Thai Government stimulus package 2 (TKK2555)

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในการทำวิจัย จนทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นปัญหาและอุปสรรคจนสำเร็จปริญญามหาบัณฑิตที่พึงประสงค์ได้อย่างภาคภูมิใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 รูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	5
2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด.....	6
2.3 คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	7
2.4 ปลาชนิดและการเพาะเลี้ยง.....	11
2.5 กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	14
2.6 ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก.....	17
2.7 การแยกตะกอนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	28
3.2 การดำเนินการทดลอง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	51
4.1 การศึกษาเบื้องต้นของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดในระบบไบโอฟล็อก.....	51
4.2 สภาวะที่เหมาะสมของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกเมื่อกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพด้วยอาหารสัตว์น้ำ.....	60

4.3 สภาวะที่เหมาะสมของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกเมื่อกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพด้วย อาหารสัตว์น้ำและแป้งมันสำปะหลัง	65
4.4 การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อกเป็นระยะเวลา 60 วัน.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	88
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	88
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	90
รายการอ้างอิง	91
ภาคผนวก.....	94
ภาคผนวก ก.....	95
ภาคผนวก ข.....	100
ภาคผนวก ค.....	108
ภาคผนวก ง	115
ภาคผนวก จ.....	122
ภาคผนวก ช.....	141
ภาคผนวก ฉ.....	145
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	159

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ข้อดีและข้อเสียของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด	6
ตารางที่ 2.2	ผลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีต่อปลา.....	7
ตารางที่ 2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับการเจริญเติบโตของปลา	8
ตารางที่ 2.4	สภาวะเหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล.....	14
ตารางที่ 2.5	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิมและไบโอฟล็อก	19
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 1	33
ตารางที่ 3.2	พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 2	37
ตารางที่ 3.3	พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 3.....	40
ตารางที่ 3.4	พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 4.....	46
ตารางที่ 4.1	สมมูลมวลไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน	55
ตารางที่ 4.2	อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนที่ 1.....	56
ตารางที่ 4.3	อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลเฉลี่ยต่อวันในการทดลองส่วนที่ 1.....	57
ตารางที่ 4.4	เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในการทดลองกับงานวิจัยอื่น	57
ตารางที่ 4.5	อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2.....	64
ตารางที่ 4.6	อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนที่ 3.....	70
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของลักษณะทางกายภาพของน้ำในถังเลี้ยงปลานิล ในการทดลองส่วนที่ 4.....	73
ตารางที่ 4.8	ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในตะกอนชีวภาพระหว่าง เลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อกเป็นเวลา 60 วัน.....	80
ตารางที่ 4.9	อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในชุดควบคุมและชุดทดลอง	81
ตารางที่ 4.10	สมมูลมวลไนโตรเจนในชุดควบคุมที่มีการเติมแป้งมันสำหรั่งและอาหารปลานิลใน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1	83
ตารางที่ 4.11	สมมูลมวลไนโตรเจนในชุดทดลองที่มีการให้อาหารปลานิลเพียงอย่างเดียว	84

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของปลาไนล (<i>Oreochromis niloticus</i> Linnaeus).....	12
ภาพที่ 2.2 แนวคิดในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำและการนำกลับของโปรตีนที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำในระบบเทคโนโลยีไบโอฟล๊อค	18
ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล๊อคที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ	31
ภาพที่ 3.2 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 1.....	32
ภาพที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ.....	34
ภาพที่ 3.4 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 2.....	36
ภาพที่ 3.5 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 3	39
ภาพที่ 3.6 ผังการคำนวณปริมาณแอมโมเนียสำหรับใช้ในการกระตุ้นตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลาไนล..	42
ภาพที่ 3.7 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 4.....	45
ภาพที่ 3.8 การติดตั้งหน่วยแยกตะกอนกับถังเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนในระบบ.....	48
ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์คุณภาพสัตว์น้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล๊อค	48
ภาพที่ 4.1 การเพิ่มขึ้นของตะกอนชีวภาพในระบบเลี้ยงปลาไนลแบบปิด	52
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างในระบบเลี้ยงปลาไนลแบบปิด	53
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางกายภาพในระยะเลี้ยงปลาไนลแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะเวลา 60 วัน.....	53
ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงปลาไนลแบบปิดที่ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะเวลา 60 วัน	54
ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบในตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงปลาไนลในการทดลองส่วนที่ 1.....	59
ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ และออกซิเจนละลายน้ำในการทดลองส่วนที่ 2.....	61
ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรด ในการทดลองส่วนที่ 2	62
ภาพที่ 4.8 ปริมาณของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนที่ 2 ที่แต่ละความหนาแน่นของปลาไนล	63

ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในการทดลองส่วนที่ 3	67
ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในถังเลี้ยงปลาชนิดของการทดลองส่วนที่ 3..	68
ภาพที่ 4.11 ปริมาณของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลาชนิดของการทดลองส่วนที่ 3	69
ภาพที่ 4.12 ปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลานิลต่อวันและปริมาณไนโตรเจนสะสมตลอดการทดลอง.....	72
ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของน้ำในถังเลี้ยงปลาชนิดในการทดลองส่วนที่ 4	74
ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนชีวภาพ แขวนลอยในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ	78
ภาพที่ 4.15 หน่วยแยกตะกอนที่ใช้ในการทดลองก่อนและหลังปรับปรุง	79
ภาพที่ 4.16 กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบในตะกอนชีวภาพจากชุดควบคุม	86
ภาพที่ 4.17 กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบในตะกอนชีวภาพจากชุดทดลอง	87

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวมากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากความ ต้องการแหล่งโปรตีนเพื่อการบริโภคของประชากรภายในประเทศ รวมถึงการเลี้ยงเพื่อการส่งออก ตลาดต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำจึงต้องพัฒนารูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อให้ สามารถรองรับความต้องการดังกล่าว โดยทั่วไปการเลี้ยงสัตว์น้ำแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ระบบ เปิดและระบบปิด การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบเปิดได้รับความนิยมในหมู่เกษตรกรเนื่องจากง่ายต่อการ ดำเนินงานและมีการลงทุนที่ต่ำกว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบเปิดจะผันน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเข้าสู่ บ่อเลี้ยงและถ่ายน้ำจากบ่อเลี้ยงที่มีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอีกครั้งโดยไม่ผ่านการบำบัด ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในแหล่งน้ำ ตลอดจนนำไปสู่การติดโรคของสัตว์น้ำหากมี การนำน้ำจากแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนมาใช้งานอีกครั้ง สำหรับการเลี้ยงในระบบปิดนั้นเป็นรูปแบบที่เริ่มมี ใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยการเลี้ยงในระบบปิดจะเป็นการผนวกกระบวนการบำบัดน้ำเข้ากับบ่อ เลี้ยงและมีการหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งทำให้สามารถลดมลพิษที่ เกิดจากการเลี้ยงสัตว์น้ำต่อระบบนิเวศน์ลงได้ นอกจากนี้การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดยังสามารถเพิ่ม ผลผลิต และลดการติดโรคในสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตามการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดมีข้อเสียคือมีต้นทุน ในการดำเนินงานสูงและต้องอาศัยบุคลากรที่มีความรู้ในการควบคุมดูแลระบบบำบัด

การสะสมของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต เป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไปในระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดที่ใช้บ่อเลี้ยงประเภทบ่อไร่นซึ่งทำการ บู๊พื้นด้วยผ้าใบหรือบ่อซีเมนต์ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้เกิดการจากขับถ่ายของสัตว์น้ำ และการย่อยสลายของอาหารสัตว์น้ำที่เหลือจากการบริโภค ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ ที่สูงมากกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล.จะส่งผลเสียต่อสุขภาพสัตว์น้ำ เช่น ก่อให้เกิดความเครียด ลดความสามารถของระบบภูมิคุ้มกัน หรือลดความสามารถของระบบขนถ่ายออกซิเจนของเม็ดเลือด เป็นต้น ระบบบำบัดคุณภาพน้ำหลายประเภทจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อลดผลกระทบของ

สารอนินทรีย์ไนโตรเจนระบบบำบัดโดยใช้สาหร่ายขนาดเล็กซึ่งมีข้อดีคือ มีค่าใช้จ่ายไม่สูงนักแต่มักประสบปัญหาในด้านประสิทธิภาพการบำบัดต่ำเนื่องจากสาหร่ายมีวงจรวัฏจักรชีวิตสั้นระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพไนทริฟิเคชันได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์ แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากเหมาะแก่การใช้งานในโรงเรือน และไม่สามารถนำกลับโปรตีนในอาหารสัตว์ที่มีราคาสูงกลับมาใช้ใหม่ โดยประเด็นดังกล่าวนี้มีความสำคัญต่อความยั่งยืนของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเนื่องจากอาหารสัตว์เป็นค่าใช้จ่ายหลักของการเลี้ยง ซึ่งในการให้อาหารแต่ละครั้งสัตว์น้ำสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนในอาหารได้เพียงร้อยละ 25-30 และส่วนที่เหลือจะถูกขับถ่ายออกมาในน้ำ

ในปัจจุบันระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบเทคโนโลยีไบโอฟล็อกได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการเลี้ยงกุ้งและปลา เนื่องจากสามารถบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและนำกลับโปรตีนจากอาหารสัตว์ในเวลาเดียวกัน การบำบัดแอมโมเนียในระบบเทคโนโลยีไบโอฟล็อกเกิดจากการกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียในน้ำด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและให้อากาศอย่างเพียงพอ ในสภาวะดังกล่าวแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟในน้ำจะตรึงแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อนำไปสร้างโปรตีนส่งผลให้แบคทีเรียเจริญอย่างรวดเร็วและเพิ่มปริมาณมากขึ้นจนกระทั่งรวมกันเป็นกลุ่มตะกอนชีวภาพขนาดใหญ่เรียกว่า “ตะกอนไบโอฟล็อก” ซึ่งสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เช่น กุ้งและปลานิล สามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้ การบริโภคตะกอนไบโอฟล็อกของสัตว์น้ำสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของอาหาร กล่าวคือสามารถลดปริมาณอาหารที่ต้องให้หรือลดสัดส่วนของโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำลงได้

ในทางทฤษฎีความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ในระบบเทคโนโลยีไบโอฟล็อกควรมีค่าค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย อย่างไรก็ตามผลการวิจัยโดย Nootong และคณะ (2011) ที่ใช้การวิเคราะห์สมดุลมวลไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกในห้องปฏิบัติการพบว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันมีส่วนสำคัญในการบำบัดแอมโมเนียควบคู่กับกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ ซึ่งพบเมื่อกระบวนการไนทริฟิเคชันที่สมบูรณ์ได้เกิดขึ้นในระบบไบโอฟล็อกแล้ว ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้มีความสำคัญเนื่องจากได้ข้อสรุปซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาที่เน้นความสำคัญของกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์เป็นหลัก อนึ่งจากการค้นคว้ายังไม่พบ

รายงานเกี่ยวกับแนวทางการเริ่มต้นระบบไบโอฟลอคและพฤติกรรมของระบบไบโอฟลอคในช่วงการเริ่มเดินระบบ ตลอดจนระดับของปริมาณตะกอนชีวภาพที่ควรคงไว้ในระบบ จากเหตุผลดังกล่าวการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มความเข้าใจในการบำบัดสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบไบโอฟลอคจึงมีความจำเป็น โดยงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการเริ่มต้นระบบไบโอฟลอคและการควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพในระบบไบโอฟลอค ตลอดจนติดตามบทบาทของกระบวนการชีวภาพไนทริฟิเคชัน ดีไนทริฟิเคชัน และการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ ที่มีบทบาทในการควบคุมปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำไบโอฟลอคระหว่างการใช้งาน ซึ่งผลที่ได้รับจากงานวิจัยจะสามารถนำไปสู่การพัฒนาปรับปรุงรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำจนมีประสิทธิภาพสูงและสามารถถ่ายทอดความรู้ไปสู่เกษตรกรรายย่อยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนของระบบไบโอฟลอค และติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพในระบบไบโอฟลอค
2. เพื่อศึกษาถึงแนวทางในการควบคุมและใช้งานระบบเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบไบโอฟลอค

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีการกำหนดขอบเขตต่างๆ ดังนี้

1. ทำการเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ในระบบไบโอฟลอคโดยไม่มีการถ่ายน้ำที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กก./ลบ.ม.ในถังขนาด 500 และ 200 ล. ด้วยอาหารเม็ดที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด และมีอัตราการให้อาหารเท่ากับร้อยละ 1-3 ต่อวันของน้ำหนักปลานิลทั้งหมดในถัง

2. ตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงเกิดขึ้นเองตามกลไกธรรมชาติจากการสะสมของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งมาจากอาหารที่เหลือจากการบริโภคของปลาชนิด สิ่งขับถ่ายของปลาชนิด และชีวมวลของจุลินทรีย์ที่เจริญในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ
3. ใช้แปะมันสำปะหลังเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในบ่อเลี้ยงปลาชนิด โดยเติมแปะมันในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 ในขณะที่แหล่งไนโตรเจนมาจากโปรตีนในอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำ
4. ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และเคมีของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลาชนิดซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ องค์กรประกอบทางเคมี (คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน) และตรวจสอบกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ร่วมกันในตะกอนชีวภาพในแต่ละช่วงเวลาของการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟลอค
5. เก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงเป็นระยะเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนแขวนลอยตามวิธีมาตรฐานที่อ้างอิงจาก Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบบทบาทและการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวภาพในระบบไบโอฟลอคซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบ และเริ่มต้นเดินระบบไบโอฟลอคได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ความรู้พื้นฐานที่จะช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของระบบไบโอฟลอคเพื่อประโยชน์ในการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ขยายตัวในวงกว้างจากจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความต้องการแหล่งอาหารประเภทโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณสัตว์น้ำที่มีอยู่ในธรรมชาติไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการบริโภคได้อย่างเพียงพอ จึงนำไปสู่การเลี้ยงสัตว์น้ำในระดับที่ใหญ่ขึ้น โดยผลที่ตามมาคือเกิดการสะสมของของเสียในระบบจากอาหารที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำ และของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา โดยส่วนมากมักอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนจำพวก แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) โดยในการเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นสามารถแบ่งตามการหมุนเวียนน้ำในระบบได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

2.1.1 การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบเปิด (Opened system)

การเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบนี้เป็นที่นิยมในหมู่ของเกษตรกร เนื่องจากสะดวกต่อการนำไปใช้ โดยมีการถ่ายน้ำที่ผ่านการใช้ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และมีการผันน้ำใหม่จากแหล่งน้ำธรรมชาติเข้าสู่บ่อ ซึ่งการผันน้ำกลับเข้าสู่บ่อในลักษณะนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาการติดเชื้อจากแหล่งน้ำภายนอก อีกทั้งการปล่อยน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดจะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา (สุภณชิต นิมรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

2.1.2 การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบปิด (Closed system)

การเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบปิดนี้ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการประยุกต์ใช้กระบวนการทางกายภาพและชีวภาพเข้ามามีส่วนช่วยในการรักษาคุณภาพน้ำ การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดจำเป็นต้องมีการสร้างบ่อบำบัดน้ำเพื่อตกตะกอนสารแขวนลอยและสารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นในน้ำ รวมทั้งมีการกำจัดแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ออกไป เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วย

ลดปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในระดับหนึ่ง (สุบัญญัติ นิมรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

2.1.3 การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบกึ่งปิด (Semi-closed system)

การเลี้ยงสัตว์น้ำแบบกึ่งปิดนี้จะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วนเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำภายในบ่อ ซึ่งรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบกึ่งปิดจะมีการบำบัดเหมือนระบบปิด แต่อาจทำการหมุนเวียนน้ำออกจากระบบเป็นระยะเหมือนกับการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบเปิด (สุบัญญัติ นิมรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

ในปัจจุบันสืบเนื่องจากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ผนวกกับข้อบังคับของทางราชการและประเทศคู่ค้าที่เข้มงวดเกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงทำให้เกษตรกรในประเทศเริ่มสนใจเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงจากระบบแบบเปิดไปเป็นแบบปิดหรือกึ่งปิด เนื่องจากช่วยลดปัญหาการติดโรคในสัตว์น้ำ และยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแหล่งน้ำธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด

การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสียในการเลี้ยงที่แตกต่างกันไปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ลดความปนเปื้อนของน้ำที่นำมาใช้	1. ผู้ดูแลระบบจำเป็นต้องมีความรู้
2. ลดปัญหาการติดโรคของสัตว์น้ำ	2. ค่าใช้จ่ายในด้านการก่อสร้างสูง
3. เพิ่มอัตราการรอดของสัตว์น้ำ	3. ค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศสูง
4. ลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากแหล่งน้ำ	

2.3 คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

คุณภาพน้ำมีความสำคัญต่อระบบเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีอิทธิพลต่อการเพาะเลี้ยง การสืบพันธุ์ และการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยปัจจัยทางคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญกับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (Dissolved solids) พีเอช (pH) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ความกระด้าง (Hardness) ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia) ไนไตรต์ (Nitrite) ไนเตรต (Nitrate) และแพลงก์ตอน (Plankton) ซึ่งแต่ละปัจจัยมีความสำคัญแตกต่างกัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยวิกฤตต่อผลผลิตในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยตารางที่ 2.2 แสดงถึงผลกระทบของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีต่อปลา ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลสำเร็จหรือความล้มเหลวของการเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในบ่อ โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจน ได้แก่ อุณหภูมิ ความขุ่น แร่ธาตุในน้ำและความดันไอของน้ำ ความดันบรรยากาศในการผลิตออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความเข้มของแสง รวมถึงระยะเวลาช่วงแสงในรอบวัน ส่วนการละลายของออกซิเจนในบรรยากาศลงสู่แหล่งน้ำจะสัมพันธ์กับกระแสลม คลื่นน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำในขณะนั้น ออกซิเจนที่อยู่ในแหล่งน้ำจะถูกนำไปใช้ในการหายใจของสัตว์น้ำ พืชน้ำและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมถึงใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ

ตารางที่ 2.2 ผลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีต่อปลา

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	ผลกระทบต่อปลา
น้อยกว่า 1 มก./ล.	อาจถึงตายถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานานหลายชั่วโมง
1 – 5 มก./ล.	ปลามีชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องปลาอาจจะเจริญเติบโตช้า และไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ดี
5 มก./ล.ถึงระดับอิ่มตัว	เหมาะกับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์

(ที่มา: มั่นสิน ตันตุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2540)

2.3.2 พีเอช (pH)

ระดับพีเอชในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำในด้านต่างๆ เช่น ความอยู่รอด การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ เป็นต้น โดยทั่วไปปลาจะเจริญได้ดีที่ระดับค่าพีเอชของน้ำ ระหว่าง 6.5-9 ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับการเจริญเติบโตของปลา ปลาที่อยู่ในน้ำซึ่งมีค่าพีเอชต่ำอาจทำให้เกิดสภาวะเป็นกรดในเลือดจนไม่สามารถควบคุมการออสโมซิสได้ และร่างกายอ่อนแอติดโรคร่างง่าย (ซินหทัย หวังละเอียด, 2529) ในงานวิจัยเดียวกันยังรายงานว่าปลานิล ว่ายอ่อนและวัยเจริญพันธุ์ที่เลี้ยงอยู่ในน้ำที่มีค่าพีเอชประมาณ 2-3 จะตายทั้งหมดภายในเวลา 1-3 วัน โดยปลานิลจะเปิดปิดกระพุ้งแก้มอย่างรวดเร็วเวลาว่ายน้ำและขึ้นมาที่ผิวน้ำเพื่อสูบอากาศตลอดเวลา ส่วนระยะเวลาการอยู่รอดของอสุจิปลานิลในน้ำพบว่าเพิ่มขึ้นจาก 11 เป็น 75.4 นาที เมื่อค่าพีเอช มีการเปลี่ยนแปลงจาก 2 เป็น 7 นอกจากนี้ยังพบว่าไฮดรอกซิลไอออนในน้ำที่มีค่าพีเอชสูงจะทำลาย เซลล์บุผิวเหงือก เซลล์บุผิวหนัง และมิวคัสเซลล์ขยายใหญ่ขึ้น (ศักดิ์ชัย ชูชาติ, 2536)

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับการเจริญเติบโตของปลา

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	การเจริญเติบโตของปลา
ต่ำกว่า 4	ตาย
4-5	ไม่สืบพันธุ์
4-6	เติบโตช้า
6.5-9	เติบโตได้ดี
9-11	เติบโตช้า
9.5-11	ไม่สืบพันธุ์
สูงกว่า 11	ตาย

(ที่มา: มั่นสิน ตันกุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2540)

2.3.3 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างของน้ำ คือ ความสามารถของน้ำที่ทำให้สารที่มีสภาพความเป็นกรดกลายเป็นกลาง ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วยคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ อาจมีบอเรต ซิลิเกต ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ต่างๆ ปนอยู่ในปริมาณน้อย สภาพความเป็นด่างของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าตั้งแต่ 5 จนถึงหลายร้อย มก.หินปูน/ล. ส่วนใหญ่ในพื้นที่แห้งแล้งจะมีค่าความเป็นด่างของน้ำสูง ทั้งนี้สภาพความเป็นด่างที่เกิดขึ้นอาจไม่เป็นพิษ แต่มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติอื่นๆ ของน้ำ เช่น พีเอช ความกระด้าง เป็นต้น สภาพความเป็นด่างของน้ำมีส่วนช่วยในการควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชอย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีที่น้ำมีค่าพีเอชต่ำจะทำให้คุณสมบัติน้ำกลายเป็นน้ำอ่อนซึ่งทำให้การเลี้ยงสัตว์น้ำในแหล่งน้ำนั้นให้ผลผลิตลดลง น้ำที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 4.5 มักไม่พบค่าสภาพความเป็นด่าง โดยทั่วไปน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมักมีสภาพความเป็นด่างเพียงพอที่จะทำให้พีเอชของน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (ศักดิ์ชัย ชูชาติ, 2536)

2.3.4 แอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia)

แอมโมเนียทั้งหมด คือปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) และปริมาณแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) แอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออนสามารถเปลี่ยนรูประหว่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นกับค่าพีเอชในน้ำ ถ้าค่าพีเอชอยู่ในช่วงความเป็นด่าง (พีเอชมากกว่า 7) จะพบแอมโมเนีย (NH_3) มากขึ้น ซึ่งแอมโมเนียในรูปที่ไม่มีไอออนนี้มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าแอมโมเนียที่มีไอออนซึ่งพบเมื่อพีเอชต่ำกว่า แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการระคายเคืองโดยเฉพาะบริเวณเหงือก (Camargo และ Alonso, 2006) ซึ่งเหงือกจะเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น (Hyperplasia) และเชื่อมติดกันทำให้ปลาไม่สามารถแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนกับน้ำได้เต็มที่ ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือดปลาลดลง และถ้าแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้นถึง 1 มก./ล. จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในเลือดลดลงอย่างรวดเร็วเหลือเพียง 1 ใน 7 ส่วนของสภาวะปกติ ทั้งนี้เนื่องจากแอมโมเนียมีผลกระทบต่อการทำงานของออกซิเจนในเลือด โดยทำให้ฮีโมโกลบินของเลือดสูญเสียความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจน และทำให้เลือดไม่สามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วย (Camargo และ Alonso, 2006)

2.3.5 ไนไตรต์ (Nitrite)

สารประกอบไนไตรต์จะเกิดขึ้นและสะสมอยู่ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำภายใต้สภาวะไร้อากาศหรือมีปริมาณออกซิเจนจำกัด โดยเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ และจากการแตกตัวของกรดไนตริก (HNO_3) ตามปฏิกิริยาในสมการที่ 2.1



ความเป็นพิษของไนไตรต์เป็นผลเนื่องมาจากความเข้มข้นของกรดไนตริก ปริมาณของกรดไนตริกที่เกิดขึ้นในระบบจะขึ้นกับอุณหภูมิและค่าพีเอช ตลอดจนความเค็มของน้ำ ผลกระทบของไนไตรต์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเลือดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเปลี่ยนไปเป็นเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ซึ่งทำให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนไปเป็นเมทาฮีโมโกลบินซึ่งสามารถรับออกซิเจนได้ต่ำลง จึงทำให้เลือดมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าปกติ (Hypoxia) หรือมีชื่อเรียกว่า “Brown blood disease” ความเป็นพิษของไนไตรต์จะเพิ่มมากขึ้นในสภาวะที่น้ำมีระดับออกซิเจนต่ำและอุณหภูมิสูง ปริมาณไนไตรต์ที่สูงเกินกว่า 1 มก./ล. จะอันตรายต่อปลา การแก้ปัญหาจากไนไตรต์ทำได้โดยควบคุมไม่ให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 4 มก./ล.

2.3.6 ไนเตรต (Nitrate)

ปริมาณไนเตรตในบ่อเลี้ยงสัตว์เป็นผลจากกระบวนการไนตริฟิเคชันของสารประกอบไนโตรเจน โดยปกติไนเตรตจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยมาก แต่ในสภาวะไร้อากาศไนเตรตจะเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นไนไตรต์โดยปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้หากปริมาณไนเตรตเกิดการสะสมตัวในระบบและหลุดออกจากระบบสู่อ่างเลี้ยงจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตได้ โดยผลที่เกิดขึ้นมีดังนี้ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน และอาจทำให้เกิดอาการ Bluebaby Syndrome เนื่องจากพิษของไนเตรตทำให้เด็กทารกที่ดื่มน้ำที่มีไนเตรตสูงไปขัดขวางการทำงานของฮีโมโกลบินในเลือด ทำให้เป็นลมหมดสติ ตัวเขียว และอาจเสียชีวิต

2.3.7 แพลงก์ตอน (Plankton)

แพลงก์ตอนในแหล่งน้ำสามารถจำแนกได้เป็น 2 จำพวก คือ แพลงก์ตอนพืช และ แพลงก์ตอนสัตว์ โดยแพลงก์ตอนทั้งสองกลุ่มนี้เป็นอาหารที่มีตามธรรมชาติในบ่อเลี้ยงปลา ปลาบางชนิดและลูกปลาขนาดเล็กสามารถกินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร บ่อปลาที่มีการใส่ปุ๋ยหรือการให้อาหารเป็นประจำจะมีแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์เป็นจำนวนมาก เพราะมีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากมีแสงแดดจัดและปริมาณแสงน้ำในบ่อเพิ่มขึ้น ทำให้แสงแดดส่องผ่านพื้นน้ำได้อย่างทั่วถึงและส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์มากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อปลาได้ เนื่องจากถ้าปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อเพาะเลี้ยงมีปริมาณมากจะทำให้สีน้ำในบริเวณบ่อนั้นเปลี่ยนแปลง อาจเป็นสีเขียวหรือแดงตามชนิดของแพลงก์ตอนนั้น อีกทั้งทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในบ่อเปลี่ยนแปลงหากการจัดการบ่อไม่มีประสิทธิภาพ จึงมีผลทำให้แพลงก์ตอนที่อยู่ในบ่อตายได้ เกิดการขาดออกซิเจนในบ่อปลาตามมา ทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพน้ำภายในบ่อ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัตว์น้ำอาจทำให้สัตว์น้ำตายได้อีกด้วย (ศักดิ์ชัย ชูชาติ, 2536)

2.4 ปลานิลและการเพาะเลี้ยง

ปลานิลมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาในบริเวณแม่น้ำไนล์และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tilapia nilotica* ต่อมาปลานิลจึงมีชื่อใหม่เป็น *Oreochromis niloticus* เนื่องจากปลานิลมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ขยายพันธุ์ง่าย จึงแพร่กระจายไปยังประเทศต่างๆ ได้รวดเร็ว (กรมประมง, 2554) ลักษณะของปลานิลมีลำตัวสั้น แบนข้าง ริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว มีลายพาดขวางลำตัว 9-10 แถว ครีบหลังติดต่อกันเป็นครีบเดียว ครีบหางตัดตรง ขอบอ้ายอยู่รวมกันเป็นฝูง กินพืชน้ำขนาดเล็กและแพลงก์ตอนเป็นอาหาร



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus)

(ที่มา : <http://www.fisheries.go.th/it-network/knowledge/type%20of%20fish/typeoffish.htm>, 2554 : ออนไลน์)

การจัดลำดับอนุกรมวิธานของปลานิลเป็นดังนี้

Kingdom: Animalia

Phylum: Vertebrata

Class: Osteichthyes

Order: Perciformes

Family: Cichlidae

Genus: *Oreochromis*

Species: *Oreochromis niloticus*

ในด้านการเพาะเลี้ยงปลานิลเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว สามารถสืบพันธุ์ได้เมื่ออายุ 4 เดือนขึ้นไป แม่ปลาตัวหนึ่งสามารถออกลูกได้ 3-4 ครั้งใน 1 ปี ดังนั้นการเลี้ยงปลานิลจึงไม่จำเป็นต้องปล่อยปลาหนาแน่น ควรปล่อยพ่อแม่ปลาในอัตรา 50 คู่ต่อพื้นที่บ่อ 400 ตร.ม. หรือปล่อยลูกปลานิลในอัตรา 1 ตัว/ตร.ม. ถ้าในบ่อเลี้ยงมีปลานิลหนาแน่นเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตช้าลง และไม่แพร่ขยายพันธุ์ การเลี้ยงปลานิลสามารถเร่งการเจริญเติบโตได้ด้วยอาหารสมทบจำพวก รำ ปลายข้าว กากถั่วลิสง กากถั่วเหลือง กากมะพร้าว แหนเป็ด ปลาป่น โดยให้อาหารวันละร้อยละ 4

ของน้ำหนัปลา นอกจากนี้ควรใส่ปุ๋ยมูลสัตว์บ้างในอัตราประมาณ 250-300 กก./ไร่ เพื่อเพิ่มอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงปลา (ศักดิ์ชัย ชูชาติ, 2538)

2.4.1 รูปแบบการเลี้ยงปลานิล

การเลี้ยงปลานิลสามารถแบ่งออกตามระดับความหนาแน่น ได้ 3 รูปแบบดังนี้ (สุภัณฑิต นิมรัตน์ และวีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552)

1. การเลี้ยงแบบดั้งเดิม (Extensive production system) เป็นวิธีการเลี้ยงที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยก่อน โดยการเลี้ยงแบบดั้งเดิมจะเลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำ (Low-density system) วิธีนี้มีต้นทุนในการผลิตต่ำเนื่องจากการผันน้ำจากธรรมชาติเข้ามาในระบบ แต่ก็ให้ผลผลิตต่ำเช่นเดียวกัน และมีโอกาสติดโรคได้ง่าย ในการเลี้ยงแบบดั้งเดิมจะไม่มีอาหารเม็ดและไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศ ในบ่อเลี้ยงปลานิลแบบดั้งเดิมจะมีปริมาณสารอินทรีย์มากซึ่งจะส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (Heterotrophic bacteria) ที่มีการใช้ออกซิเจนในปริมาณมาก และส่งผลยับยั้งการเกิดไนตริไฟอิงแบคทีเรียซึ่งช่วยบำบัดสารพิษแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยง

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive production system) การเลี้ยงในลักษณะนี้มีวัตถุประสงค์สำหรับการบริโภคและการเลี้ยงเพื่อการค้า เป็นการผสมผสานระหว่างการเลี้ยงตามธรรมชาติและอาจมีการให้อาหารเม็ดเพิ่มเติมในบางครั้งความหนาแน่นเริ่มต้นในการเลี้ยงปลานิลอยู่ที่ 2-4 ตัว/ตร.ม.

3. การเลี้ยงแบบพัฒนา (Intensive production systems) การเลี้ยงแบบพัฒนาเป็นการเลี้ยงในระดับความหนาแน่นสูงซึ่งใช้อาหารที่มีคุณภาพสูง มีการจัดการบ่อที่ดี ให้อากาศอย่างต่อเนื่อง และมีการควบคุมโรค การเลี้ยงในรูปแบบพัฒนาต้องมีการเปลี่ยนน้ำวันละหลายครั้งเพื่อให้ น้ำในบ่อเลี้ยงมีคุณภาพดี จากเหตุผลที่กล่าวมาการเลี้ยงในรูปแบบพัฒนาจึงถูกนำไปใช้ในการเลี้ยงเพื่อการค้าเท่านั้นเนื่องมีการลงทุนสูง แต่จะได้ผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงในรูปแบบอื่นๆ

2.4.2 สภาวะเหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล

สภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลประกอบด้วยปัจจัยสำคัญต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำ ค่าพีเอช และแอมโมเนียไนโตรเจน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สภาวะเหมาะสมในการเลี้ยงปลานิล

ปัจจัย	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิ	<ul style="list-style-type: none"> - 11 - 42 °ซ (ปลานิลสามารถอยู่รอดได้) - 19 - 28 °ซ (อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต) - 26 - 29 °ซ (อุณหภูมิที่เหมาะสมในการวางไข่) (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ, 2536)
ออกซิเจนละลายน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> - มากกว่า 5 มก./ล. - ต่ำกว่า 1 มก./ล. อาจทำให้สัตว์น้ำตายภายในไม่กี่ชั่วโมง (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ, 2536)
ค่าพีเอช	<ul style="list-style-type: none"> - ปลานิลสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชในช่วง 6.5-8.5 (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ, 2536)
แอมโมเนียไนโตรเจน	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เกิน 2.5 มก.ไนโตรเจน/ล.หากมีปริมาณสูงเกินกว่าค่านี้อาจทำให้การเจริญเติบโตของปลานิลช้าลง (Hegazi และ Hasanein, 2010)

2.5 กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

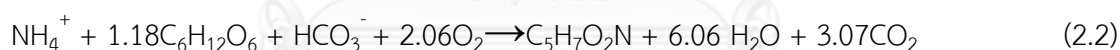
ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของ โปรตีน คลอโรฟิลล์ สารพันธุกรรม (โคเอนไซม์) และวิตามิน ซึ่งมีความสำคัญในการสังเคราะห์แสง การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีน การสร้างสารพันธุกรรม และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนในน้ำอาจอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน (N_2) แอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+)

ไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) ไนเตรตไอออน (NO_3^-) รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ โดยกระบวนการชีวภาพที่สำคัญในการเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 กระบวนการนำสารเข้าสู่เซลล์ (Assimilation)

กระบวนการนี้นำสารอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์เพื่อสร้างโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของชีวมวลจุลินทรีย์ การนำไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบเพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่นั้นนับว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน อย่างไรก็ตามหากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบมีการเจริญเติบโตมากเกินไป อาจเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยแอมโมเนียกลับคืนสู่แหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องควบคุมปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในระบบให้อยู่ในระดับเหมาะสม ในกระบวนการนี้แบคทีเรียจะถูกกระตุ้นให้เจริญเติบโตโดยการเติมสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบลงไป ในสภาวะที่มีออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอ นอกจากแบคทีเรียแล้วพืชน้ำและสาหร่ายขนาดเล็กยังสามารถใช้แอมโมเนียและไนเตรตเป็นอาหารได้โดยตรง ซึ่งแสดงในสมการที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

(แบคทีเรีย)



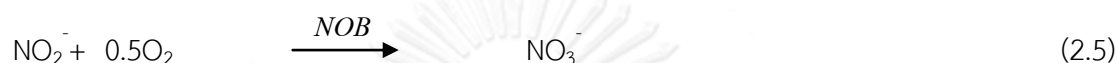
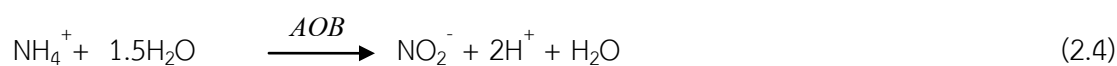
(สาหร่าย)



2.5.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

ไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตตามลำดับ โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริไฟอิง (Nitrifying Bacteria) ซึ่งถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มออโตโทรฟ (Autotroph) ที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแหล่งคาร์บอน กระบวนการไนตริฟิเคชันแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่ (1) ขั้นตอนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ ซึ่งรับผิดชอบโดยกลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) ตัวอย่างของแบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ *Nitrosomonas* และ *Nitrococcus* เป็นต้น

และ (2) ขั้นตอนการเปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรต โดยแบคทีเรียกลุ่มที่เรียกว่า Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB) ตัวอย่างของกลุ่มแบคทีเรีย NOB ได้แก่ *Nitrobacter* และ *Nitrospira* (Timmons และคณะ, 2002) ดังสมการที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

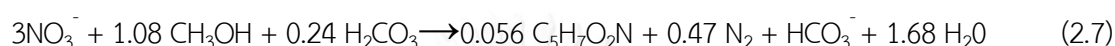


สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไนตริฟิเคชันนี้มีความคล้ายคลึงกับสภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก./ล. พีเอชอยู่ในช่วง 7-8.5 ความเป็นด่างอยู่ในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. และอุณหภูมิในช่วง 20-30 °ซ ทั้งนี้ในระบบไม่ควรมีสารพิษ เช่น ไซยาไนด์ ยาฆ่าแมลง และโลหะหนัก เช่น เงิน โปรท ทองแดง สังกะสี นิกเกิล เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ (กษิติศ หนูทอง, 2551) นอกจากนี้กระบวนการไนตริฟิเคชันยังมีประสิทธิภาพลดลงหรือถูกยับยั้งจากสารอินทรีย์ เช่น เมทานอล กรดอะซิติก เป็นต้น เนื่องจากสารอินทรีย์จะกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟ ซึ่งมีความสามารถในการจับออกซิเจนได้ดีกว่าแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิง จึงส่งผลให้อัตราการเจริญของกลุ่มไนตริไฟอิงลดลง (กษิติศ หนูทอง, 2551)

2.5.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

ดีไนตริฟิเคชัน คือ กระบวนการที่เปลี่ยนรูปไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยแบคทีเรียกลุ่มไร้อากาศ ไนเตรตจะถูกรีดิวซ์ตามลำดับไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และสุดท้ายเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ และยังต้องการแหล่งคาร์บอนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้แก่แบคทีเรีย เมทานอลเป็นสารที่นิยมในการใช้งานมากที่สุดเนื่องจากเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ โดยตัวอย่างของแบคทีเรียที่รับผิดชอบกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่มกึ่งไร้อากาศ เช่น *P.fluorescens*, *P.aeruginosa*, *P.denitrificans* (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) สมการที่ 2.6 แสดงถึงปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ในขณะที่สมการที่ 2.7

แสดงถึงปริมาณเมทานอลที่ต้องเติมลงไป ซึ่งเป็นฟังก์ชันของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและไนเตรตในน้ำเสีย



ดีไนทริฟิเคชันจะถูกยับยั้งโดยสารที่คล้ายคลึงกับกระบวนการไนทริฟิเคชัน เช่น ไฮยาไนด์ ยาฆ่าแมลง และโลหะหนัก เช่น เงิน พรอท ทองแดง สังกะสี นิกเกิล เป็นต้น

2.5.4 กระบวนการแอนนาม็อกซ์ (Anammox)

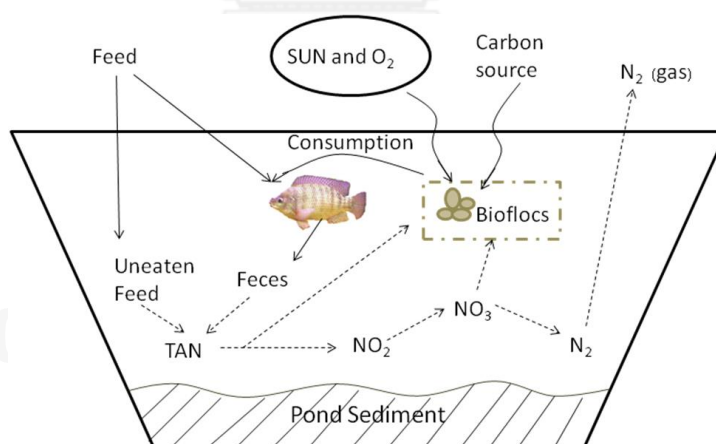
กระบวนการแอนนาม็อกซ์เป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรไนโตรเจนซึ่งค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1995 กระบวนการนี้เกิดขึ้นในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนโดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Planctomycetales* ที่จะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยตรงในสภาวะที่ใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายข้อดีของกระบวนการแอนนาม็อกซ์นี้คือ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเติมออกซิเจนในระบบเพื่อให้ได้ให้ปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันที่สมบูรณ์ ลดค่าใช้จ่ายในด้านสารอินทรีย์ที่ให้อิเล็กทรอนิกส์ในระบบ และตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามข้อเสียของกระบวนการแอนนาม็อกซ์คือ แบคทีเรียที่มีบทบาทในปฏิกิริยามีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำมากคือมีระยะเวลาของการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (Doubling time) ถึง 11 วัน (Khin & Annachhatre, 2004) นอกจากนี้งานวิจัยส่วนใหญ่นิยมศึกษากระบวนการแอนนาม็อกซ์โดยใช้น้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (กษิตศ หนูทอง, 2551)

2.6 ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก

ระบบเพาะเลี้ยงแบบไบโอฟล็อกนี้รู้จักกันในนาม “เทคโนโลยีไบโอฟล็อก” (Biofloc technology) ที่ทำงานโดยจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ ซึ่งเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนเป็นตะกอนชีวภาพที่แขวนลอยในน้ำเรียกว่า กลุ่มไบโอฟล็อก (Biofloc) กลุ่มฟล็อกที่แขวนลอย

อาจประกอบด้วยแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ จุลินทรีย์ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และอนุภาคแขวนลอยของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบจะดึงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียมาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งเนื้อเซลล์ใหม่นี้สัตว์น้ำสามารถบริโภคเป็นอาหารได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบไบโอฟล็อกสามารถบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบและนำกลับไนโตรเจนจากอาหารสัตว์น้ำได้ในเวลาเดียวกัน ภาพที่ 2.2 แสดงหลักการของระบบไบโอฟล็อก

ในการเดินระบบไบโอฟล็อกจำเป็นต้องกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งดำเนินการได้ด้วยการเติมสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น แป้งมัน รำข้าว กากน้ำตาล ในปริมาณที่เพียงพอ จากการค้นคว้าพบว่าอัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนที่ควรเติมลงในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อกระตุ้นการสร้างตะกอนฟล็อกควรมีค่ามากกว่า 10:1 (Hargreaves, 2006) และจะต้องมีการให้อากาศหรือออกซิเจนอย่างเพียงพอ (มากกว่า 4 มก./ล.) เพื่อป้องกันน้ำเน่าเสีย (Crab และคณะ, 2012) นอกจากนี้ระบบไบโอฟล็อกจำเป็นต้องมีการกวนของเหลวเป็นอย่างดีเพื่อป้องกันการตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อซึ่งจะนำไปสู่สภาวะไร้อากาศและผลิตสารพิษตามมา ตารางที่ 2.3 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิมและเทคโนโลยีไบโอฟล็อก



ภาพที่ 2.2 แนวคิดในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำและการนำกลับของโปรตีนที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำในระบบเทคโนโลยีไบโอฟล็อก

ที่มา : ดัดแปลงจาก กษิติศ หนูทอง (2551)

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิมและไบโอฟิล็อก

ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิม	ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟิล็อก
<p>ข้อดี</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. สะดวกต่อการนำไปใช้ 2. ดูแลบำรุงรักษาง่าย ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในการใช้งาน 	<p>ข้อดี</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ลดความถี่ระหว่างการถ่ายน้ำระหว่างบ่อเลี้ยงกับแหล่งน้ำธรรมชาติ 2. ลดมลภาวะทางน้ำอันเนื่องมาจากการถ่ายเทน้ำจากการเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ 3. ลดการติดเชื้อในสัตว์น้ำ 4. ลดค่าใช้จ่ายในด้านอาหารเนื่องจากสัตว์น้ำสามารถบริโภคโปรตีนในรูปไบโอฟิล็อก
<p>ข้อเสีย</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. มีการถ่ายเทน้ำระหว่างบ่อเลี้ยงกับแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นระยะตลอดเวลาการเลี้ยง 2. ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำเนื่องจากมีการถ่ายน้ำที่ใช้จากบ่อเลี้ยงโดยปราศจากการบำบัด 3. ก่อให้เกิดการติดเชื้อในสัตว์น้ำ 4. ไม่มีการนำโปรตีนที่เหลือกลับมาใช้ใหม่ 	<p>ข้อเสีย</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้างไบโอฟิล็อก 2. ต้องใช้พลังงานจำนวนมากเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนออกซิเจนและน้ำในบ่อเลี้ยง 3. ผู้ควบคุมจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบไบโอฟิล็อก 4. การดำเนินงานส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในระบบไบโอฟิล็อกตามทฤษฎีควรมีค่าค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ (Ebelling และคณะ, 2006) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Nootong และคณะ (2011) พบการเพิ่มขึ้นของไนเตรตอย่างต่อเนื่องในระหว่างเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟิล็อกขนาด 500 ล. โดยข้อสรุปของงานวิจัยนี้ระบุว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันมีส่วนสำคัญในการบำบัดแอมโมเนียควบคู่กับการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อใช้งานระบบไบโอฟิล็อกผ่านไประยะหนึ่ง โดยผลงานวิจัยนี้มีข้อสรุปที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมามาที่เน้นความสำคัญของกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์เป็นหลัก

2.7 การแยกตะกอนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ

หลักการแยกตะกอนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปสามารถดำเนินการได้ 3 รูปแบบ (ศิริฤกษ์ หนูฤทธิ, 2554) ดังนี้

2.7.1 การแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity separation)

การแยกตะกอนโดยวิธีนี้อาศัยหลักการการตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วง โดยตะกอนจะทับถมที่ก้นภาชนะและอาจรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น วิธีนี้แยกตะกอนได้ดีเมื่ออนุภาคของตะกอนมีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546)

2.7.2 การกรอง (filtration)

การกรองเป็นการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยของเหลวไหลผ่านรูพรุนขนาดเล็กเพื่อกักของแข็งที่มีขนาดใหญ่ไว้ที่ผิวหน้าของวัสดุตัวกรอง ในการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดนั้นนิยมใช้การกรองอย่างแพร่หลาย โดยการกรองสามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมโครเมตรได้ (Timmons และคณะ, 2002)

2.7.3 การลอยตัว (Flotation)

การลอยตัวใช้หลักการที่ฟองอากาศเข้าไปจับกับอนุภาคและแยกออกจากน้ำ โดยกระบวนการนี้สามารถกำจัดขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 30 ไมโครเมตร (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Avnimelech (1999) ศึกษาการควบคุมปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง (*Penaeus monodon*) ในการศึกษานี้ใช้ความหนาแน่นเริ่มต้นของกุ้ง 0.8 กก./ตร.ม. แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดคือ (1) ชุดที่ให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 30 (2) ชุดที่ให้อาหารที่ทำจากแป้งสาลี และมีโปรตีนร้อยละ 10 และ (3) ชุดที่ให้อาหารโปรตีนร้อยละ 10 แต่ให้อาหารต่อวันในอัตราครึ่งหนึ่งของปกติ และมีการเติมแอมโมเนียลงไปในตอนหลังเพื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 ผลการทดลองพบว่าในบ่อที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนลงไปสามารถลดการสะสมของไนโตรเจนในบ่อ การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นวิธีควบคุมระดับไนโตรเจนด้วยการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในระบบจากการเติมคาร์โบไฮเดรต ทำให้จุลินทรีย์มีการดึงไนโตรเจนมาใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนซึ่งสามารถสังเกตได้จากการลดลงของแอมโมเนียในชุดทดลองที่มีการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้น้ำหนักสุทธิของกุ้งที่ได้จากชุดการทดลองที่มีการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตมีค่ามากกว่าการทดลองที่ไม่มีการเติมแหล่งคาร์บอน

Hari และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของการเติมคาร์โบไฮเดรตต่อผลผลิตกุ้งในระบบการเลี้ยงที่มีขนาดแตกต่างกันคือ แบบโรงเรือนในถังขนาด 1,200 ล. และแบบกลางแจ้งในบ่อขนาด 250 ตร.ม. การเลี้ยงกุ้งในโรงเรือนจะให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 25 (P25) และโปรตีนร้อยละ 40 (P40) และมีการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตลงไปเพิ่ม (P25+CH) และ (P40+CH) ส่วนในการทดลองกลางแจ้งจะเปรียบเทียบระหว่างการให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 25 กับการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรต (P25+CH) และให้อาหารโปรตีนร้อยละ 40 (P40) ในพื้นที่ขนาด 250 ตร.ม. โดยแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ใช้คือ แป้งมันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่า ในการทดลองที่มีการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตลงไปในนั้นมี การลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN) ในน้ำ และมีการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟ ทั้งในน้ำและในตะกอนทั้งในการทดลองในโรงเรือนและกลางแจ้ง ผลการเลี้ยงในโรงเรือนพบว่า เมื่อให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 25 จะได้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR: Specific Growth Rate) ต่ำและอัตราส่วนการการแลกเนื้อ (FCR: Feed Conversion Ratio) ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การให้อาหารในสูตรอื่น และเมื่อทำการทดลองในสภาวะกลางแจ้งพบว่า ผลผลิตกุ้งที่ได้จากการใช้

อาหาร P25+CH จะมากกว่าผลผลิตที่ได้จากการใช้อาหาร P40 ถึงประมาณ 15 ก./ตร.ม. และให้กำไรมากขึ้น 4 เท่าแม้ต้นทุนการผลิตจะสูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมแหล่งคาร์บอน (คาร์โบไฮเดรต) มีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟ

Ebelling และคณะ (2006) ทำการวิเคราะห์สมการทางชีวเคมีในเชิงวิศวกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มโฟโตออโตโทรป ออโตโทรป และเฮเทอโรโทรฟ ในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ การลดการสะสมของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยใช้จุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งต้องมีการจัดการคุณภาพน้ำที่ดี การลดการสะสมไนโตรเจนจากจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟสามารถทำได้โดยกระตุ้นการเจริญเติบโตให้มากขึ้นได้ด้วยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงเพื่อให้จุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟช่วยดูดซึม (Assimilation) แอมโมเนียไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์โปรตีน

Hari และคณะ (2006) ศึกษาผลการเติมคาร์โบไฮเดรตต่อคุณภาพน้ำและปริมาณไนโตรเจนสะสมในระบบการเพาะเลี้ยงกุ้ง เมื่อทำการทดลองแบบกลางแจ้งโดยควบคุมการให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 25 (P25) อาหารโปรตีนร้อยละ 40 (P40) และการให้อาหารที่มีการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตลงไปร่วมด้วย (P25+CH) และ (P40+CH) ทำการทดลองภายในถังคอนกรีตขนาดความจุเท่ากับ 7.2 ลบ.ม. พบว่าอุณหภูมิ ค่าพีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเค็ม ความขุ่น และค่าสภาพความเป็นด่างไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดและไนไตรต์ที่วัดได้ พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตลงไปมีค่าน้อยกว่าชุดที่ไม่มีการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรต ในส่วนของไนเตรตพบว่าการเติมคาร์โบไฮเดรตไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของไนเตรต แต่ทำให้จำนวนแบคทีเรียจำพวกเฮเทอโรโทรฟทั้งน้ำและในตะกอนเพิ่มสูงขึ้น ผลผลิตกุ้งที่ได้พบว่า P25+CH มีค่าสูงสุดเท่ากับ 160 ก./ตร.ม. เมื่อเทียบกับสัดส่วนการให้อาหารอื่น เมื่อนำค่าที่ได้มาทำสมการมวลไนโตรเจน พบว่าไนโตรเจนจากอาหารจะถูกเก็บสะสมไว้ในกุ้งประมาณร้อยละ 16-20 ในน้ำประมาณร้อยละ 0.22-0.49 ในดินตะกอนประมาณร้อยละ 67-71 และสูญเสียไปในการแลกเปลี่ยนน้ำในการเติมคาร์โบไฮเดรตในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งประมาณร้อยละ 2.1-2.7

Avnimelech (2007) ศึกษาการเลี้ยงปลาหมอเทศโดยใช้อาหารที่ได้จากการเตรียมตะกอนไปโอฟล็อก ซึ่งเตรียมในถังขนาดพลาสติกขนาด 1 ลบ.ม. ใส่ น้ำลงไปปริมาตร 800 ล. โดยใส่ปลาหมอเทศ (*Tilapia mozambique*) จำนวน 20 ตัว ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 107 กรัม ใช้ตะกอนจุลชีพจากเทคโนโลยีไปโอฟล็อก โดยในบ่อจะมีแอมโมเนีย และไนโตรเจนในโตรเจนประมาณ 5 และ 40 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ และมีการเติมอากาศตลอดเวลา เติมน้ำลงในถังพลาสติก 100 ก. เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการตรึงแอมโมเนียเข้าสู่ชีวมวลของจุลินทรีย์ เมื่อเวลาผ่านไป 2 วัน จะมีการเติมน้ำเพิ่มอีก 50 ก. โดยเมื่อทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ พบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (TAN) จะลดลงตามปริมาณน้ำที่เติมน้ำลงไป โดยตลอดช่วงระยะเวลา 6 วันจะมีการให้อาหารโดยใช้จุลินทรีย์แขวนลอยเท่านั้น ด้วยการเติมจุลินทรีย์แขวนลอยลงไปทุกวัน ที่อัตราร้อยละ 2 ของน้ำหนักปลาทั้งหมด (30 ก.) เมื่อทำการตรวจวัดคุณภาพปลาพบว่าไม่มีการตายเกิดขึ้นอีกทั้งน้ำหนักปลาที่ได้และองค์ประกอบโดยรวมของปลาเหมือนกับการให้อาหารเม็ดตามปกติ ทั้งนี้เมื่อทำการทดลองอย่างต่อเนื่องจะพบความสัมพันธ์ใน 4 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาตรฟล็อก ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด คาร์บอน และไนโตรเจนที่แขวนลอยในระบบ

Azim และคณะ (2008) ศึกษาการผลิตจุลชีพโปรตีนในถังตะกอนแขวนลอยที่มีการจัดการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารต่อปลา โดยทำการทดลองในถังขนาด 250 ล.เปรียบเทียบระหว่างอาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 35 และอาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 22 มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 8.4 และ 11.6 ตามลำดับ โดยภายในถังจะถูกเติมด้วยน้ำสำหรับฟักไข่ปลา และมีการเติมน้ำปริมาตร 10 ล. ที่มีจุลชีพฟล็อกที่ถูกพัฒนาขึ้นจากถังแยกตะกอนของระบบน้ำเสียในการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยการเติมน้ำสาหร่าย และในทุกๆ วันจะมีอัตราการเติมอาหารประมาณ 25 ก. ในการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าซีไอดีและของแข็งแขวนลอยระยะเหยยได้ พบว่าในถังที่มีการให้อาหารโปรตีนร้อยละ 22 มีค่าสูงกว่าถังที่มีการให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 35 จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมมีผลต่อการพัฒนาตะกอนชีวภาพ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมคือคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 11.6:1 ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจน พบว่าในถังที่มีการให้อาหารโปรตีนร้อยละ 35 มีค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรตสูงกว่าถังที่มี

การให้อาหารโปรตีนร้อยละ 22 จากข้อมูลดังกล่าวเห็นได้ว่าแหล่งคาร์บอนจำพวกแป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลจำเป็นต่อการลดลงในระดับที่เหมาะสมของปริมาณแอมโมเนีย

Azim และ Little (2008) ศึกษาความแตกต่างของคุณภาพน้ำ องค์กรประกอบของไบโอฟล็อก การเจริญเติบโต และสุขภาพของปลานิลในระบบไบโอฟล็อก เมื่อทำการให้อาหารที่มีโปรตีนในระดับแตกต่างกันเท่ากับร้อยละ 35 และร้อยละ 24 โดยเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟล็อกที่ความหนาแน่นปลานิลเริ่มต้น 3 กก./ลบ.ม. ในถังเลี้ยงขนาด 250 ล. อัตราการให้อาหารร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักปลาในถัง โดยชุดควบคุมที่ใช้เป็นระบบที่ปราศจากตะกอนไบโอฟล็อก เดิมแปงสาที่เป็นส่วนประกอบในอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อเป็นตัวช่วยในการรักษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในระบบ สำหรับการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟ ผลการทดลองพบว่าในระยะเริ่มต้นเกิดการสะสมของปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ในขณะเดียวกันเมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่ามีการลดลงและเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไตรต์เป็นระยะ และพบการเพิ่มขึ้นของไนเตรตในระบบ แต่ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองทั้งสองชุดพบว่า การให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 35 มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ที่สูงกว่าในชุดการทดลองที่ให้อาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 24 จากความแตกต่างดังกล่าวแสดงได้ว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันที่ดีจะเกิดขึ้นในถังเลี้ยงที่มีการให้อาหารที่มีโปรตีนต่ำ และเมื่อทำการตรวจสอบสิ่งมีชีวิตในตะกอนไบโอฟล็อก พบว่าในอาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 24 พบจำนวนสิ่งมีชีวิตมากกว่าอาหารที่มีโปรตีนร้อยละ 35 โดยสิ่งมีชีวิตที่พบเป็นจำพวกโปรโตซัว โรติเฟอร์ ไส้เดือน ทั้งนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แนะนำให้ใช้ในถังเลี้ยงระบบไบโอฟล็อกควรอยู่ที่ประมาณ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.

Asaduzzaman และคณะ (2010) ศึกษาผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งน้ำจืดกับแหล่งอาหารธรรมชาติ ในการทดลองจะศึกษาผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 3 ค่า คือ 10 15 และ 20 โดยทำการทดลองเป็นเวลา 120 วัน ในการทดลองใช้บ่อที่มีขนาด 40 ตร.ม. ลึก 1 ม. โดยลักษณะบ่อจะเป็นบ่อเปิดรับน้ำฝนและแสงแดดอย่างทั่วถึง ก่อนเริ่มทำการทดลองจะมีการทำความสะอาดเพื่อกำจัดพีชีน้ำก่อน หลังจากนั้นทำการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตโดยใช้แป้งมันสำปะหลัง พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนจาก

10 เป็น 20 เท่ามีผลทำให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ในน้ำเพิ่มขึ้นทั้งแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ โรติเฟอร์ จุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโทรฟ และกุ้ง จากที่กล่าวมาพบว่าที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20 มีส่วนทำให้ปริมาณตะกอนจุลชีพมากขึ้นด้วย

Ray และคณะ (2011) ศึกษาปริมาณตะกอนไบโอฟล็อกสองระดับที่แตกต่างกันต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของกุ้งขาวในการเลี้ยงแบบพัฒนาที่ระบบความเค็มปานกลาง โดยในการทดลองจะทำการศึกษาผลของการจัดการระดับปริมาณตะกอนไบโอฟล็อกสองระดับต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของกุ้งขาวในระบบขนาด 50 ลบ.ม. โดยแบ่งระดับตะกอนไบโอฟล็อกออกเป็นปริมาณตะกอนไบโอฟล็อกระดับต่ำและปริมาณตะกอนไบโอฟล็อกระดับสูงด้วยหน่วยตกตะกอน ในส่วนของตะกอนไบโอฟล็อกระดับต่ำจะใช้หน่วยตกตะกอนที่มีปริมาตร 1,700 ล. อัตราการไหล 20 ล./นาท ในขณะที่ปริมาณตะกอนไบโอฟล็อกระดับสูงใช้หน่วยแยกตะกอนปริมาตร 760 ล. อัตราการไหล 10 ล./นาท ปริมาตรประมาณร้อยละ 45 ของหน่วยตกตะกอนไบโอฟล็อกระดับต่ำ ผลการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยระเหย และความขุ่นในชุดการทดลองที่ระดับตะกอนไบโอฟล็อกสูงมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับระดับตะกอนไบโอฟล็อกต่ำ ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต พบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ในระดับตะกอนไบโอฟล็อกต่ำมีค่ามากกว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์เทียบกับชุดการทดลองที่มีระดับตะกอนไบโอฟล็อกสูง ในทางกลับกันเกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนเตรตสูงกว่าในชุดการทดลองที่ระดับตะกอนไบโอฟล็อกสูงจากปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในระบบ โดยกระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นในขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงประมาณ 300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. (ระดับตะกอนไบโอฟล็อกสูง) จึงเกิดการสะสมปริมาณไนเตรต แต่ทั้งนี้ในส่วนของผลผลิตกุ้งขาวพบว่า น้ำหนักกุ้งขาวในชุดทดลองระดับตะกอนไบโอฟล็อกต่ำมีค่ามากกว่าประมาณ 0.4 ก./สัปดาห์ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการจัดการระดับปริมาณตะกอนไบโอฟล็อกมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงและผลผลิตของกุ้ง

Nootong และคณะ (2011) ศึกษาผลของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในการควบคุมความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบไบโอฟล็อก จากการเติมอาหารปลานิลและ

แป้งมันสำปะหลังทุกวันในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 16:1 พบว่ากระบวนการนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์(Assimilation) และกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต (Nitrification) มีส่วนช่วยทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เห็นได้จากการที่ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำลดลง โดยที่กระบวนการนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ถือว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนก่อนนำไปสู่กระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตที่สมบูรณ์ ในการทดลองนี้ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ลดลงนั้นจะแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบ จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจาก 52 มก.ของแข็ง/ลิตรไปเป็น 1,180 มก.ของแข็ง/ลิตร

Alberto และคณะ (2013) ศึกษาการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในระบบไบโอฟลอคโดยทำการศึกษาผลของกากน้ำตาลในการเป็นแหล่งคาร์บอนแก่จุลินทรีย์ในระบบไบโอฟลอค โดยใช้อาหารที่มีขायทั่วไปตามท้องตลาดซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 35 อัตราการให้อาหารวันละ 2 มื้อ และควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 20:1 ในการให้อาหารที่มีทั่วไปตามท้องตลาดมีโปรตีนร้อยละ 35 ร่วมกับกากน้ำตาลโดยใช้อัตราส่วนช่วงเวลาการให้อาหารและอัตราการให้อาหารเช่นเดียวกับอีกชุดการทดลอง ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งในชุดทดลองที่มีการเติมและไม่เติมกากน้ำตาลโดยมีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.1 มก.ไนโตรเจน/ล. อย่างไรก็ตามอัตราการผลิตชีวิต น้ำหนัก และความยาวของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงโดยการให้อาหารปกติ ร่วมกับการเติมกากน้ำตาลมีค่ามากกว่าการให้อาหารปกติ เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่าเทคโนโลยีไบโอฟลอคมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการจัดการคุณภาพน้ำและมีอัตราการรอดชีวิตสัตว์น้ำที่สูง

สรุปประเด็นสำคัญที่ได้รับจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ระบบไบโอฟล็อกในการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศน์ทางธรรมชาติเนื่องจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำนี้สามารถควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบได้ โดยอาศัยกลุ่มจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟที่เกิดขึ้นในระบบ ทำให้เมื่อมีการถ่ายเทน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย
- เมื่อทำการเปรียบเทียบระบบไบโอฟล็อกที่มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนกับระบบไบโอฟล็อกที่ไม่มีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน พบว่าการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนมีส่วนสำคัญในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบ และช่วยเพิ่มผลผลิตที่เกิดขึ้นของสัตว์น้ำ
- ในการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนลงไปในระบบควรคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสม พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม ในด้านการจัดการคุณภาพน้ำ อัตราการรอดชีวิต และช่วยควบคุมของเสียในระบบ
- การใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำสามารถใช้ทดแทนการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนได้เพื่อลดต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ
- การเติมอากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระบบไบโอฟล็อกเนื่องจากระบบนี้ต้องการปริมาณออกซิเจนที่มากกว่าระบบอื่น เพื่อป้องกันการตกตะกอนของฟล็อกที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้น้ำในระบบเกิดสภาวะไร้อากาศ
- ปริมาณตะกอนไบโอฟล็อกที่เกิดขึ้นในระบบมีผลต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของสัตว์น้ำโดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างระดับตะกอนไบโอฟล็อกต่ำและสูง พบว่าที่ระดับตะกอนไบโอฟล็อกต่ำให้ผลผลิต(น้ำหนัก)สัตว์น้ำได้มากกว่าระดับตะกอนไบโอฟล็อกที่สูง อีกทั้งมีส่วนช่วยในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบ

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- ขวดโพลีพลาสติกปริมาตร 2 ลิตรสำหรับวิเคราะห์อัตราการบำบัดแอมโมเนีย
- ถังพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 250 ลิตร สำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ
- ถังพลาสติกทรงกลมขนาด 500 ลิตรสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ
- เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก
- เครื่องเติมอากาศ
- หัวทรายพ่นอากาศ
- สายยางซิลิโคน
- เครื่องชั่งน้ำหนักปลา
- เครื่องวัดความยาวปลา

3.1.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

- ปีกเกอร์
- ปีเปต
- ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล.
- ไมโครปีเปต
- หลอดทดลอง
- หลอดหยด
- กระจกบอแก้ว

- กรวยอิมฮอฟ
- กระดาษกรอง Whatman GF/C ขนาด 25 และ 47 มม.
- กล้องจุลทรรศน์ Nikon รุ่น YS 100
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) Milton Roy รุ่น Spectronic Genesys 10 UV Scanning
- เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (DO meter) HANNA รุ่น Oxy-Check
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) HANNA รุ่น HI 9125
- เตาอบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 103-105 °C (Mettler)
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) HIRAYAMA รุ่น HICLAVE HVE-50
- เครื่องชั่งสารเคมี Satorius รุ่น BP210s
- เครื่องปั่นเหวี่ยง BECKMAN COULTER รุ่น Microfuge 16
- ชุดทดสอบแอมโมเนีย ไนไตรต์ คลอรีน และค่าสภาพความเป็นต่าง (ศูนย์วิจัยโรคสัตว์น้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3.1.3 สารเคมี

- Ammonium chloride (NH_4Cl)
- Phenol solution
- Sodium nitropusside solution ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Alkaline reagent
- Oxidizing reagent
- Sodium nitrite (NaNO_2)
- Sulphanilamide
- NNED Solution (N-(1-Naphthyl)-EthylenediamineDihydrochloride)
- Purified potassium peroxidisulphate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)
- Boric acid solution (H_3BO_3)

- Sodium hydroxide (NaOH)
- Sodium bicarbonate (Na₂CO₃)
- Potassium nitrate (KNO₃)
- Sulfuric acid (H₂SO₄)

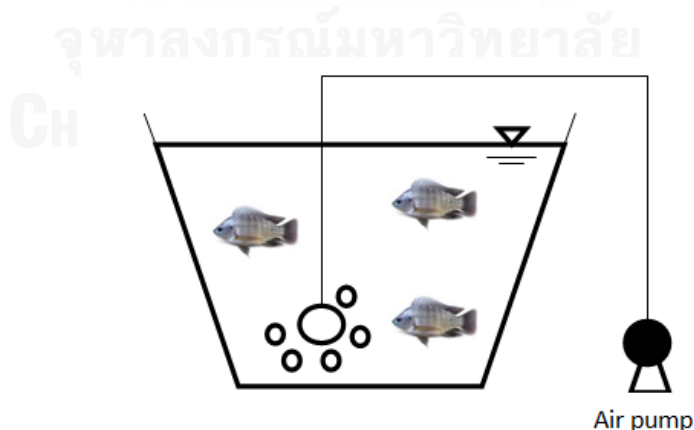


3.2 การดำเนินการทดลอง

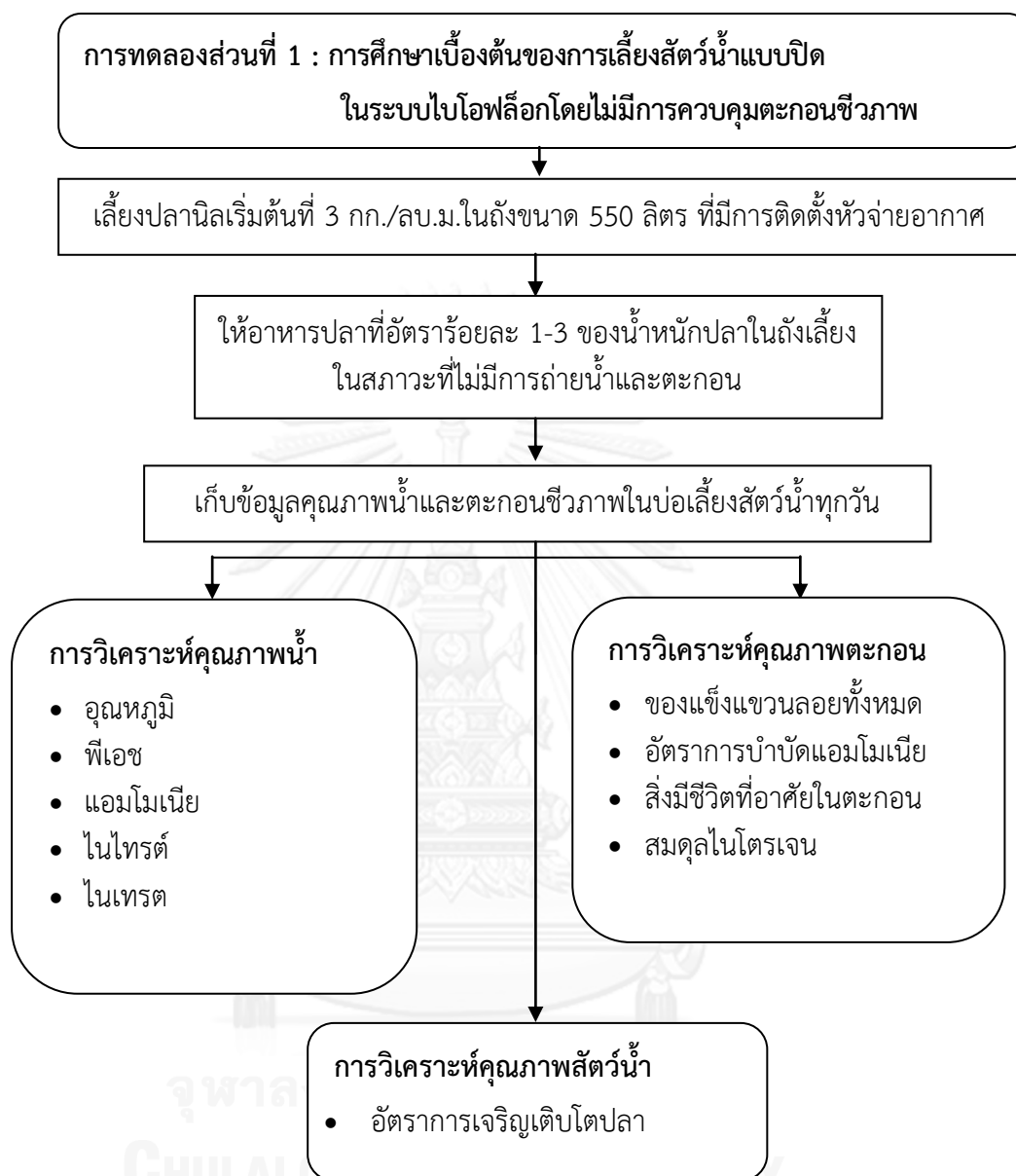
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาเบื้องต้นของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดในระบบไบโอฟลอค

การทดลองนี้ศึกษาถึงผลของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดในระบบไบโอฟลอคในสถานะที่ไม่มีการควบคุมระดับตะกอนชีวภาพ ดำเนินการโดยเลี้ยงปลาไนล (*Oreochromis niloticus*) ที่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กก./ลบ.ม. ในถังพลาสติกทรงกลมขนาด 550 ล. ฐานบ่อกว้าง 86 ซม. ปากบ่อกว้าง 105 ซม. สูง 78 ซม. ที่บรรจุน้ำจืดปริมาตร 500 ล. โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.1 และมีการให้อากาศตลอดเวลาเป็นเวลา 60 วัน โดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ และไม่มีการควบคุมระดับตะกอนชีวภาพ เก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนชีวภาพ ในระหว่างการทดลองมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนแขวนลอย ตลอดจนวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพเป็นระยะ ภาพที่ 3.2 แสดงแผนผังสรุปการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 1 และตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดตัวแปรและค่าที่ใช้ในการทดลองส่วนนี้



ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอคที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ



ภาพที่ 3.2 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 1

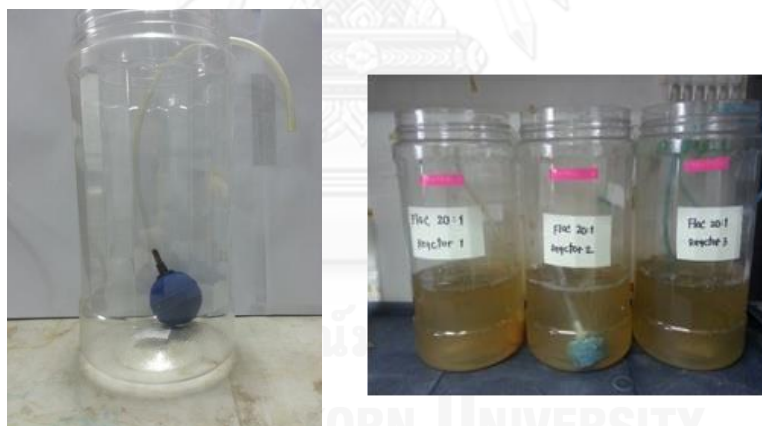
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 1

ตัวแปรควบคุม
1. ขนาดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (550 ล.)
2. ชนิดของสัตว์น้ำ (ปลานิล)
3. ความหนาแน่นของสัตว์น้ำเริ่มต้น (3 กก./ลบ.ม.)
4. การให้อาหาร (อัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวัน)
5. ค่าพีเอช (7-8)
6. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มากกว่า 4 มก./ล.)
7. ค่าความเป็นด่าง (100-150 มก.หินปูน/ล.)
ตัวแปรตาม
1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต
2. ปริมาณตะกอนแขวนลอย
3. อัตราการบำบัดแอมโมเนีย
4. อัตราการเจริญเติบโตของปลานิล
5. อัตราการรอดชีวิตของปลานิล
- การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟิล็อก
<p>เริ่มต้นการทดลองโดยบรรจุน้ำประปาปริมาตร 500 ล. ลงในถังพลาสติกทรงกลมขนาด 550 ล. ฐานบ่อกว้าง 86 ซม. ปากบ่อกว้าง 105 ซม. สูง 78 ซม. ปรับสภาพความเป็นด่างของน้ำให้อยู่ในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) ทำการหมุนเวียนน้ำในถังและเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศและหัวทรายตลอดเวลา คลุมด้านบนของถังด้วยผ้าพลาสติกสำหรับป้องกันแสงแดดและน้ำฝน ทำการเลี้ยงปลานิลที่มีน้ำหนักเริ่มต้นใกล้เคียงกัน 19.8 ± 1.0 ก. ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 3 กก./ลบ.ม. (ประมาณ 10 ตัว) เป็นเวลาอย่างน้อย 60 วัน โดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำและควบคุมระดับตะกอนให้อาหารเม็ดที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 15 ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทุกวัน วันละ 3 ครั้ง ในอัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวันในการทดลองทำการควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก./ล. และค่าความเป็นด่างในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. ทำการ</p>

เก็บตัวอย่างน้ำโดยการกวนน้ำภายในถังเลี้ยงและทำการเก็บแบบสุ่มทุกวันเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และของแข็งแขวนลอย ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (1998)

- อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

เก็บตัวอย่างน้ำที่มีตะกอนชีวภาพแขวนลอยอยู่จากถังเลี้ยงสัตว์น้ำมาในปริมาตร 1 ล. บรรจุลงในขวดโพลีพลาสติกขนาด 2 ล. ดังรูปที่ 3.3 จากนั้นเติมแอมโมเนียคลอไรด์ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ทำการปรับสภาพน้ำด้วยการเติมอากาศด้วยหัวทรายเพื่อให้ออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก./ล. ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 และปรับค่าความเป็นด่างให้อยู่ในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากขวดโพลีเป็นระยะเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตตามวิธีของ APHA (1998) จนกระทั่งปริมาณแอมโมเนียในน้ำเหลือน้อยกว่า 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลความเข้มข้นของแอมโมเนียและของแข็งแขวนลอยที่ได้มาคำนวณอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ



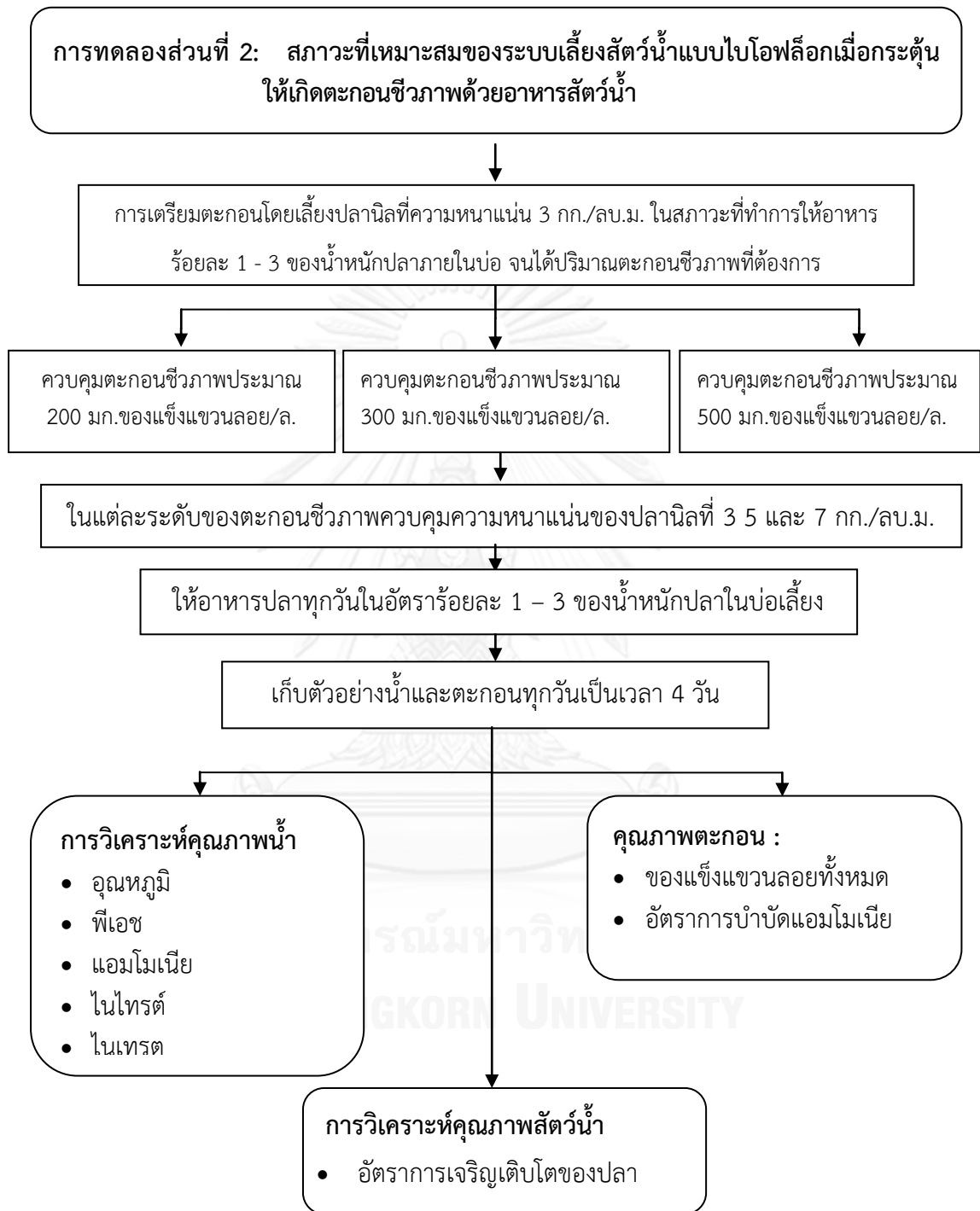
ภาพที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

การทดลองส่วนที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกเมื่อกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพด้วยอาหารสัตว์น้ำ

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงสภาวะที่เหมาะสมของการใช้งานระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก โดยปัจจัยที่เลือกศึกษา คือ ความหนาแน่นของสัตว์น้ำที่แปรผันตรงกับปริมาณของเสียในโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ และระดับของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยง โดยตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนนี้เกิดจากการกระตุ้นด้วยการให้อาหารสัตว์น้ำ การทดลองมีรายละเอียดดังภาพที่ 3.4 และตารางที่ 3.2 แสดงค่าตัวแปรและรายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

- การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก

ทำการเตรียมตะกอนชีวภาพให้ได้ปริมาณที่ต้องการในถังเตรียมตะกอนด้วยการเลี้ยงปลาชนิดที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 131 ± 48 ก. ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 5 กก./ลบ.ม. ในถังพลาสติกทรงกลมขนาด 550 ล. ฐานบ่อกว้าง 86 ซม. ปากบ่อกว้าง 105 ซม. สูง 78 ซม. ให้อาหารปลาทุกวันในอัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวัน โดยไม่มีการเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอก เมื่อได้ปริมาณตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นตามที่ต้องการแล้วทำการแบ่งตะกอนชีวภาพจากถังเตรียมตะกอนลงสู่ถังพลาสติกขนาด 250 ล. ถังกว้าง 100 ซม. ยาว 67 ซม. และสูง 45 ซม. ให้ได้ปริมาณตะกอนชีวภาพเท่ากับ 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. (ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละระดับความหนาแน่น) จากนั้นปล่อยปลานิลที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 60.1 ± 32.6 ก. ให้ได้ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3, 5 และ 7 กก./ลบ.ม. ทำการเลี้ยงระยะสั้นเป็นเวลา 4 วัน โดยให้อาหารเม็ดที่มีโปรตีนร้อยละ 15 ทุกวันๆ ละ 3 ครั้ง ในอัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาภายในถังต่อวันควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังเลี้ยงปลาในแต่ละถังให้มากกว่า 4 มก./ล. ควบคุมพีเอชในช่วง 6.5-7.5 และค่าความเป็นด่างในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกวันเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนแขวนลอย ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, 1998) โดยเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองที่ควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพ 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. เริ่มทำการทดลองอีกครั้งโดยเพิ่มปริมาณตะกอนชีวภาพเป็น 300 และ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 3.4 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 2

ตัวแปรควบคุม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ขนาดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (250 ล.) 2. ชนิดของสัตว์น้ำ (ปลานิล) 3. การให้อาหาร (อัตราร้อยละ 1 – 3 ของน้ำหนักปลาหมดต่อวัน) 4. ค่าพีเอช (7 – 8) 5. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มากกว่า 4 มก./ล.) 6. ค่าความเป็นด่าง (100 – 150 มก.หินปูน/ล.) 7. กระตุ้นการเกิดตะกอนชีวภาพโดยใช้อาหารสัตว์น้ำ
ตัวแปรตาม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต 2. อัตราการบำบัดแอมโมเนีย
ตัวแปรอิสระ
<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพในถัง (200 300 และ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.) 2. ความหนาแน่นของสัตว์น้ำเริ่มต้น (3 5 และ 7 กก/ลบ.ม.)

- อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่มีตะกอนชีวภาพจากถังเลี้ยงสัตว์น้ำในแต่ละระดับความหนาแน่นมาในปริมาตร 1 ล. บรรจุลงในขวดโพลีพลาสติกปริมาตร 2 ล. จากนั้นเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ให้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ทำการเติมอากาศด้วยหัวทรายเพื่อให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก./ล. ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 และปรับค่าความเป็นด่างให้อยู่ในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากขวดโพลีพลาสติกเป็นระยะเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (1998) ทำการเก็บน้ำตัวอย่างจนแอมโมเนียในน้ำเหลืออยู่ในระดับที่น้อยกว่า 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล.และเมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและค่าของแข็งแขวนลอยที่ได้มาคำนวณหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

การทดลองส่วนที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกเมื่อกระตุ้นให้เกิด
ตะกอนชีวภาพด้วยอาหารสัตว์น้ำและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนคาร์บอน
ต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงสภาวะที่เหมาะสมของการใช้งานระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อก โดยตัวแปรที่เลือกศึกษาคือ ความหนาแน่นของสัตว์น้ำ ซึ่งจะแปรผันตรงกับปริมาณของเสียไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ และระดับของตะกอนชีวภาพภายในถังเลี้ยง ตะกอนชีวภาพที่ใช้ในการทดลองมีที่มาจากกระตุ้นด้วยอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำและแป้งมันสำปะหลังในสัดส่วนน้ำหนักคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 ภาพที่ 3.5 แสดงผังการดำเนินการของการทดลองส่วนที่ 3 และตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

- การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก

เริ่มต้นการทดลองโดยเตรียมตะกอนชีวภาพให้ได้ปริมาณที่ต้องการในถังเตรียมตะกอน ด้วยการเลี้ยงปลาไนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (192 ± 145 ก.) ที่ความหนาแน่น 5 กก./ลบ.ม.ในถังพลาสติกขนาด 550 ล. ฐานบ่อกว้าง 86 ซม. ปากบ่อกว้าง 105 ซม. และสูง 78 ซม. ให้อาหารปลาที่มีโปรตีนร้อยละ 15 ในอัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาภายในถังทุกวัน และทำการเติมแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนน้ำหนักคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 เมื่อได้ปริมาณตะกอนชีวภาพตามที่ต้องการ ทำการแบ่งตะกอนชีวภาพจากถังเตรียมตะกอนลงสู่ถังพลาสติกขนาด 250 ล. ถังกว้าง 100 ซม. ยาว 67 ซม. และสูง 45 ซม. ให้ได้ปริมาณตะกอนชีวภาพในระดับ 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. จากนั้นทำการบรรจุปลาไนที่มีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน (82.5 ± 40.9 ก.) ให้ได้ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3 5 และ 7 กก./ลบ.ม. (3 ซ้ำในแต่ละความหนาแน่นของสัตว์น้ำ) ทำการเลี้ยงระยะสั้นเป็นเวลา 4 วัน ด้วยอาหารเม็ดที่มีโปรตีนร้อยละ 15 วันๆ ละ 3 ครั้ง ในอัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาภายในถัง ควบคุมสภาวะในถังเลี้ยงแต่ละถังให้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก./ล. พีเอชในช่วง 6.5-7.5 และค่าความเป็นด่างในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกวันเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนแขวนลอย ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, 1998) โดยเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองที่ 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. จะเริ่มทำการทดลองอีกครั้งโดยเพิ่มความเข้มข้นปริมาณตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงเป็น 300 และ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 3.5 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 3

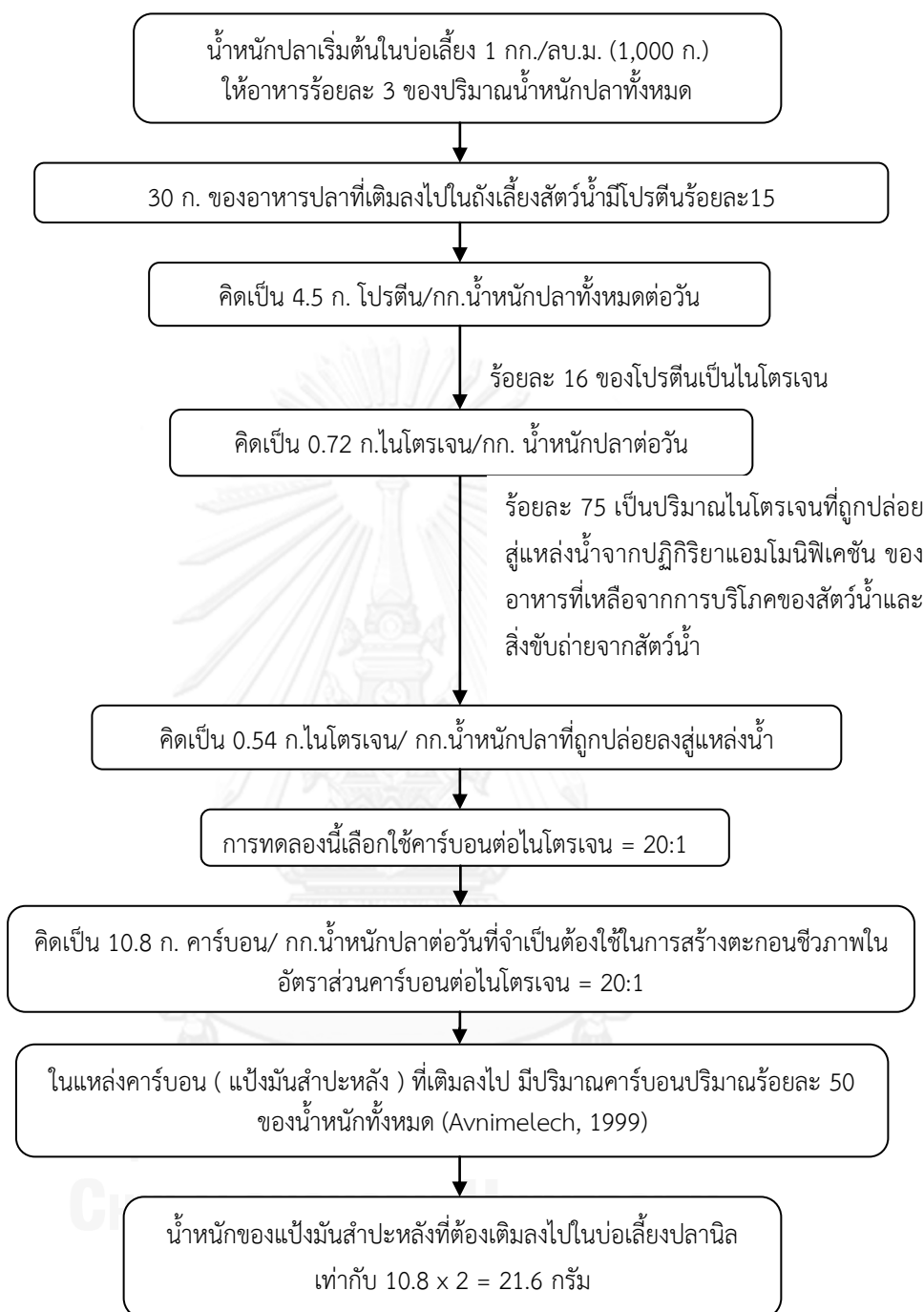
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 3

ตัวแปรควบคุม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ขนาดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (250 ล.) 2. ชนิดของสัตว์น้ำ (ปลานิล) 3. การให้อาหาร (อัตราร้อยละ 1 - 3 ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวัน) 4. ค่าพีเอช (7 - 8) 5. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มากกว่า 4 มก./ล.) 6. ค่าความเป็นด่าง (100 - 150 มก.หินปูน/ล.) 7. สารกระตุ้นตะกอนชีวภาพ (อาหารสัตว์น้ำ และแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1)
ตัวแปรตาม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต 2. อัตราการบำบัดแอมโมเนีย
ตัวแปรอิสระ
<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพในถัง (200 300 และ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.) 2. ความหนาแน่นของสัตว์น้ำเริ่มต้น (3 5 และ 7 กก/ลบ.ม.)
<p>- การคำนวณปริมาณแป้งมันสำปะหลัง</p> <p>ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองจะคำนวณเป็นสัดส่วนกับปริมาณอาหารที่ให้แก่สัตว์น้ำต่อวัน โดยที่ปริมาณอาหารที่ให้แก่สัตว์น้ำต่อวันคำนวณได้จากร้อยละการให้อาหาร ซึ่งในการทดลองนี้อยู่ที่อัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลานิลทั้งหมดต่อวัน อาหารที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำปริมาณโปรตีนทั้งหมดในอาหารไปคำนวณปริมาณไนโตรเจนโดยใช้สมมติฐานว่าไนโปรตีน 100 ก. มีไนโตรเจน 16 ก. อีกทั้งสัตว์น้ำขับถ่ายของเสียไนโตรเจนในอาหารออกมาร้อยละ 75 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่บริโภค (Roselien และคณะ, 2012) ในการทดลองนี้เลือกใช้ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 (Asaduzzaman และคณะ, 2008) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้างตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยการเติมแป้งมันสำปะหลัง</p>

ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่สามารถหาได้ง่าย นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Avnimelech และคณะ (2006) ได้ระบุว่าโดยทั่วไปสารอินทรีย์จะมีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50 ในการทดลองนี้จึงทำการเติมแป้งมันสำปะหลังด้วยการเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าเพื่อให้ได้สัดส่วนตามที่ต้องการ โดยการคำนวณปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองดังภาพที่ 3.6



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



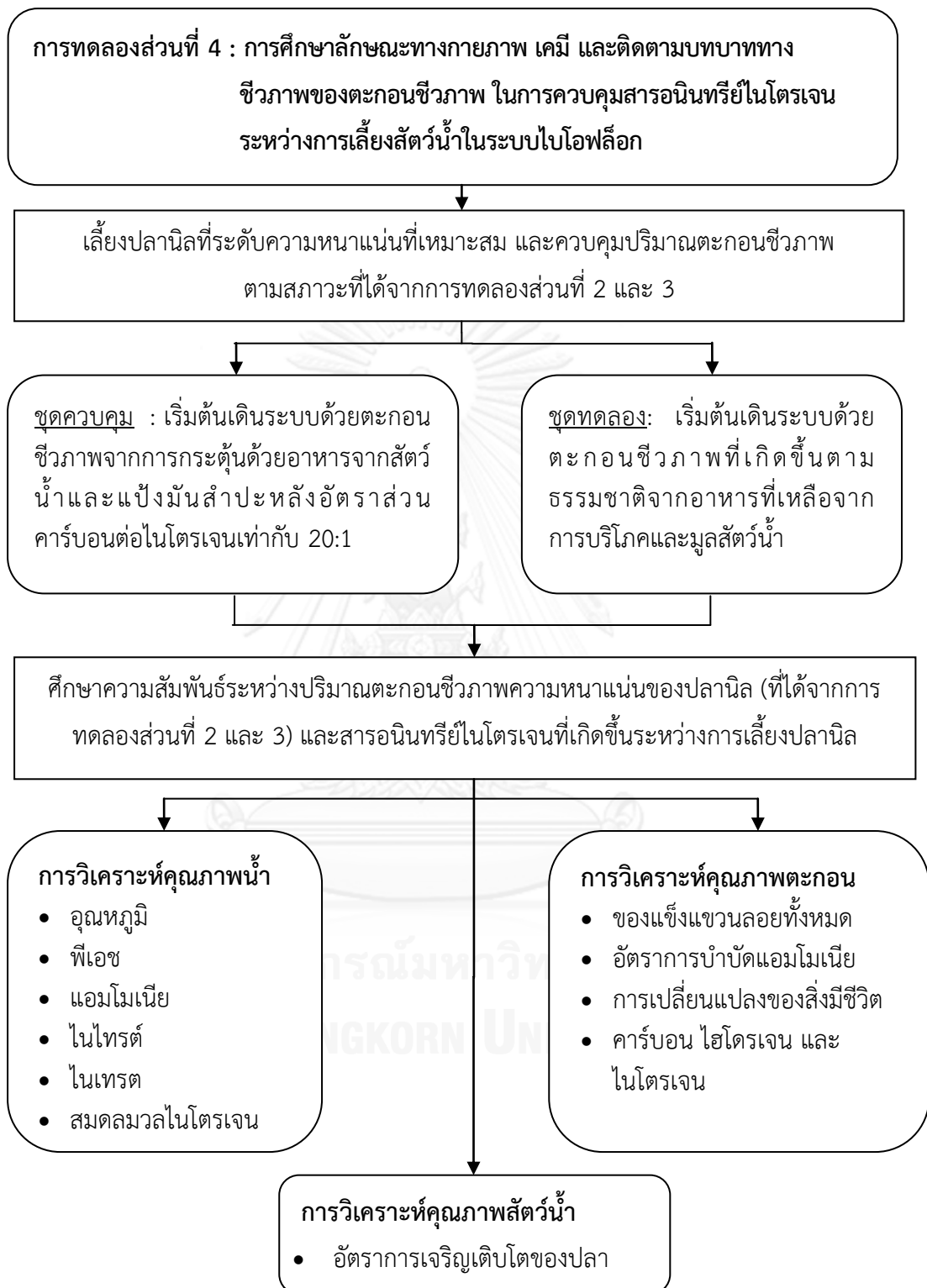
ภาพที่ 3.6 ผังการคำนวณปริมาณแปะมันสำปะหลังที่ใช้ในการกระตุ้นตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลานิล

- อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนชีวภาพจากถังเลี้ยงสัตว์น้ำที่แต่ละระดับความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพมาในปริมาตร 1 ลิ. บรรจุลงในขวดโพลีพลาสติกปริมาตร 2 ลิ. จากนั้นเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ลงในน้ำให้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียเท่ากับ 2 มก.ไนโตรเจน/ลิ. ทำการเติมอากาศด้วยหัวทรายตลอดเวลาเพื่อให้ออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 4 มก./ลิ. ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 และปรับค่าความเป็นด่างให้อยู่ในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ลิ. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากขวดโพลีพลาสติกเป็นระยะเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรต์ และไนเตรต ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (1998) ทำการเก็บน้ำเป็นระยะจนกระทั่งแอมโมเนียในน้ำเหลืออยู่ในระดับน้อยกว่า 0.5 มก.ไนโตรเจน/ลิ. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลความเข้มข้นและค่าของแข็งแขวนลอยที่ได้มาคำนวณหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

การทดลองส่วนที่ 4 การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟลอคเป็นระยะเวลา 60 วัน

ในการทดลองนี้จะศึกษาประสิทธิภาพของระบบไบโอฟลอคที่มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองส่วนที่ 2 และ 3 โดยจะทำการเลี้ยงปลาในระบบไบโอฟลอคที่มีการควบคุมระดับตะกอนชีวภาพในช่วงระหว่าง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. เป็นระยะเวลา 60 วัน ในชุดควบคุมจะมีการให้อาหารปลาและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 ในขณะที่ชุดทดลองจะมีเติมอาหารปลาเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพในระบบไบโอฟลอค ภาพที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 4 และตารางที่ 3.4 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.7 ผังการดำเนินงานของการทดลองส่วนที่ 4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 4

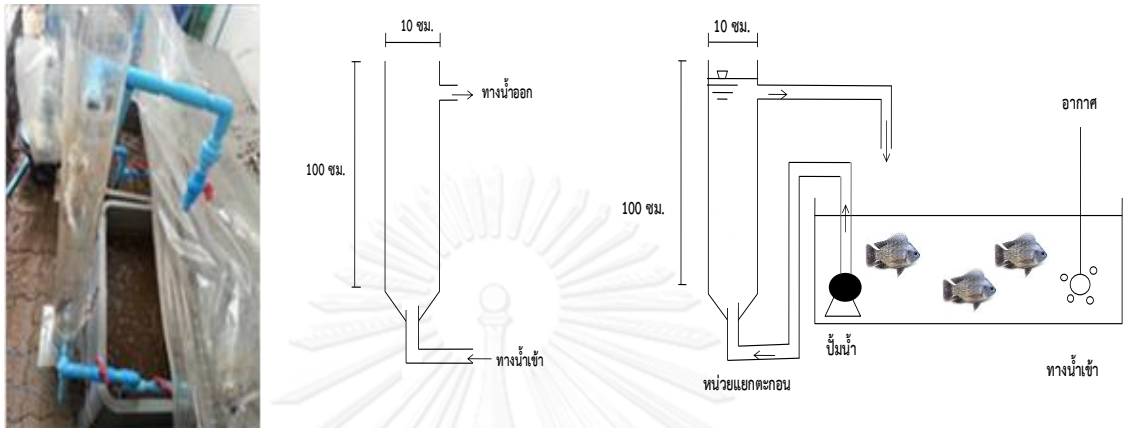
ตัวแปรควบคุม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ขนาดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (250 ล.) 2. ชนิดของสัตว์น้ำ (ปลานิล) 3. ความหนาแน่นของปลาเริ่มต้น 3 กก./ลบ.ม. 4. ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพในถังซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 และ 3 5. การให้อาหาร (อัตราร้อยละ 1 – 3 ของน้ำหนักปลาทั้งหมดต่อวัน) 6. ค่าพีเอช (7 - 8) 7. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มากกว่า 4 มก./ล.) 8. ค่าความเป็นด่าง (100 - 150 มก.หินปูน/ล.)
ตัวแปรตาม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต 2. อัตราการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของปลานิล 3. คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ในตะกอนชีวภาพ 4. สมดุลมวลไนโตรเจน
ตัวแปรอิสระ
<ol style="list-style-type: none"> 1. ตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงสัตว์น้ำ (ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการให้อาหารสัตว์น้ำ และตะกอนชีวภาพที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยอาหารสัตว์น้ำและแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1)
<p>- การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟลอค</p> <p>เดินระบบการทดลองโดยเปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค</p> <p>2 รูปแบบคือ การเลี้ยงปลานิลในชุดควบคุมที่เป็นระบบไบโอฟลอคที่ตะกอนชีวภาพเกิดจากการให้อาหารร่วมกับการเติมแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 และการเลี้ยงปลานิลในชุดทดลองที่เป็นระบบไบโอฟลอคที่ตะกอนชีวภาพเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการให้อาหารเพียงอย่างเดียว ในการเริ่มต้นเดินระบบจะทำการเตรียมตะกอนชีวภาพให้ได้ประมาณ 50</p>

มก.ของแข็งแขวนลอย/ ล. ก่อนโดยในการเตรียมตะกอนชีวภาพนั้นสำหรับในชุดควบคุมจะทำการเตรียมตะกอนชีวภาพจากการกระตุ้นโดยการใส่แป้งมันสำปะหลังและอาหารปลาในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 และในชุดทดลองทำการเตรียมตะกอนชีวภาพด้วยการใช้ปลาในเพียงอย่างเดียวจากนั้นแบ่งตะกอนชีวภาพจากถังเตรียมลงสู่ถังพลาสติกขนาด 250 ล.และใส่ปลาในที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยใกล้เคียงกัน 84 ± 33 ก. ให้ได้ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3 กก./ลบ.ม. โดยทำการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 60 วันโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วยอาหารเม็ดที่มีโปรตีนร้อยละ 15 วันละ 3 เวลา ในอัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาในถัง ควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังเลี้ยงให้มากกว่า 4 มก./ล. พีเอชในช่วง 6.5-7.5 และค่าความเป็นด่างในช่วง 100-150 มก.หินปูน/ล. และรักษาระดับตะกอนชีวภาพในช่วงที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 และ 3 ด้วยหน่วยแยกตะกอนที่ดัดแปลงและพัฒนามาจากงานวิจัยของศิวฤกษ์ หนูฤทธิ์ (2554) อย่างไรก็ตามรูปแบบหน่วยแยกตะกอนดังกล่าวประสบปัญหาในการควบคุมปริมาณตะกอนทำให้ต้องมีการปรับปรุงรูปแบบอีกครั้งด้วยการเพิ่มบานพับปิดเปิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานทั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนทุกวันเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนแขวนลอยตามวิธีมาตรฐาน APHA (1998) ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนชีวภาพทุก 15 วัน เพื่อส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนและติดตามการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในตะกอน นอกจากนี้ทำการนับจำนวนปลาใน ตรวจวัดน้ำหนักและความยาวปลาทุกตัว ในช่วงก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง เพื่อวิเคราะห์อัตราการรอดและอัตราการเจริญเติบโตของปลาในถังเลี้ยง

- หน่วยแยกตะกอนในการควบคุมปริมาณตะกอน

การทดลองส่วนนี้ทำการควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลาในให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ด้วยหน่วยแยกตะกอนที่ดัดแปลงและพัฒนาต่อเนื่องมาจากงานวิจัยของศิวฤกษ์ หนูฤทธิ์ (2554) โดยอาศัยหลักการแยกตะกอนตามแรงโน้มถ่วง หน่วยแยกตะกอนประกอบด้วยท่อพลาสติกใสเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ความสูง 1 ม. น้ำเสียที่มีตะกอนชีวภาพจะไหลเข้าสู่หน่วยแยกตะกอน

ทางด้านล่างและปล่อยให้ตกตะกอนในหน่วยแยกตะกอน ส่วนน้ำใสจะไหลเวียนกลับสู่ถังเลี้ยงสัตว์น้ำด้านบน โดยการติดตั้งหน่วยแยกตะกอนเข้ากับถังเลี้ยงสัตว์น้ำดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การติดตั้งหน่วยแยกตะกอนกับถังเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนในระบบ

- อัตราการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของปลานิล

ทำการวัดอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบทุก 15 วัน โดยการชั่งน้ำหนัก และวัดความยาว อีกทั้งนับจำนวนปริมาณปลาที่คงอยู่ในระบบเพื่อวัดอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดชีวิตของปลานิล ภาพที่ 3.10 แสดงการวิเคราะห์คุณภาพสัตว์น้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอค ด้วยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาว



ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์คุณภาพสัตว์น้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอค

- การทำสมดุลไนโตรเจน

การทำสมดุลมวลไนโตรเจนเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของปริมาณไนโตรเจนในระบบ โดยทั่วไปไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำจะกระจายตัวอยู่ในรูปอาหารสัตว์น้ำที่ใช้เลี้ยง สัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลอง แอมโมเนียไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนแขวนลอย โดยปริมาณไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ไนโตรเจนในรูปอาหารสัตว์} = (A) \times (B) \times (C)$$

- เมื่อ A คือ ปริมาณอาหารที่ให้แก่สัตว์น้ำ(กรัม)
 B คือ ร้อยละของโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำ
 C คือ ร้อยละของไนโตรเจนในโปรตีน ซึ่งในการทดลองนี้เท่ากับร้อยละ 16

$$\text{ไนโตรเจนในรูปตะกอนแขวนลอยในน้ำ} = (D) \times (E) \times (F)$$

- เมื่อ D คือ ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย (มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.)
 E คือ ปริมาตรน้ำในถังเลี้ยงปลา (ลิตร)
 F คือ ร้อยละของไนโตรเจนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O Analyzer

$$\text{ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย} = (G) \times (H)$$

- เมื่อ G คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียจากการวิเคราะห์โดยเครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)
 H คือ ปริมาตรน้ำในถังเลี้ยงปลา (ลิตร)

$$\text{ไนโตรเจนในรูปไนไตรต์} = (I) \times (J)$$

- เมื่อ I คือ ความเข้มข้นของไนไตรต์จากการวิเคราะห์โดยเครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)
 J คือ ปริมาตรน้ำในถังเลี้ยงปลา (ลิตร)

ไนโตรเจนในรูปไนเตรต = (K) x (L)

เมื่อ K คือ ความเข้มข้นของไนเตรตจากการวิเคราะห์โดยเครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
(มก.ไนโตรเจน/ล.)

L คือ ปริมาตรน้ำในถังเลี้ยงปลานิล (ลิตร)

ไนโตรเจนในรูปของมวลปลานิล = (M) x (N)

เมื่อ M คือ น้ำหนักปลานิล(กรัม)

N คือ ร้อยละของไนโตรเจนในปลานิลซึ่งในการทดลองนี้เท่ากับร้อยละ 6.35
จากการส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHON/S Analyzer

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาเบื้องต้นของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดในระบบไบโอฟลอค

การทดลองนี้ทำการศึกษาผลของตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต) ในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยจะทำการเลี้ยงปลาชนิดที่ความหนาแน่นเริ่มต้นประมาณ 3 กก./ลบ.ม. ในถังพลาสติกทรงกลมขนาด 500 ล.

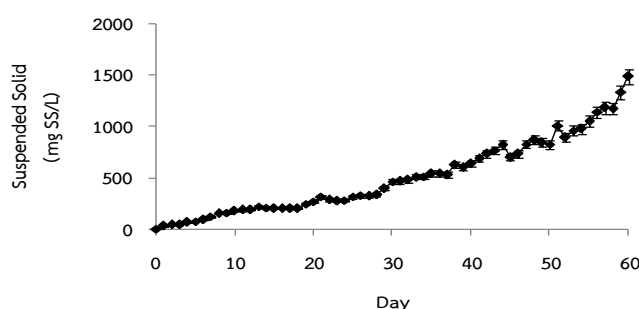
4.1.1 ตะกอนแขวนลอย

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลาชนิดซึ่งวัดในรูปของแข็งแขวนลอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 4.1 ปริมาณตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นเพิ่มจากน้อยกว่า 20 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในวันเริ่มต้นการทดลองจนอยู่ในระดับสูงสุดเท่ากับ $1,487 \pm 42$ มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ผลการทดลองที่ได้รับคล้ายคลึงกับผลการวิจัยของ (ทยากร สุวรรณรัตน์, 2552) และ ศิวฤกษ์ หนูฤทธิ (2554) ซึ่งพบการเพิ่มขึ้นของตะกอนชีวภาพจนถึงระดับมากกว่า 1,000 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในการทดลองเลี้ยงปลาชนิดที่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้นใกล้เคียงกันโดยไม่มีการถ่ายน้ำเป็นเวลา 60 วัน นอกจากนี้รายงานโดย Azim และ Little (2008) ระบุว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มากกว่า 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ โดยตะกอนจะสะสมบริเวณเหงือกทำให้ประสิทธิภาพในการขนถ่ายออกซิเจนลดน้อยลง อีกทั้งทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง

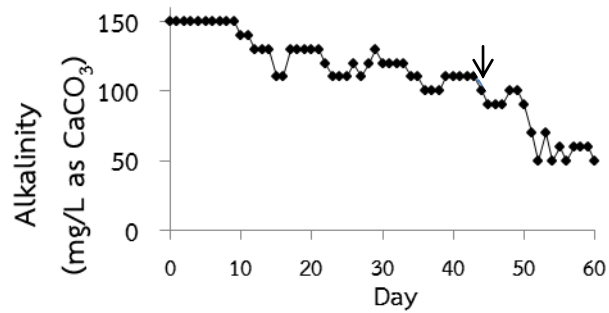
4.1.2 คุณภาพน้ำและสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน

ผลการติดตามคุณภาพน้ำพบว่าค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลองของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พีเอช (pH) อุณหภูมิ และความเป็นต่างเท่ากับ 6.78 ± 0.60 มก./ล., 7.27 ± 0.28 , 27 ± 0.90 °ซ และ 114 ± 16 มก.หินปูน/ล. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (มันสิน ตันจุลเวศม์ และไพพรรณ

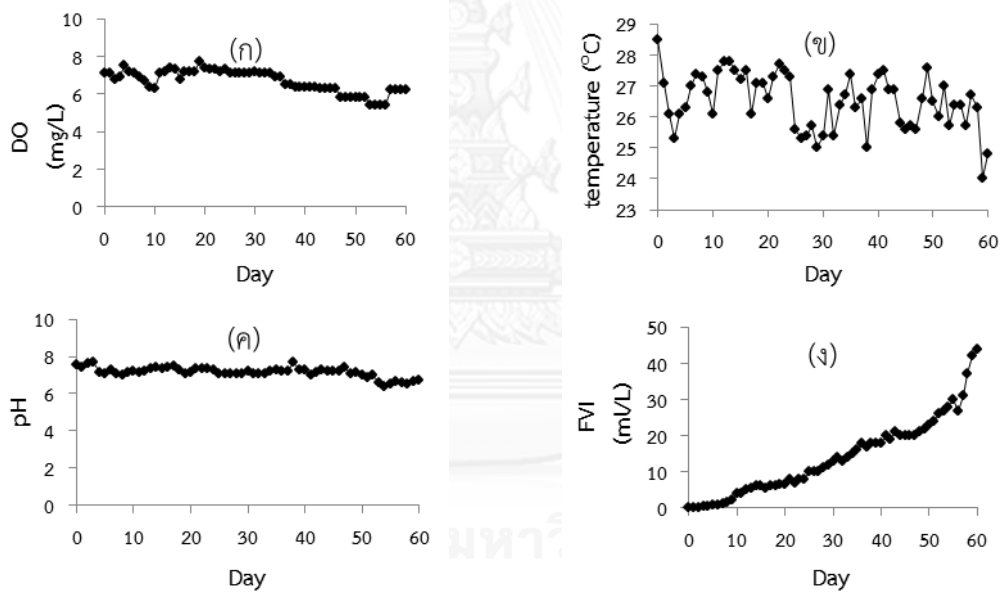
พรประภา, 2540) ภาพที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในถังเลี้ยงสัตว์น้ำ ตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งพบการสะสมของแอมโมเนียตามด้วยไนไตรต์ ในระหว่างวันที่ 1 ถึง 20 และมีการเพิ่มขึ้นของไนเตรตอย่างต่อเนื่อง การสะสมของแอมโมเนียตามด้วยไนไตรต์เป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการเจริญที่แตกต่างระหว่างแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) และ Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB) (Ebelling และคณะ, 2006) ต่อมาในช่วงวันที่ 21-50 ซึ่งปริมาณของเสียไนโตรเจนเข้าสู่ระบบ ในช่วง 2.9-9.6 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน และมีระดับตะกอนชีวภาพอยู่ระหว่าง 200-800 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. พบว่าระบบสามารถควบคุมแอมโมเนียและไนไตรต์ให้มีค่าต่ำกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล. สอดคล้องกับความเป็นต่างที่เกิดขึ้นในระบบดังภาพที่ 4.2 ซึ่งเริ่มมีค่าลดลง เนื่องจากแบคทีเรียในระบบมีการดึงนำคาร์บอนในระบบไปใช้ ทำให้ค่าความเป็นต่างเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 45 เป็นต้นมา ทำให้จำเป็นต้องปรับสภาพความเป็นต่างในระบบด้วยการเติมไบคาร์บอเนต ลงไปเพื่อควบคุมความเป็นต่างให้อยู่ในช่วง 100-150 มก./ล.หินปูน ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การ เจริญเติบโตของปลาชนิด อย่างไรก็ตามหลังจากวันที่ 50 พบว่าการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์ด้วย กระบวนการไนตริฟิเคชันไม่สามารถดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งยืนยันได้จากความเข้มข้น ของไนไตรต์ที่สูงถึง 2.1 ± 0.18 มก.ไนโตรเจน/ล. ในวันที่ 60 ในช่วงเวลาดังกล่าว (วันที่ 51-60) พบว่าตะกอนชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,120 \pm 184$ มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.



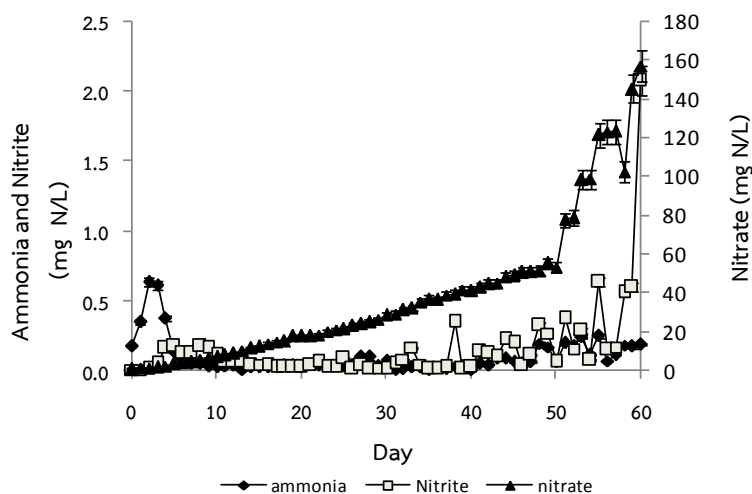
ภาพที่ 4.1 การเพิ่มขึ้นของตะกอนชีวภาพในระบบเลี้ยงปลานิลแบบปิด ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำระยะเวลา 60 วัน



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างในระบบเลี้ยงปลาชนิดแบบปิด
ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำระยะเวลา 60 วัน (↓แสดงการปรับสภาพความเป็นด่าง)



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางกายภาพในระบบเลี้ยงปลาชนิดแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยน
ถ่ายน้ำเป็นระยะเวลา 60 วัน ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ (ก) อุณหภูมิ (ข) พีเอช (ค) ดัชนีปริมาณ
ตะกอน (Floc Volume Index, FVI) (ง) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) (จ) และปริมาณของแข็ง
แขวนลอย (ฉ)



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงปลานิลแบบปิดที่ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะเวลา 60 วัน

4.1.3 สมดุลมวลไนโตรเจน

ผลการคำนวณสมดุลมวลไนโตรเจนของการเลี้ยงปลานิลแสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางพบว่าปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบส่วนใหญ่ (ร้อยละ 81.4) มาจากอาหารที่ให้สัตว์น้ำ ซึ่งได้เปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ รวมถึงตะกอนชีวภาพและน้ำหนักของปลานิลที่เพิ่มขึ้น จากการคำนวณพบว่าไนทรีฟิเคชันเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ควบคุมคุณภาพน้ำ ซึ่งเห็นได้จากสัดส่วนของไนเตรตสูงถึงร้อยละ 65.4 อย่างไรก็ตามพบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนในรูปของตะกอนชีวภาพมีค่าถึงร้อยละ 18.32 ซึ่งอาจบ่งชี้ว่ากระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ ก็มีบทบาทในการควบคุมไนโตรเจนในน้ำควบคู่กับกระบวนการไนทรีฟิเคชัน สัดส่วนของการกระจายตัวของไนโตรเจนที่พบในการทดลองนี้คล้ายคลึงกับผลการวิจัยของ Nootong และคณะ (2011) ในชุดควบคุมที่ทำการเลี้ยงปลานิลโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งพบว่ามีสัดส่วนของไนโตรเจนในรูปไนเตรตและไนตะกอนชีวภาพเท่ากับร้อยละ 58 และ 4 ตามลำดับ โดยการที่สมดุลมวลไนโตรเจนขาออกจากระบบเมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 วัน มีค่ามากกว่าผลรวมของไนโตรเจนเข้าระบบ คาดว่าเป็นผลจากการที่ปริมาณไนเตรตมีค่าสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องมีการเจือจางเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลการเจือจางในปริมาณสูง (เจือจาง 15-20 เท่า) อาจทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

ตารางที่ 4.1 สมดุลมวลไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน

ขาเข้า	กรัม	ร้อยละ	ขาออก	กรัม	ร้อยละ
	ไนโตรเจน	ไนโตรเจน		ไนโตรเจน	ไนโตรเจน
ปลานิล	15.1	17.9	ปลานิล	18.5	15.4
อาหารปลา	68.7	81.4	แอมโมเนีย	0.1	0.08
แอมโมเนีย	0.1	0.1	ไนไตรต์	1.0	0.8
ไนไตรต์	0.0	0.0	ไนเตรต	78.6	65.4
ไนเตรต	0.5	0.6	ตะกอนชีวภาพ	22.0	18.32
ผลรวม	84.36	100	ผลรวม	120.2	100

4.1.4 อัตราการบำบัดแอมโมเนีย

ในระหว่างการทดลองเลี้ยงปลานิลได้ทำการสู่มตัวอย่างตะกอนชีวภาพเพื่อตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเกิดขึ้นในวันที่ 45 เท่ากับ 18.96 ± 16.55 มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอยต่อวัน อย่างไรก็ตามในวันที่ 45 เริ่มพบการสะสมของไนไตรต์ซึ่งบ่งชี้ว่าตะกอนแขวนลอยชีวภาพในถังเลี้ยงอยู่ในระดับอันตราย นอกจากนี้ข้อมูลในตารางยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียในวันที่ 30 มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 จากอัตราการบำบัดในวันที่ 45 โดยมีค่าเท่ากับ 13.78 ± 5.81 มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอยต่อวัน และมีปริมาณตะกอนเท่ากับ 460 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. และมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์น้อยกว่า 0.25 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งจากข้อมูลอัตราการบำบัดแอมโมเนียและความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์อาจทำให้สรุปเบื้องต้นได้ว่า ระดับของตะกอนชีวภาพที่ควรคงไว้ในระบบไบโอฟล็อกควรมีค่าระหว่าง 200 - 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.

ตารางที่ 4.2 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนที่ 1

วัน	อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)	ของแข็งแขวนลอย (มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)
7	12.51±1.40	122
15	10.20±1.12	200
30	13.78±5.81	460
45	18.96±16.55	700
60	16.71±28.83	1,487

4.1.5 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิล

ข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในตารางที่ 4.3 พบว่าไม่มีปลานิลตายระหว่างการทดลอง และมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลองเท่ากับ 0.59 ก./วัน ซึ่งน้อยกว่าผลการทดลองจากงานวิจัยที่ผ่านมา (ตารางที่ 4.4) โดยอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในช่วงเริ่มต้นการทดลองระหว่างวันที่ 1-15 ที่ตะกอนชีวภาพมีปริมาณน้อยกว่า 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. มีค่ามากกว่าอัตราการเจริญเติบโตเมื่อระดับตะกอนชีวภาพภายในถังเลี้ยงสูงมากกว่า 400 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ประมาณ 2-3 เท่า ซึ่งสาเหตุของการลดลงของอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลคาดว่าเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของตะกอนชีวภาพอย่างรวดเร็วในถังเลี้ยง และระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนที่มากกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. ในช่วงสุดท้ายของการทดลอง โดยผลการทดลองที่ได้รับเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการวิจัยของ Schweitzer และคณะ (2013) ซึ่งพบว่าอัตราการรอดชีวิตของกุ้งขาวมีค่าลดต่ำลงเมื่อปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มสูงเกิน 800 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.

ตารางที่ 4.3 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลเฉลี่ยต่อวันในการทดลองส่วนที่ 1

วัน	อัตราการเจริญเติบโต (ก./วัน)	อัตราการรอดชีวิต (ร้อยละ)
0-15	1.29	100
16-30	0.49	100
31-45	0.57	100
46-60	< 0.1	100
ค่าเฉลี่ย	0.59	100

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในการทดลองกับงานวิจัยอื่น

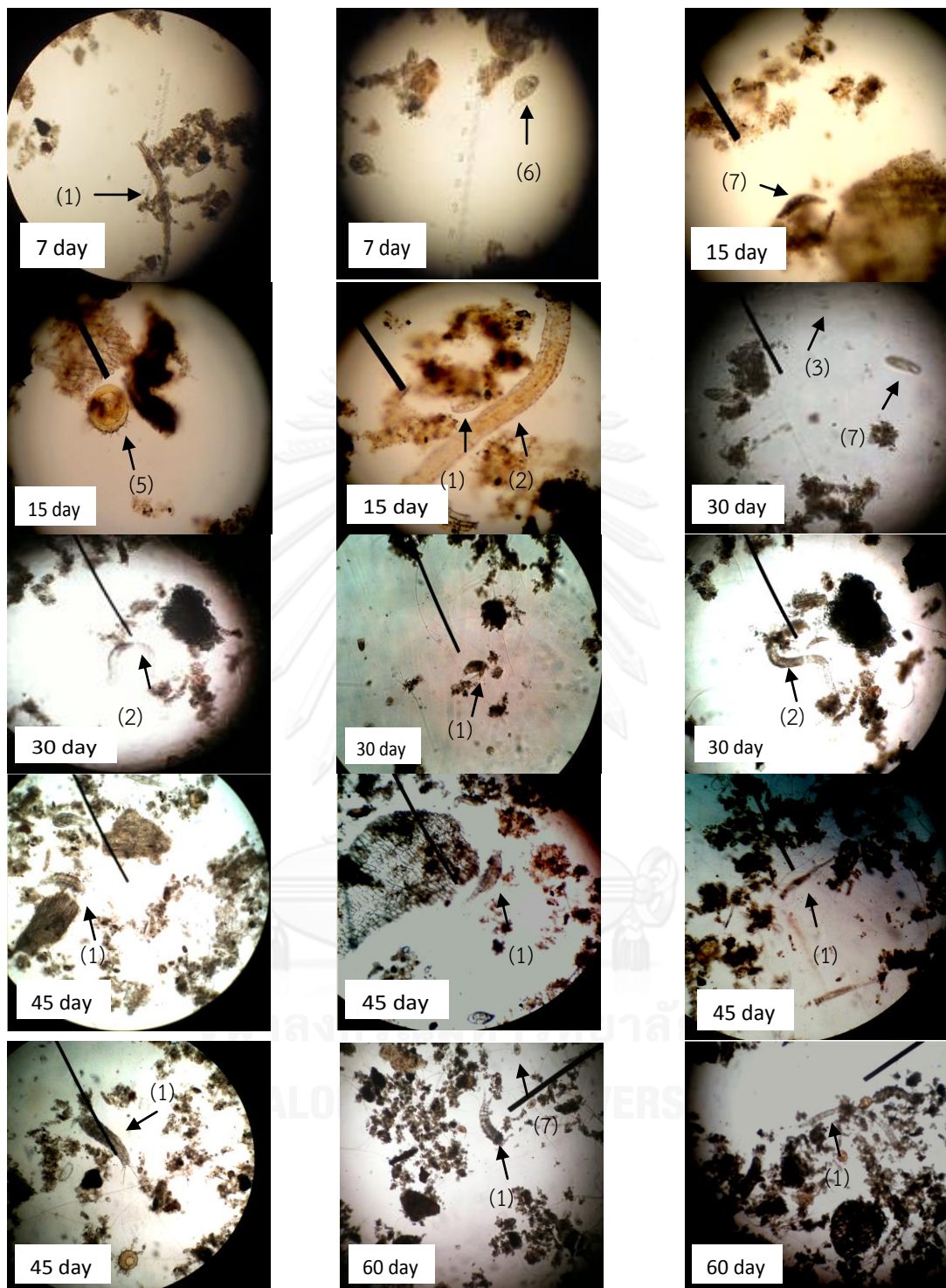
งานวิจัย	รูปแบบการเลี้ยง	อัตราการเจริญเติบโต
การทดลองครั้งนี้	ทำการเลี้ยงปลานิลความหนาแน่น 3 กก./ลบ.ม. เป็นระยะเวลา 60 วัน	0.59 ก./วัน
ศิวฤกษ์ หนูฤทธิ (2554)	ทำการเลี้ยงปลานิลความหนาแน่น 3 กก./ลบ.ม. เป็นระยะเวลา 98 วัน	0.73 ก./วัน
ทยากร สุวรรณรัตน์ (2552)	ทำการเลี้ยงปลานิลที่ความหนาแน่น 3 กก./ลบ.ม. เป็นระยะเวลา 81 วัน	1.06 ก./วัน

4.1.6 กลุ่มสิ่งมีชีวิตในตะกอนชีวภาพ

เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะตะกอนและกลุ่มสิ่งมีชีวิตในตะกอนแขวนลอยในช่วงเวลาต่างๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (1998) จากภาพที่ 4.5 พบว่ากลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา โดยในช่วงแรกพบการเจริญเติบโตของสัตว์เซลล์เดียวขนาดเล็ก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านจะถูกแทนที่ด้วยสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่นๆ ในด้านปริมาณก็เช่นเดียวกัน ในบางช่วงเวลา

จะพบการเจริญของสิ่งมีชีวิตบางชนิดเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างโดดเด่น โดยในการทดลองช่วงแรก เมื่อตะกอนแขวนลอยมีอายุน้อยจะพบโปรโตซัวกลุ่มโรติเฟอร์ (Rotifer) และซิลิเอตโปรโตซัว (Free Swimming Ciliates) ในตะกอนอายุ 7 วัน ต่อมาเมื่อระยะเวลาผ่านไป 15 วัน ทำการสุ่มและตรวจสอบตะกอนอีกครั้งด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 เท่า พบว่ากลุ่มประชากรสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยพบโปรโตซัวจำพวกสาโคดิเนา (Sarcodina) พารามีเซียม และ หนอนแดง (Nematodes) เกิดขึ้นในระบบ การพบสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้อาจมีสาเหตุมาจากการที่ตะกอนชีวภาพเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้ตะกอนบางส่วนตกลงยังบริเวณก้นบ่อ ซึ่งบางจุดปริมาณออกซิเจนอาจมีค่าต่ำหรือออกซิเจนไม่ทั่วถึง ทำให้เกิดหนอนแดงบริเวณจุดดังกล่าว และเมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน ทำการสุ่มตรวจสอบอีกครั้งพบว่ากลุ่มสิ่งมีชีวิตในระบบส่วนมากเป็นโปรโตซัวในกลุ่มโรติเฟอร์ และในช่วงท้ายของการทดลองตั้งแต่วันที่ 45 ถึง 60 วันพบประชากรของพารามีเซียมและโรติเฟอร์เป็นกลุ่มหลัก ทั้งนี้พบว่าประชากรในกลุ่มโรติเฟอร์มีความหลากหลายและเพิ่มจำนวนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป

จากการเปรียบเทียบกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอคพบว่ามีความคล้ายคลึงกับรายงานวิจัยที่ผ่านมาของสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (2552) ซึ่งใช้ระบบไบโอฟลอคเลี้ยงปลาในสภาวะกลางแจ้ง ในรายงานดังกล่าวพบการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มสิ่งมีชีวิตจากแพลงก์ตอนพืชไปเป็นแพลงก์ตอนสัตว์และโรติเฟอร์ นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกับกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ตรวจพบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ทั้งนี้เนื่องจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอคอาศัยหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Schryver และคณะ, 2008)



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบในตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงปลานิลในการทดลอง ส่วนที่ 1 Rotifers (1) Nematodes (2) Free Swimming Ciliates (3) Stalked Ciliates (4) Sarcodina (5) Ciliates (6) Paramecium (7) Stalked Ciliates (8)

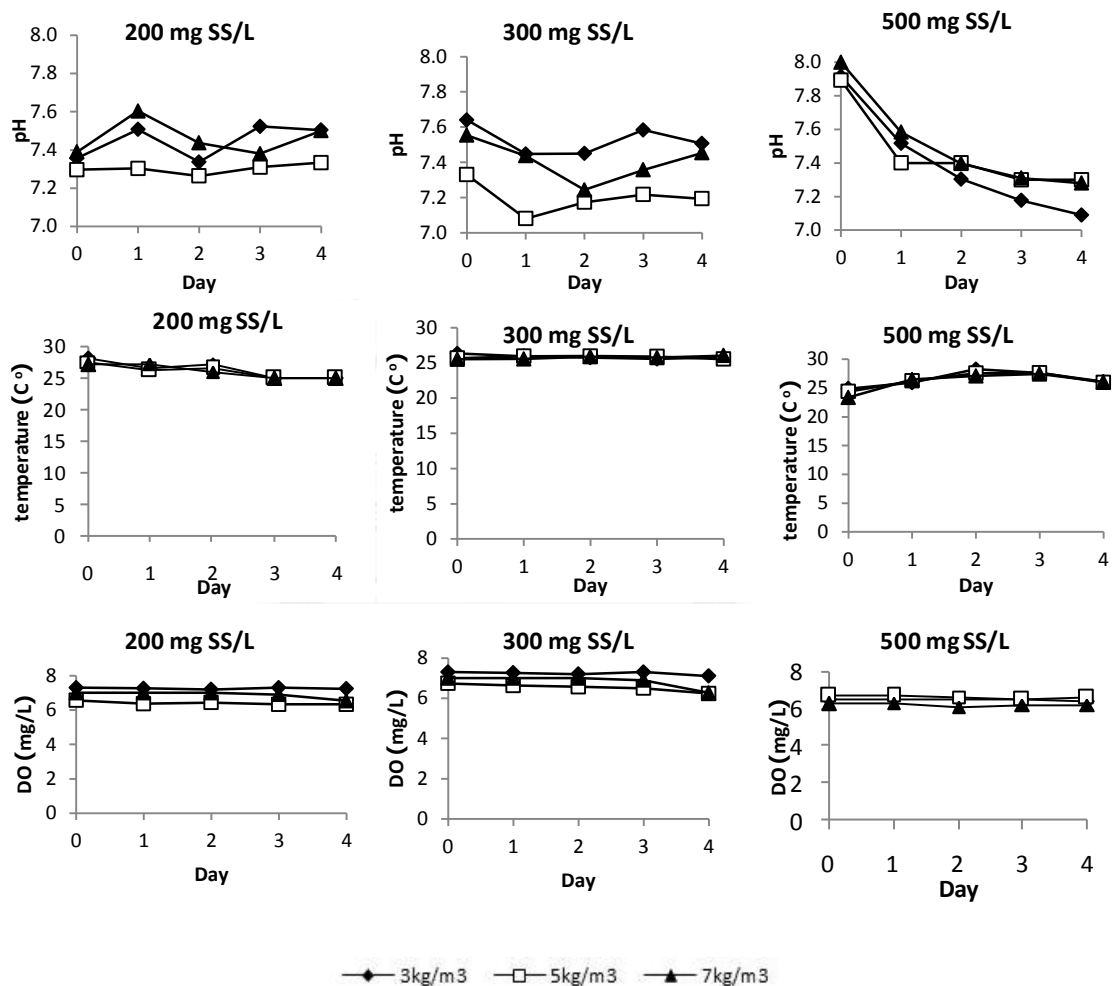
4.2 สภาวะที่เหมาะสมของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกเมื่อกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพด้วยอาหารสัตว์น้ำ

การทดลองในส่วนนี้ต้องการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมของการใช้งานระบบไบโอฟล็อกโดยปัจจัยที่จะศึกษาคือระดับของตะกอนชีวภาพและความหนาแน่นของสัตว์น้ำ ที่มาของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนนี้เกิดจากการกระตุ้นโดยใช้อาหารสัตว์น้ำ

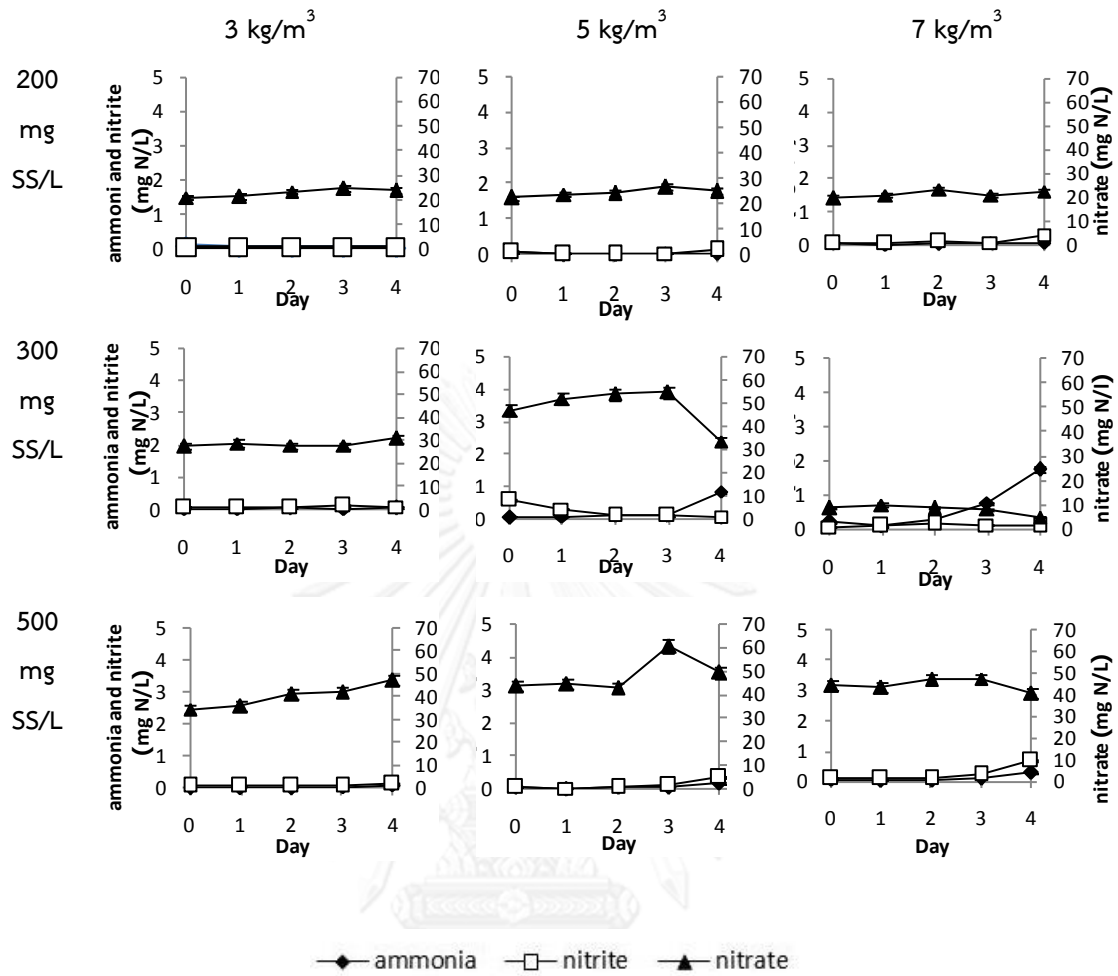
4.2.1 ผลของตะกอนชีวภาพและความหนาแน่นของสัตว์น้ำต่อคุณภาพน้ำ

ภาพที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ทางกายภาพของน้ำในการทดลองส่วนที่ 2 โดยค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของลักษณะทางกายภาพของน้ำในถังเลี้ยงปลา ได้แก่ พีเอช (7.4 ± 0.2) อุณหภูมิ (25.6 ± 1.8 °C) และออกซิเจนละลายน้ำ (6.9 ± 0.5 มก./ล.) พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแก่การดำรงชีวิตของปลานิล อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตในส่วนของค่าพีเอชว่ามีการลดลงตามเวลาในทุกการทดลอง ซึ่งคาดว่าเป็นผลของกระบวนการแอมโมเนียฟิเคชันและไนทริฟิเคชันซึ่งมีการผลิตไฮโดรเจนอ็อกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2554) การทดลองส่วนนี้ได้เลือกระดับของตะกอนชีวภาพโดยใช้ข้อสรุปจากผลการทดลองในส่วนที่ 1 ซึ่งพบว่าตะกอนชีวภาพในช่วง 200-500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. สามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล. และไม่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำมากนัก ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนดังภาพที่ 4.7 พบว่าเมื่อควบคุมระดับของตะกอนชีวภาพที่ประมาณ 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ระบบสามารถคงความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ต่ำกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล. ในทุกความหนาแน่นของสัตว์น้ำที่ได้ทดสอบ และเมื่อควบคุมระดับตะกอนชีวภาพที่ประมาณ 300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ความหนาแน่นของปลานิลที่ 3 กก./ลบ.ม. ระบบยังควบคุมแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ดี แต่เมื่อความหนาแน่นของปลานิลเพิ่มจาก 3 กก./ลบ.ม. เป็น 5 และ 7 กก./ลบ.ม. พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยในวันสุดท้ายของการทดลองมีค่า 0.83 และ 1.76 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ส่วนในระบบที่ทำการควบคุมระดับตะกอนชีวภาพที่ประมาณ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับการทดลองที่ระดับตะกอนชีวภาพ 300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. โดยเริ่มสังเกตพบการสะสมของไนไตรต์เพิ่มเติมจากแอมโมเนีย แต่ความเข้มข้นของไนไตรต์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

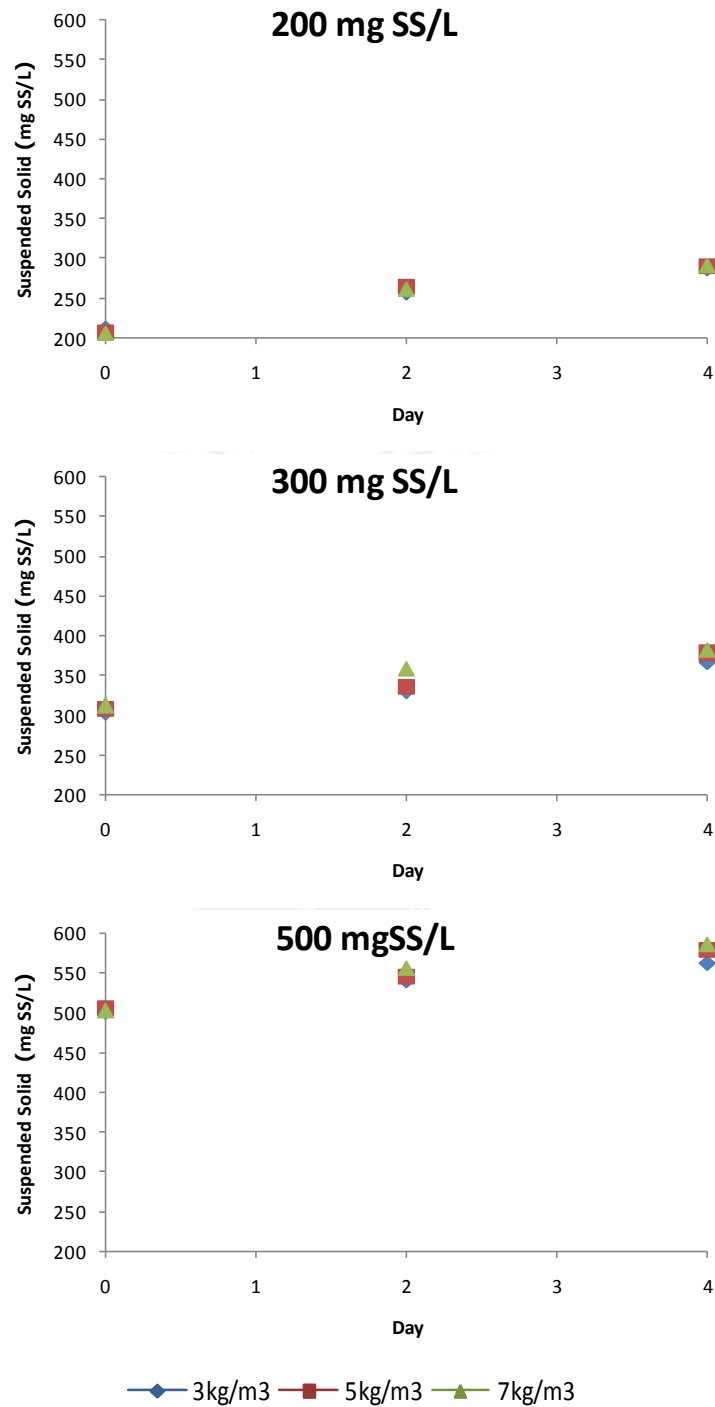
ต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ (<1 มก.ไนโตรเจน/ล.) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในการทดลองส่วนที่ 2 นี้การบำบัดสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน เนื่องจากพบการลดลงของค่าพีเอชและการเพิ่มขึ้นของไนเตรต ขณะที่ระดับของแอมโมเนียและไนไตรต์ส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำ ในส่วนการบำบัดด้วยกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์นั้นคาดว่ามีความกระทบทาน้อยเนื่องจากตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้นไม่มากในระยะเวลา 4 วันของการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.8 และเมื่อนำข้อมูลของปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณร้อยละไนโตรเจน จะพบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนในตะกอนที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.43 ของปริมาณไนโตรเจนที่เติมลงไปในทุกชุดการทดลอง



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ และออกซิเจนละลายน้ำในการทดลองส่วนที่ 2



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ในการทดลองส่วนที่ 2



ภาพที่ 4.8 ปริมาณของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนที่ 2 ที่แต่ละความหนาแน่นของปลาชนิด

4.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

ผลการศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจากถังเลี้ยงปลาในปริมาตร 1 ลิ. และปรับความเข้มข้นของแอมโมเนียให้เป็น 2 มก.ไนโตรเจน/ลิ. ในสภาวะที่ควบคุมออกซิเจนละลายน้ำให้มากกว่า 4 มก./ลิ. ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่ปริมาณตะกอนชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลให้เกิดการย่อยของตะกอนชีวภาพบางส่วนนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียในระบบ ส่งผลให้ความสามารถในการบำบัดของตะกอนชีวภาพลดลง โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดมีค่าเท่ากับ 16.07 ± 5.77 มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอย/วัน เมื่อใช้ตะกอนชีวภาพจากถังเลี้ยงที่ระดับ 300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ลิ. อัตราการบำบัดสูงสุดมีค่ามากกว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพที่ระดับ 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ลิ. ไม่มากนัก แต่มากกว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพที่ระดับ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ลิ. ถึงประมาณ 3 เท่า จะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้รับมีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำในส่วนที่ 4.2.1 ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นแอมโมเนียและไนโตรท์จะต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ลิ. เมื่อควบคุมระดับตะกอนชีวภาพในช่วงระหว่าง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ลิ. อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้อมูลจากทั้งสามความเข้มข้นที่ได้รับไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบตัวแปรเดียว (Anova: single-Factor) พบว่าข้อมูลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.5 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2

ของแข็งแขวนลอย (มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)	อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)
200	14.23 ± 1.76
300	16.07 ± 5.77
500	5.29 ± 1.96

4.3 สภาวะที่เหมาะสมของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกเมื่อกระตุ้นให้เกิดตะกอนชีวภาพ ด้วยอาหารสัตว์น้ำและแป้งมันสำปะหลัง

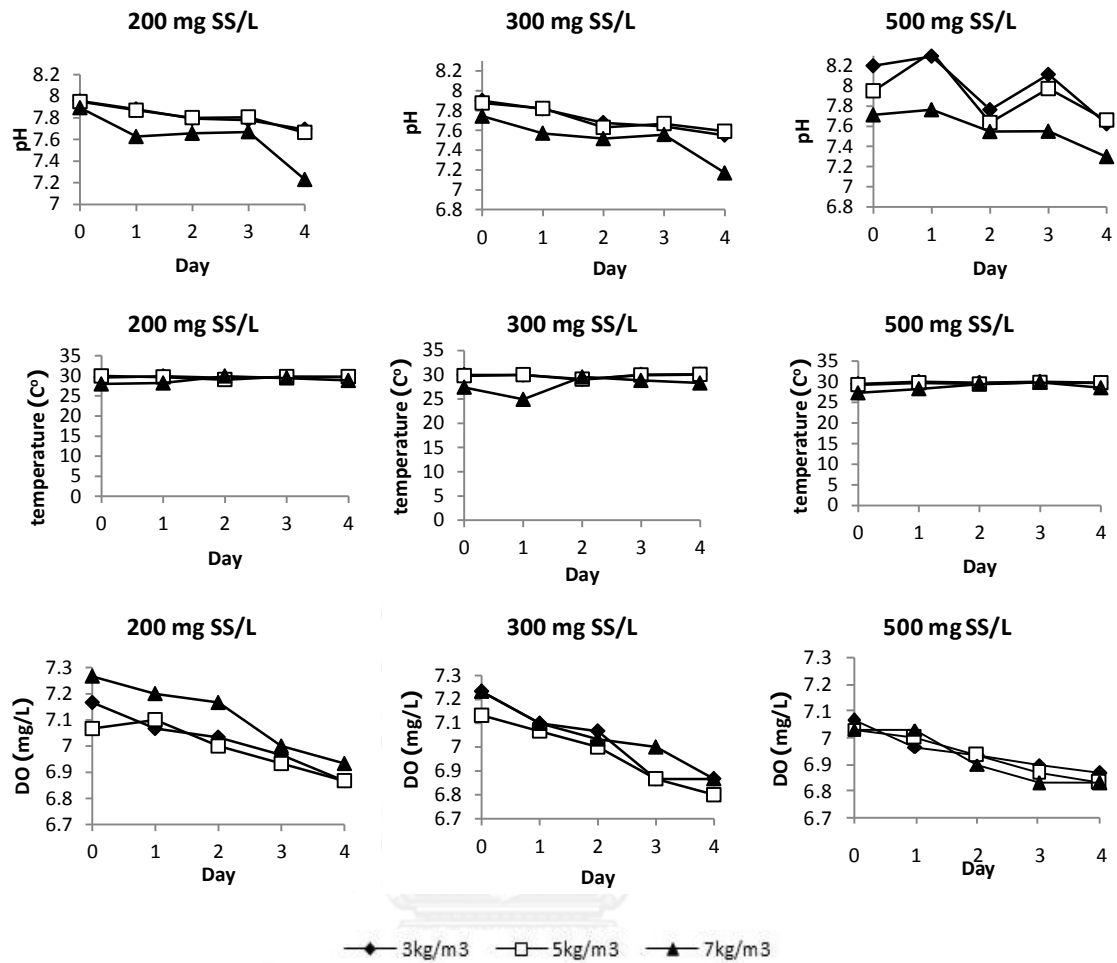
การทดลองในส่วนนี้ต้องการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้งานระบบไบโอฟล็อก โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษานี้อาจจะเหมือนกับการทดลองที่ 4.2 คือระดับของตะกอนชีวภาพและความหนาแน่นของสัตว์น้ำ แต่ที่มาของตะกอนชีวภาพในการทดลองนี้เกิดจากการกระตุ้นโดยใช้อาหารสัตว์น้ำและการเติมแป้งมันสำปะหลัง โดยละลายแป้งมันสำปะหลังกับน้ำเลี้ยงสัตว์น้ำภายในบ่อทดลอง ในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อสร้างตะกอนชีวภาพ (Hargreaves, 2006)

4.3.1 ผลของตะกอนชีวภาพและความหนาแน่นของสัตว์น้ำต่อคุณภาพน้ำ

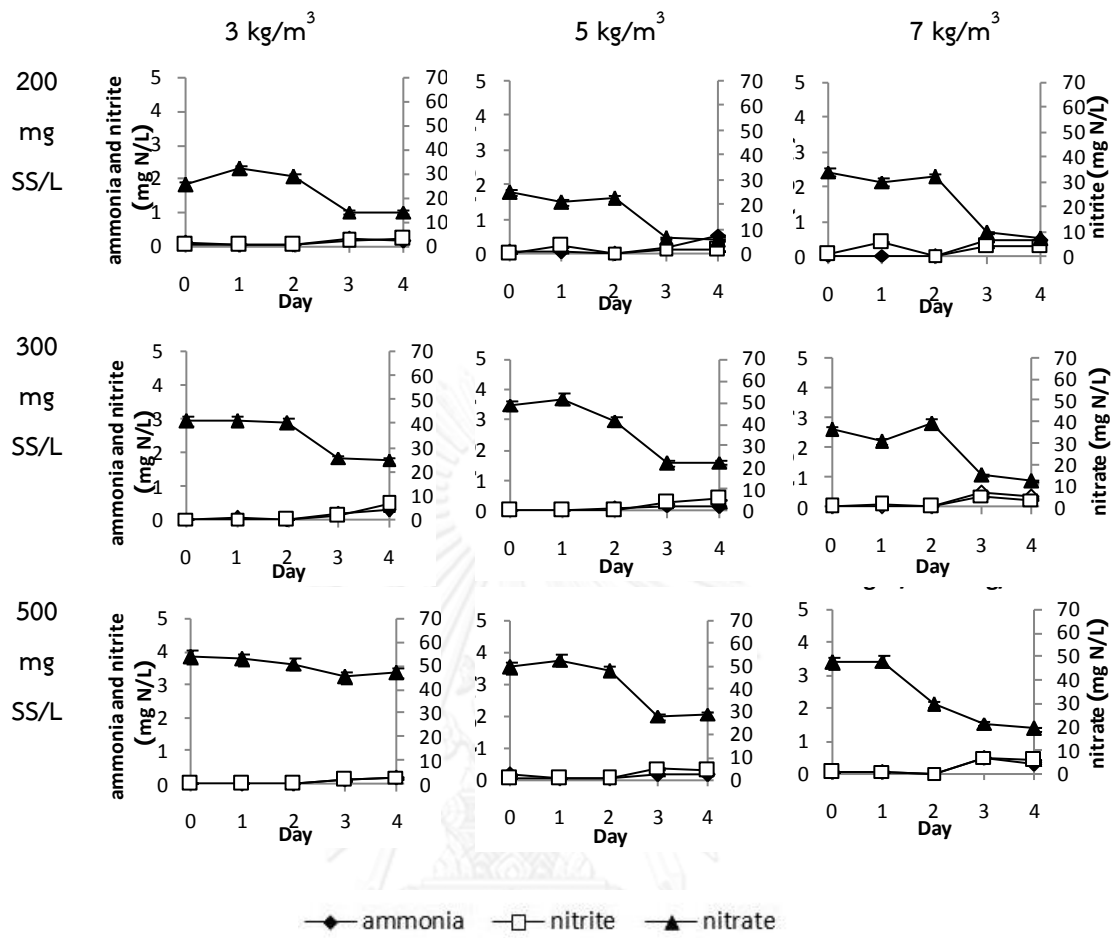
ผลการตรวจวัดตัวแปรทางกายภาพของน้ำในถังเลี้ยงปลาชนิด ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ และออกซิเจนละลายน้ำ แสดงในภาพที่ 4.9 พบว่าอยู่ในช่วงที่ปลาชนิดเจริญเติบโตได้ดี โดยค่าเฉลี่ยของพีเอชเท่ากับ 7.7 ± 0.2 อุณหภูมิเท่ากับ 29.2 ± 0.2 °ซ และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 6.8 ± 0.14 มก./ล. โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำในการทดลองส่วนที่ 3 ที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังต่ำกว่าในการทดลองส่วนที่ 2 ที่ใช้อาหารเลี้ยงปลาชนิดเพียงเดียว 7.2 ± 0.11 มก./ล. ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลจากการเติมแป้งมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มสารอินทรีย์ในระบบ ส่งผลให้จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนมากขึ้นในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น ในการทดลองส่วนที่ 3 นี้ได้เลือกระดับตะกอนชีวภาพในช่วง 200-500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. และควบคุมความหนาแน่นของปลาชนิดในช่วง 3-7 กก./ลบ.ม. เช่นเดียวกับการทดลองในส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนดังภาพที่ 4.10 พบว่าการควบคุมระดับตะกอนชีวภาพที่ประมาณ 200 300 และ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. สามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ดีในทุกความหนาแน่นของปลาชนิดที่ทำการทดลอง โดยความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนทั้งสองชนิดค่อนข้างคงที่ และอยู่ในระดับต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งถือว่าปลอดภัยสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ จะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้รับจากการทดลองส่วนที่ 3 ซึ่งมีการเติมแป้งมันสำปะหลังจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการควบคุมสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนดีขึ้น ทำให้ระบบสามารถควบคุม

แอมโมเนียและไนโตรสไดออกไซด์ได้น้อยกว่า 1 มก.ไนโตรเจน/ล. ในทุกความหนาแน่นของสัตว์น้ำ และทุกระดับของตะกอนชีวภาพที่ทำการทดลอง ผลการทดลองที่ได้รับนี้มีความแตกต่างจากผลการทดลองในส่วนที่ 2 ที่จะต้องควบคุมระดับตะกอนชีวภาพให้อยู่ในช่วง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. เพื่อให้สามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรสไดออกไซด์ได้ดี

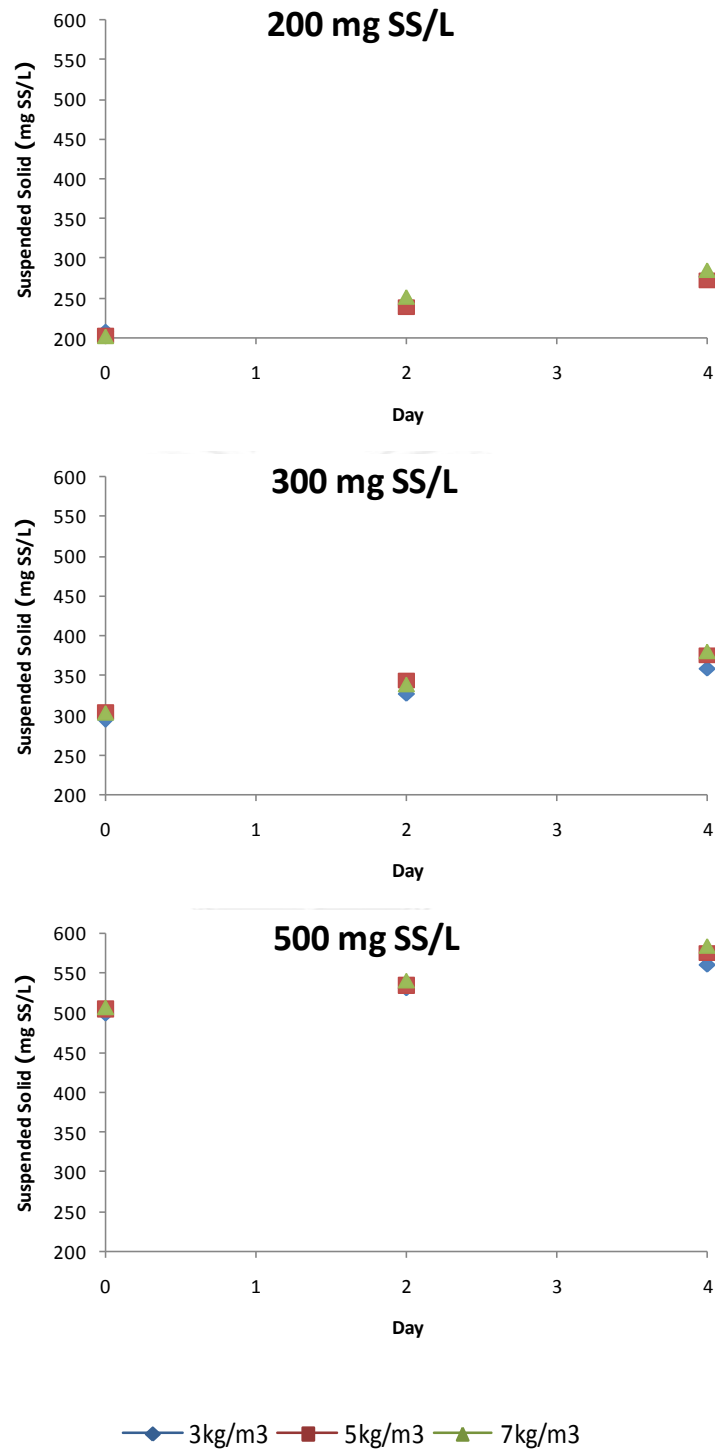
ในการทดลองส่วนที่ 3 นี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่านอกเหนือจากกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มีความสำคัญต่อการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเลี้ยงปลาแล้วกระบวนการดีไนตริฟิเคชันอาจมีส่วนช่วยบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนเช่นกัน ซึ่งยืนยันได้จากการลดลงของไนเตรตอย่างชัดเจนในทุกถังเลี้ยงปลา แม้มีการให้อาการอย่างต่อเนื่องในถังเลี้ยงปลาแต่กระบวนการดีไนตริฟิเคชันก็ยังเกิดขึ้นได้เนื่องจากการสะสมของตะกอนชีวภาพที่จมตัวลงสู่ก้นถังในปริมาณมากจนทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจน ผสมกับการเติมแอมโมเนียซึ่งแบคทีเรียดีไนตริฟายอิงสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้สำหรับกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์นั้นคาดว่ามีความสำคัญมากขึ้นในการทดลองส่วนที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ผ่านมา เพราะการเติมแหล่งคาร์บอนจะกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของตะกอนชีวภาพอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามตะกอนส่วนที่เพิ่มขึ้นจะถูกแยกออกไปจากถังเลี้ยงเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพในถังให้อยู่ในระดับที่คงที่ จึงไม่พบการเพิ่มขึ้นของตะกอนในถังเลี้ยงอย่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในการทดลองส่วนที่ 3



ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในถังเลี้ยงปลานิลของการทดลองส่วนที่ 3



ภาพที่ 4.11 ปริมาณของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลานิลของการทดลองส่วนที่ 3

4.3.2 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ

ทำการศึกษ้อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจากถังเลี้ยงมาในปริมาตร 1.0 ลิ. และปรับความเข้มข้นของแอมโมเนีย ให้เป็น 2 มก.ไนโตรเจน/ลิ. โดยเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ควบคุมออกซิเจนละลายน้ำให้มากกว่า 4 มก./ลิ. ผลการทดลองซึ่งแสดงตารางที่ 4.6 พบว่าแนวโน้มของอัตราการบำบัดแอมโมเนียคล้ายคลึงกับการทดลองส่วนที่ 2 กล่าวคืออัตราการบำบัดแอมโมเนียลดลงเมื่อความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพ เพิ่มขึ้น โดยอัตราการบำบัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 15.20 ± 20.15 มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอย/วันที่ระดับตะกอนชีวภาพ 300 มก. ตะกอนแขวนลอย/ลิ. นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนีย ในการทดลองส่วนที่ 3 ที่ตะกอนชีวภาพ 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ลิ. มีค่ามากกว่าการทดลองส่วนที่ 2 ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าในน้ำจากถังเลี้ยงสัตว์น้ำที่นำมาทดลองมีคาร์บอนจากแป้งมันเหลืออยู่ซึ่ง แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตส่งผลให้เกิดกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ จึงทำ ให้อัตราการบำบัดแอมโมเนียที่วัดได้มีค่าสูงมากขึ้น ทั้งนี้เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ การวิเคราะห์ทางสถิติแบบตัวแปรเดียว (Anova: single-Factor) พบว่าข้อมูลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.6 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนที่ 3

ของแข็งแขวนลอย (มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)	อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/ก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)
200	12.25±8.91
300	15.20±20.15
500	12.18±4.96

4.4 การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อกเป็นระยะเวลา 60 วัน

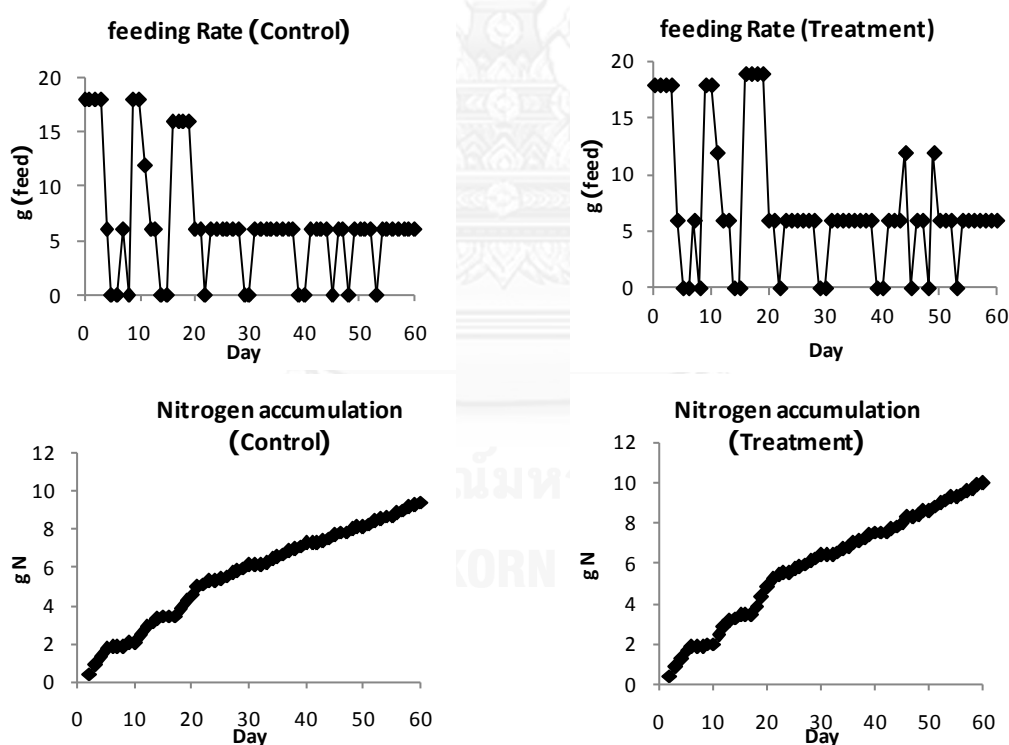
จากการทดลองในส่วนที่ 2 และ 3 สามารถสรุปได้ว่าระดับของตะกอนชีวภาพที่ควรคงไว้ในถังเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ประมาณ 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. และความหนาแน่นของสัตว์น้ำควรอยู่ระหว่าง 3-6 กก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นสุดท้ายของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบทั่วไป (Inland Aquaculture) ของเกษตรกรในประเทศไทยประมาณ 3-5 เท่า (วรรัตน์ วัฒนชานัย, 2552) โดยการคงระดับของตะกอนชีวภาพที่น้อยเกินไป (<200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.) อาจมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียไม่เพียงพอต่อการบำบัดของเสีย อย่างไรก็ตามในทางตรงกันข้ามปริมาณตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงที่สูงเกินไปจะนำไปสู่การสลายตัวของชีวมวลของแบคทีเรียกลายเป็นแอมโมเนียอีกครั้ง นอกจากนี้ยังทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการให้ออกซิเจนเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำและจุลินทรีย์ตลอดจนเพื่อป้องกันน้ำในถังเลี้ยงเน่าเสียจากการเติมแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Azim และ Little (2008) ซึ่งแนะนำให้คงระดับตะกอนชีวภาพในระบบไบโอฟล็อกไม่เกิน 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวไม่ประสบผลสำเร็จในการควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

ดังนั้นในการทดลองส่วนที่ 4 จะเป็นการนำผลสรุปของการทดลองส่วนที่ 2 และ 3 มาใช้ประกอบการเลี้ยงปลาในในระบบไบโอฟล็อกในระยะเวลา 60 วัน โดยในชุดควบคุมมีการเติมแป้งมันสำปะหลังร่วมกับการให้อาหารปลาในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 ขณะที่ชุดทดลองมีการเติมอาหารปลาเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ได้นำหน่วยแยกตะกอนซึ่งดัดแปลงจากงานวิจัยของศิวฤกษ์ หนูฤทธิ์ (2554) มาใช้โดยอาศัยหลักการของการตกตะกอนในคอลัมน์

4.4.1 ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ

ของเสียที่เข้าสู่ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกในการทดลองส่วนที่ 4 มาจากอาหารที่ให้แก่ปลา ซึ่งมีการโปรตีนร้อยละ 15 โดยให้อาหารวันละ 3 ครั้ง ในอัตราร้อยละ 1-3 ของน้ำหนักปลาในถังเลี้ยง ภาพที่ 4.12 แสดงปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลาต่อวันและปริมาณอาหารสะสมตลอดการทดลอง จะเห็นว่าอัตราการให้อาหารต่อวันและปริมาณไนโตรเจนสะสมที่เข้าสู่ระบบ

มีค่าใกล้เคียงกันทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง โดยในช่วงระหว่างวันที่ 1-18 พบว่าอัตราการให้อาหารต่อวันมีค่าประมาณ 6-18 ก./วัน ซึ่งเทียบเท่ากับอัตราภาระไนโตรเจน 0.72-2.16 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน หลังจากนั้นพบว่าปลานิลกินอาหารไม่หมดซึ่งสังเกตได้จากเศษอาหารที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ดังนั้นจึงทำการลดปริมาณอาหารเหลือเพียง 6 ก./วัน (0.72 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน) จนสิ้นสุดการทดลองการไม่กินอาหารของปลานิลคาดว่าเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมภายนอกซึ่งในระหว่างการทดลองมีฝนตกบ่อยครั้ง นอกจากนี้ยังได้งดอาหารปลานิลหลังจากวันที่สังเกตเห็นปลานิลไม่กินอาหาร ทำให้อัตราการให้อาหารในบางวันมีค่าเป็นศูนย์ โดยในการทดลองนี้ปริมาณอาหาร (ไนโตรเจน) สะสมในวันสุดท้ายของการทดลองมีค่าเท่ากับ 406 ก. (9.7 ก.ไนโตรเจน) และ 430 ก. (10.2 ก.ไนโตรเจน) ตามลำดับในชุดควบคุมและชุดทดลอง



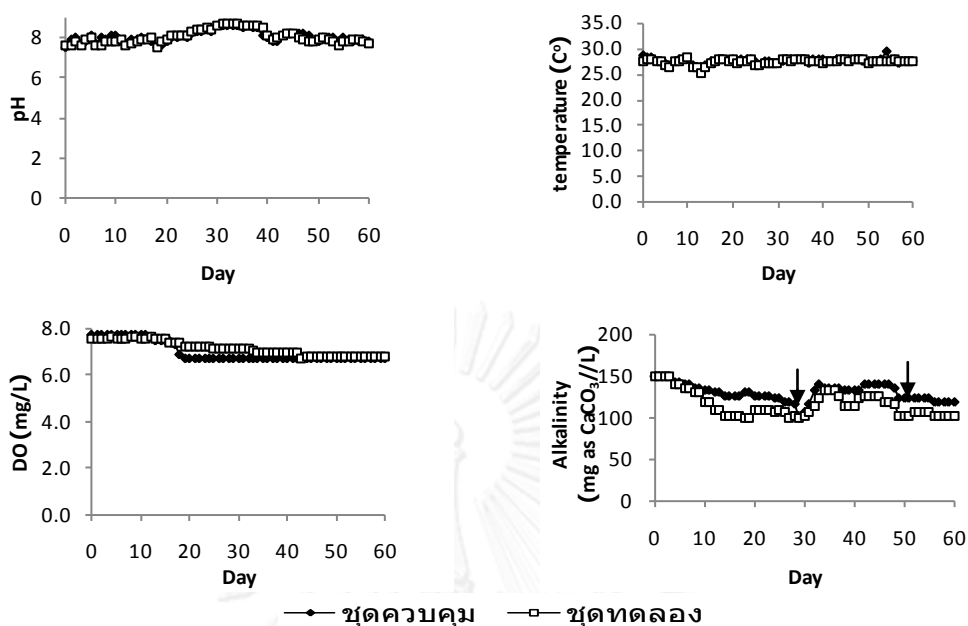
ภาพที่ 4.12 ปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลานิลต่อวันและปริมาณไนโตรเจนสะสมตลอดการทดลอง

4.4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำในถังเลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของน้ำภายในถังเลี้ยง เมื่อทำการเก็บข้อมูลแบบสุ่มตรวจในช่วงเช้าเวลา 9.00-10.00 ของทุกวัน แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าค่าพีเอช อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง ในขณะที่ค่าความเป็นต่างในชุดควบคุมมีค่ามากกว่าชุดทดลองเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำภายในถังเลี้ยงของชุดควบคุมและชุดทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงปลาชนิดและกระบวนการไนทริฟิเคชัน (Timmons และคณะ, 2002)

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของลักษณะทางกายภาพของน้ำในถังเลี้ยงปลาชนิดในการทดลองส่วนที่ 4

	ชุดควบคุม (แป้งมันสำปะหลัง + อาหารปลาชนิด)		ชุดทดลอง (อาหารปลาชนิด)	
	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด
ค่าพีเอช	8.1±0.28	8-9	8.1±0.34	8-9
อุณหภูมิ(°C)	27.6 ±0.51	26-29	27.5±0.51	25-28
ปริมาณออกซิเจน ละลายน้ำ (มก./ล.)	7.0 ±0.44	7-8	7.2±0.32	7-8
สภาพความเป็นต่าง (มก.หินปูน/ล.)	130±10	100-150	117±15	100-150



ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของน้ำในถังเลี้ยงปลาในการทดลองส่วนที่ 4 ได้แก่ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และสภาพความเป็นต่าง ↓ แสดงการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต)

4.4.3 ตะกอนชีวภาพและปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน

ตะกอนชีวภาพภายในชุดควบคุมเกิดจากการกระตุ้นโดยการเติมอาหารเลี้ยงปลาและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 ขณะที่ตะกอนชีวภาพในชุดทดลองเกิดจากการกระตุ้นด้วยอาหารเลี้ยงปลาซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 15 เพียงอย่างเดียว โดยในการทดลองได้กำหนดระดับของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงระหว่าง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 2 และ 3 ส่วนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในถังเลี้ยงปลาเกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีของตะกอนชีวภาพในน้ำ เช่น แอมโมเนียฟิเคชัน ไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน เป็นต้น

ภาพที่ 4.14 แสดงระดับของตะกอนชีวภาพและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในระหว่างการทดลอง ในช่วงเริ่มต้นการทดลองตั้งแต่วันที่ 1-3 ซึ่งไม่มีการใช้งานหน่วยแยกตะกอน พบว่าตะกอนชีวภาพเพิ่มขึ้นทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง โดยในวันที่ 3 มีค่าเท่ากับ 230

และ 170 มก.ตะกอนของแข็งแขวนลอย/ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าระดับตะกอนชีวภาพในชุดควบคุมมีค่ามากกว่าชุดทดลอง ซึ่งเป็นผลจากการเติมแป้งมันสำปะหลังลงไปในชุดควบคุมเพื่อกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟ ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในช่วงเริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 1-3) พบว่าความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.23 และ 0.45 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดทดลอง ที่มีค่าเพียง 0.05 มก.ไนโตรเจน/ล. การสะสมของแอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดควบคุมในช่วงเริ่มการทดลองคาดว่าเป็นผลสืบเนื่องจากการเติมแป้งมันสำปะหลังที่อาจนำไปสู่การเร่งของกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันในระบบ

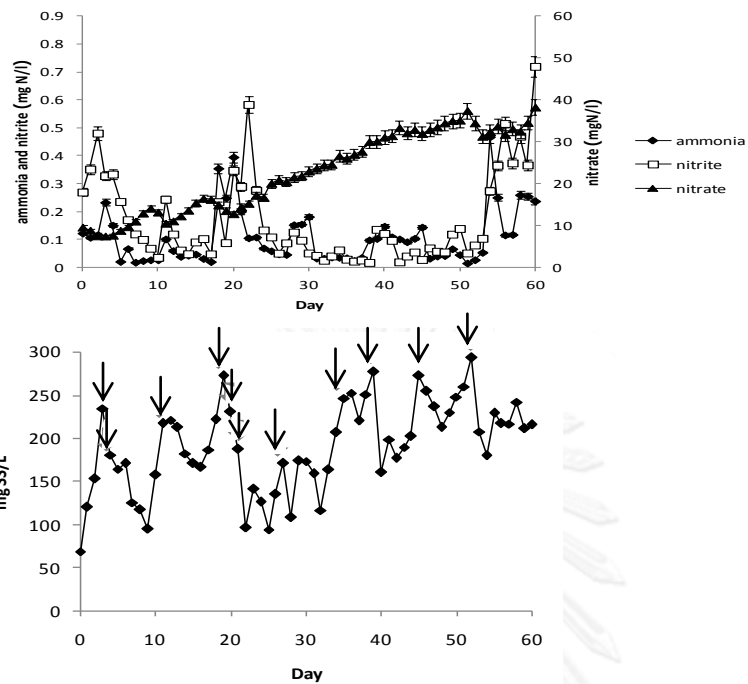
หลังจากมีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองในวันที่ 4 เป็นเวลา 5 ชม. ทำให้ระดับตะกอนชีวภาพเริ่มลดลง หลังจากปิดหน่วยแยกตะกอนพบว่าตะกอนชีวภาพทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 10 ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่ตกตะกอนลงสู่พื้นถัง ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงแบบการจัดการโดยเพิ่มความถี่ในการกวนน้ำในถัง และทำการปรับปรุงระบบเลี้ยงโดยเพิ่มหัวจ่ายอากาศลงไป ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนพบว่ามี การลดลงของแอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดควบคุมจนอยู่ที่ระดับต่ำกว่า 0.05 มก.ไนโตรเจน/ล. ขณะที่แอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.05 มก.ไนโตรเจน/ล. ในช่วงตั้งแต่วันที่ 10-12 ซึ่งไม่มีการใช้งานหน่วยแยกตะกอนพบว่าระดับตะกอนชีวภาพทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตราใกล้เคียงกันคือ จาก 100-220 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. และยังพบแอมโมเนียและไนไตรต์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังนั้นในวันที่ 13 จึงทำการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนเป็นเวลา 5 ชม. อีกครั้ง ซึ่งพบว่าตะกอนชีวภาพลดลงเล็กน้อยเหลือ 200 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในชุดควบคุม และ 190 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในชุดทดลอง อย่างไรก็ตามหลังจากหยุดใช้งานหน่วยแยกตะกอนยังคงสังเกตเห็นการลดลงอย่างต่อเนื่องของตะกอนชีวภาพจนถึงระดับประมาณ 120-150 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. หลังจากวันที่ 17 พบว่าระดับตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในวันที่ 20 มีค่าเท่ากับ 260 และ 240 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในชุดทดลองและชุดควบคุมตามลำดับ ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในช่วงดังกล่าว (วันที่ 17-20) พบการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ทั้ง

ในชุดควบคุมและชุดทดลองอย่างชัดเจนถึงระดับประมาณ 0.3-0.4 มก.ไนโตรเจน/ล. จากนั้นได้มีการเปิดใช้งานหน่วยแยกตะกอนอีกครั้งในวันที่ 21 และพบว่าระดับตะกอนชีวภาพมีปริมาณลดลงเหลือประมาณ 90-120 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในชุดควบคุม และเหลือประมาณ 80-120 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในชุดทดลอง การลดลงอย่างรวดเร็วของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงอาจส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มไนโทรฟายอิงที่มีอัตราการเจริญค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเฮเทอโรโทรฟมีจำนวนเหลืออยู่ในระบบเลี้ยงไม่เพียงพอ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไตรต์อย่างชัดเจน โดยมีความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดควบคุมเท่ากับ 0.4 และ 0.6 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ และในชุดทดลองมีความเข้มข้นสูงสุดของแอมโมเนียและไนไตรต์เท่ากับ 0.3 และ 0.75 มก.ไนโตรเจน/ล. ในช่วงตั้งแต่วันที่ 30-45 พบว่าปริมาณตะกอนชีวภาพในระบบมีค่ามากขึ้นและมีการใช้งานหน่วยแยกตะกอนเป็นระยะครั้งละประมาณ 5 ชม. โดยระดับตะกอนชีวภาพในช่วงดังกล่าว (วันที่ 30-45) มีค่าระหว่าง 150-260 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ในชุดควบคุม และระหว่าง 120-230 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.ในชุดทดลอง และผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดควบคุมมีค่าน้อยมาก และแกว่งอยู่ในช่วง 0-0.2 มก.ไนโตรเจน/ล. ในขณะที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ในชุดทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.2 มก.ไนโตรเจน/ล. เช่นกัน

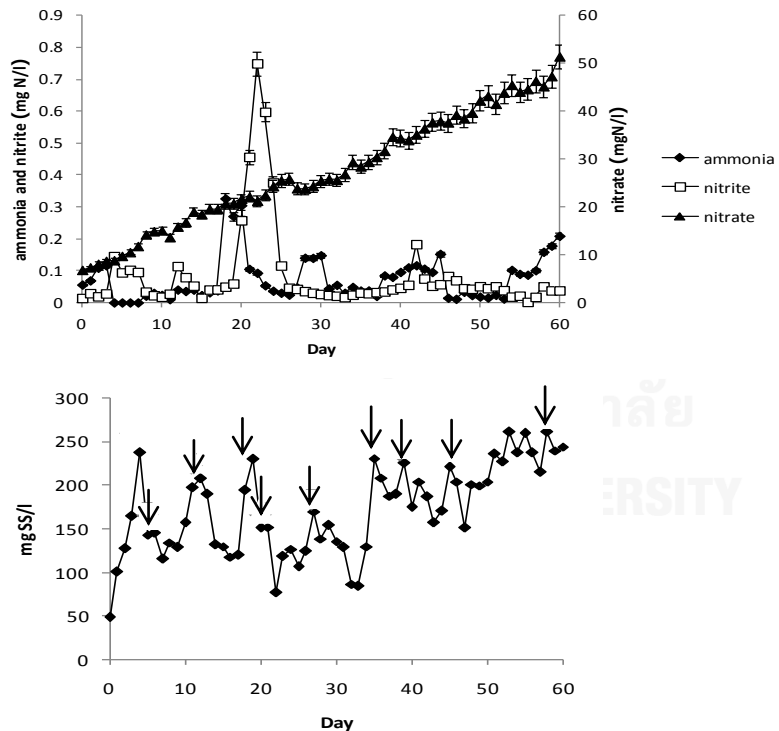
จากผลการทดลองในช่วงวันที่ 1-45 จะเห็นว่าการใช้งานหน่วยแยกตะกอนสามารถควบคุมระดับของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ แต่จากภาพที่ 4.14 ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพในช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ระหว่าง 76-277 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ซึ่งไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ระหว่าง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ผลการทดลองที่ได้รับทำให้สรุปได้ว่าหน่วยแยกตะกอนที่ดัดแปลงจากงานวิจัยของ ศิวฤกษ์ หนูฤทธิ (2554) อาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอสำหรับใช้งานภายใต้สภาวะของการทดลองในครั้งนี้ นอกจากนี้ระหว่างการทดลองยังสังเกตเห็นตะกอนขนาดเล็กจากถังเลี้ยงปลานิลเกิดการฟุ้งกระจายเมื่อที่เข้าสู่หน่วยแยกตะกอนและปะปนออกไปกับน้ำที่บริเวณทางออกน้ำใส จากเหตุผลดังกล่าวจึงต้องทำการปรับปรุงหน่วยแยกตะกอนโดยเพิ่มบานพับที่ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมร่วมกับแผ่นพลาสติกลูกฟูกฟิวเจอร์บอร์ดวงกลมจำนวน 2 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 99 ซม. เพื่อป้องกันการฟุ้งตัวของตะกอนในหน่วยแยกตะกอน

ดังภาพที่ 4.15 หน่วยแยกตะกอนที่ปรับปรุงแล้วได้นำมาใช้งานตั้งแต่วันที่ 45 จนถึงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งพบว่าสามารถควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพให้อยู่ในช่วงที่กำหนดตั้งแต่ 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. โดยมีค่าเฉลี่ยตะกอนชีวภาพในชุดควบคุม และชุดทดลองเท่ากับ 232.99 ± 13.33 และ 225.28 ± 8.66 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แอมโมเนียและไนโตรตีในช่วงตั้งแต่วันที่ 45 จนถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรตีในชุดควบคุมมีความคล้ายคลึงกับความเข้มข้นในช่วงวันที่ 30-45 แต่จะพบการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของแอมโมเนียและไนโตรตีในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ตั้งแต่วันที่ 53-60 โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรตีในวันที่ 60 มีค่าเท่ากับ 0.25 และ 0.7 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ในส่วนของชุดทดลองพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรตีมีลักษณะคล้ายคลึงกับความเข้มข้นในช่วงก่อนหน้านั้นเช่นกัน แต่เริ่มมีการสะสมของแอมโมเนียในช่วงท้ายของการทดลองเช่นเดียวกับชุดควบคุม โดยมีความเข้มข้นของแอมโมเนียในวันที่ 60 มีค่าเท่ากับ 0.23 มก.ไนโตรเจน/ล. การสะสมของแอมโมเนียและไนโตรตีในช่วงท้ายของการเลี้ยงปลาอาจเกิดจากการสลายตัวของโปรตีนในตะกอนชีวภาพที่จมตัวลงสู่ก้นถังเลี้ยงถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนีย

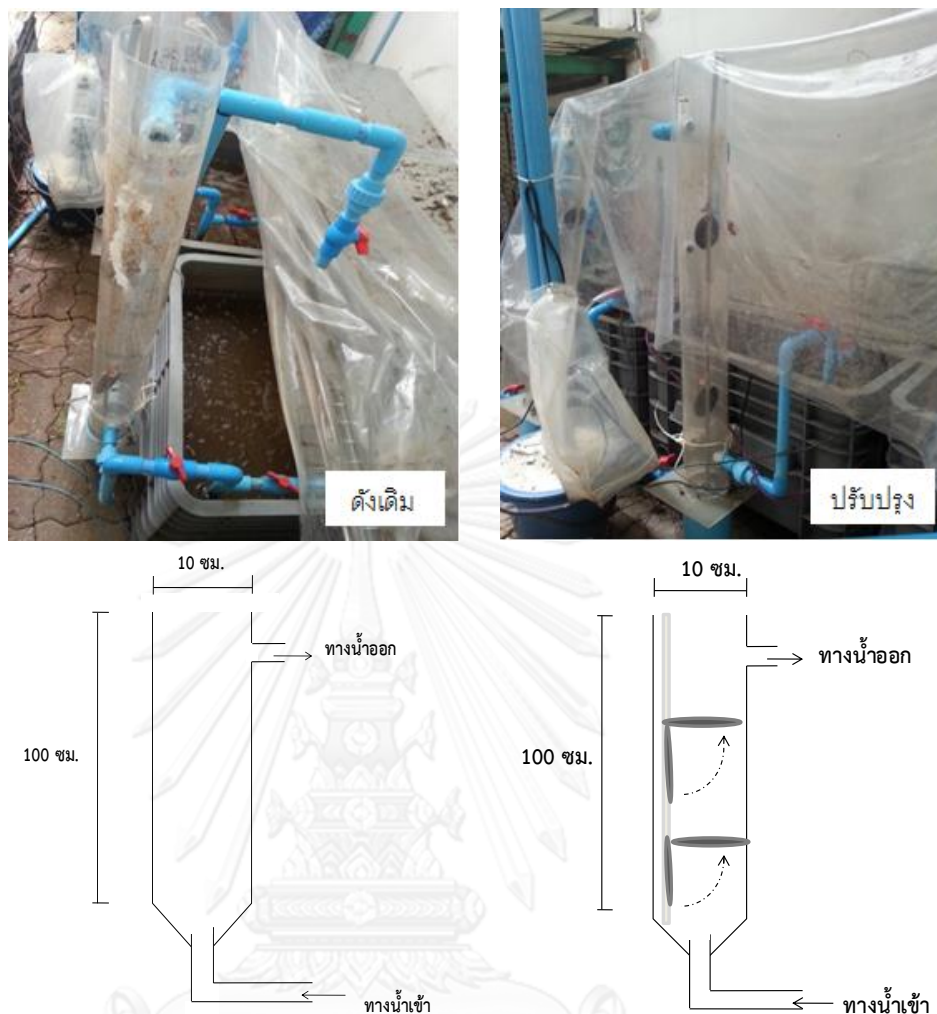
ก.) ชุดควบคุม



ข.) ชุดทดลอง



ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และตะกอนชีวภาพ
แขวนลอยในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำชุดควบคุม (ก) ชุดทดลอง (ข) (↓ แสดงการเปิดหน่วย
แยกตะกอนเป็นเวลา ครั้งละ 5 ชั่วโมง)



ภาพที่ 4.15 หน่วยแยกตะกอนที่ใช้ในการทดลองก่อนและหลังปรับปรุง

4.4.4 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางเคมีของตะกอนชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของตะกอนชีวภาพทั้งจากชุดควบคุมและชุดทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 จากตารางพบว่าปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในแต่ละช่วงเวลาของการทดลอง ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่าปริมาณร้อยละธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของตะกอนชีวภาพในวันที่ 15 ของการทดลองมีเพียงปริมาณธาตุคาร์บอนที่มีความแตกต่างทางนัยสถิติที่ 0.05 ระหว่างชุดควบคุม (ร้อยละ 39.5 ± 0.27) และชุดทดลอง (ร้อยละ 35.4 ± 0.316) โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นคาดว่าเกิดจากการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต

ให้แก่แบคทีเรียในน้ำ เพื่อนำคาร์บอนไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต ทั้งนี้พบว่าปริมาณธาตุไฮโดรเจนในชุดควบคุม (ร้อยละ 5.78 ± 0.351) ชุดทดลอง (ร้อยละ 5.83 ± 0.139) และปริมาณธาตุไนโตรเจนในชุดควบคุม (ร้อยละ 3.91 ± 0.031) และชุดทดลอง (ร้อยละ 3.93 ± 0.042) ไม่มีความแตกต่างทางนัยทางสถิติที่ 0.05 ในส่วนของไนโตรเจนนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสามารถอธิบายได้จากการบำบัดแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 60 วัน ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในตะกอนชีวภาพมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง โดยมีค่าดังนี้ ธาตุคาร์บอนในชุดควบคุม (ร้อยละ 33.18 ± 0.064) ชุดทดลอง (ร้อยละ 31.18 ± 0.105) ธาตุไฮโดรเจนในชุดควบคุม (ร้อยละ 5.35 ± 0.116) ชุดทดลอง (ร้อยละ 4.49 ± 0.180) และธาตุไนโตรเจนในชุดควบคุม (ร้อยละ 3.67 ± 0.010) ชุดทดลอง (ร้อยละ 3.5 ± 0.038) โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ Nootong และคณะ (2011) ซึ่งเติมแอมโมเนียสำหรับในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 16:1 โดยรายงานปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอนเท่ากับ 34.51 ± 0.93 ร้อยละของธาตุไฮโดรเจนเท่ากับ 4.69 ± 0.21 และร้อยละของธาตุไนโตรเจนเท่ากับ 4.24 ± 0.42 ของน้ำนักแห้งของตะกอน

ตารางที่ 4.8 ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในตะกอนชีวภาพระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟลอคเป็นเวลา 60 วัน

วัน	ธาตุคาร์บอน (ร้อยละของน้ำนักแห้ง)		ธาตุไฮโดรเจน (ร้อยละของน้ำนักแห้ง)		ธาตุไนโตรเจน (ร้อยละของน้ำนักแห้ง)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
15	39.5 ± 0.27^f	35.4 ± 0.316^e	5.78 ± 0.351^d	5.83 ± 0.139^d	3.91 ± 0.031^c	3.93 ± 0.042^c
30	33.46 ± 0.067^d	31.75 ± 0.307^c	$5.47 \pm 0.124^{c,d}$	4.86 ± 0.238^b	4.06 ± 0.006^d	$3.61 \pm 0.121^{a,b}$
45	30.65 ± 0.287^a	30.35 ± 0.367^a	$4.54 \pm 0.241^{a,b}$	4.36 ± 0.180^a	3.92 ± 0.035^c	$3.59 \pm 0.125^{a,b}$
60	33.18 ± 0.064^d	31.18 ± 0.105^b	5.35 ± 0.116^c	$4.49 \pm 0.180^{a,b}$	3.67 ± 0.010^b	3.5 ± 0.038^a

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างนัยสำคัญที่ 0.05

4.4.5 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิล

ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองพบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตตลอดการทดลองใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.18 ก./วัน และ 0.14 ก./วัน ตามลำดับซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้งานระบบไบโอฟล็อกซึ่งรายงานอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในช่วง 1.06 –1.59 ก./วัน (ทยากร สุวรรณรัตน์, 2552 ; วรรัตน์ วณิชชานัย, 2552) และยิ่งต่ำกว่าการเลี้ยงปลานิลในระบบไนทริฟิเคชันซึ่งรายงานการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.73 ก./วัน (ศิวฤกษ์ หนูฤทธิ์, 2554) ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลที่มีค่าต่ำในการทดลองนี้ คาดว่ามีสาเหตุมาจากสภาพอากาศในช่วงการทดลอง ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝนทำให้อุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้ปลานิลกินอาหารได้น้อยและมีโรคแทรกซ้อนตามมา นอกจากนี้อีกหนึ่งสาเหตุที่คาดว่ามีส่วนกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิลคือ ความเข้มข้นของไนเตรตที่อยู่ในระดับสูงในบ่อทดลอง ส่งผลให้ปลานิลเกิดโรคจุดขาว (ชนกันต์ จิตมนัส, 2556)

ตารางที่ 4.9 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลในชุดควบคุมและชุดทดลอง

วัน	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
	อัตราการเจริญเติบโต (ก./วัน)	อัตราการเจริญเติบโต (ก./วัน)
0-15	0.34	0.11
15-30	0.14	0.17
30-45	0.08	0.09
45-60	0.16	0.19
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.14

4.4.6 สมดุลมวลไนโตรเจน

สมดุลมวลไนโตรเจนในการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นการประเมินปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง เพื่อศึกษาปริมาณไนโตรเจนที่กระจายอยู่ในส่วนต่างๆ ในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยปริมาณไนโตรเจนจากส่วนต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

- ไนโตรเจนในเนื้อปลาสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักเปียกที่เกิดขึ้นของปลาชนิด ซึ่งจากงานวิจัยของ Abdel-Tewwab และคณะ (2010) ระบุว่าในน้ำหนักเปียก 100 กรัมของปลานิล มีโปรตีนในเนื้อปลานิลเท่ากับร้อยละ 15 แต่จากการทดลองครั้งนี้โปรตีนในปลานิลมีค่าเพียงร้อยละ 6.25 จากการสุ่มนำปลานิลทั้งตัวมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 °ซ และบดแห้งทั้งตัวก่อนนำส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNO/S Analyzer

- ไนโตรเจนในตะกอนชีวภาพสามารถคำนวณได้จากข้อมูลของการวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนที่ได้รายงานผลไปแล้วก่อนหน้านี้

- สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำสามารถคำนวณได้จากความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในถังเลี้ยงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ผลการทำสมดุลมวลไนโตรเจนพบว่า อาหารเลี้ยงปลานิลเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักที่เข้าสู่ระบบ โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNO/S Analyzer พบว่ามีไนโตรเจนอยู่ร้อยละ 2.71 ทั้งนี้ในชุดควบคุมที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังพบว่า ปริมาณไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนเตรต คิดเป็นร้อยละ 44.5 (7.7 ก.ไนโตรเจน) ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนในรูปของตะกอนชีวภาพมีจำนวนน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญโดยมีสัดส่วนร้อยละ 18.54 (3.2 ก.ไนโตรเจน) ซึ่งข้อมูลในชุดควบคุมสามารถอธิบายผลได้ว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์มีส่วนร่วมในกระบวนการบำบัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนทริฟิเคชันมีบทบาทมากกว่า ในส่วนของชุดทดลองที่ไม่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไนเตรตคิดเป็นร้อยละ 52 (10.3 ก.ไนโตรเจน) ขณะที่สัดส่วนของไนโตรเจนในรูปตะกอนชีวภาพลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 17.16 (3.4 ก.ไนโตรเจน) ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จึงสรุปผลได้ในทิศทางเดียวกับชุดควบคุม กล่าวคือกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์มีส่วนในการบำบัดไนโตรเจนในถังเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลการทำสมดุล

มวลไนโตรเจนในการทดลองนี้มีความแตกต่างจากรายงานของ Nootong และคณะ (2011) ซึ่งสรุปว่าไนโตรฟิกเคชันเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ในระบบไบโอฟล็อกที่มีการเติมอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีโปรตีนสูง (โปรตีนร้อยละ 33) ดังนั้นในกรณีของชุดทดลองที่มีการให้อาหารโปรตีนต่ำ (โปรตีนร้อยละ 15) เพียงอย่างเดียว อาจทำให้อธิบายได้ว่าสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบอื่นๆ ของอาหารจะไปกระตุ้นการเพิ่มปริมาณตะกอนชีวภาพ และทำให้กระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์มีส่วนในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในถังเลี้ยงมากขึ้น นอกจากนี้ข้อสังเกตอีกประการที่ได้จากผลการศึกษาสมดุลมวลไนโตรเจนคือ สัดส่วนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของปลาชนิดนี้มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่นๆ ที่อยู่ในช่วงร้อยละ 20-45 (วรรัตน์ วณิชชานัย, 2552)

ตารางที่ 4.10 สมดุลมวลไนโตรเจนในชุดควบคุมที่มีการเติมแป้งมันสำล้งและอาหารปลานิล

ในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1

ขาเข้า	กรัม	ร้อยละ	ขาออก	กรัม	ร้อยละ
	ไนโตรเจน	ไนโตรเจน		ไนโตรเจน	ไนโตรเจน
ปลานิล	5.8	35.9	ปลานิล	6.2	35.8
อาหารปลานิล	9.7	60.4	แอมโมเนีย	0.1	0.58
แอมโมเนีย	0.0	0.1	ไนไตรต์	0.1	0.58
ไนไตรต์	0.1	0.3	ไนเตรต	7.7	44.5
ไนเตรต	0.1	0.7	ตะกอนชีวภาพ	1.3	7.51
ตะกอนชีวภาพ	0.4	2.6	ตะกอนชีวภาพในหน่วย แยกตะกอน	1.9	11.03
ผลรวม	16.1	100	ผลรวม	17.3	100

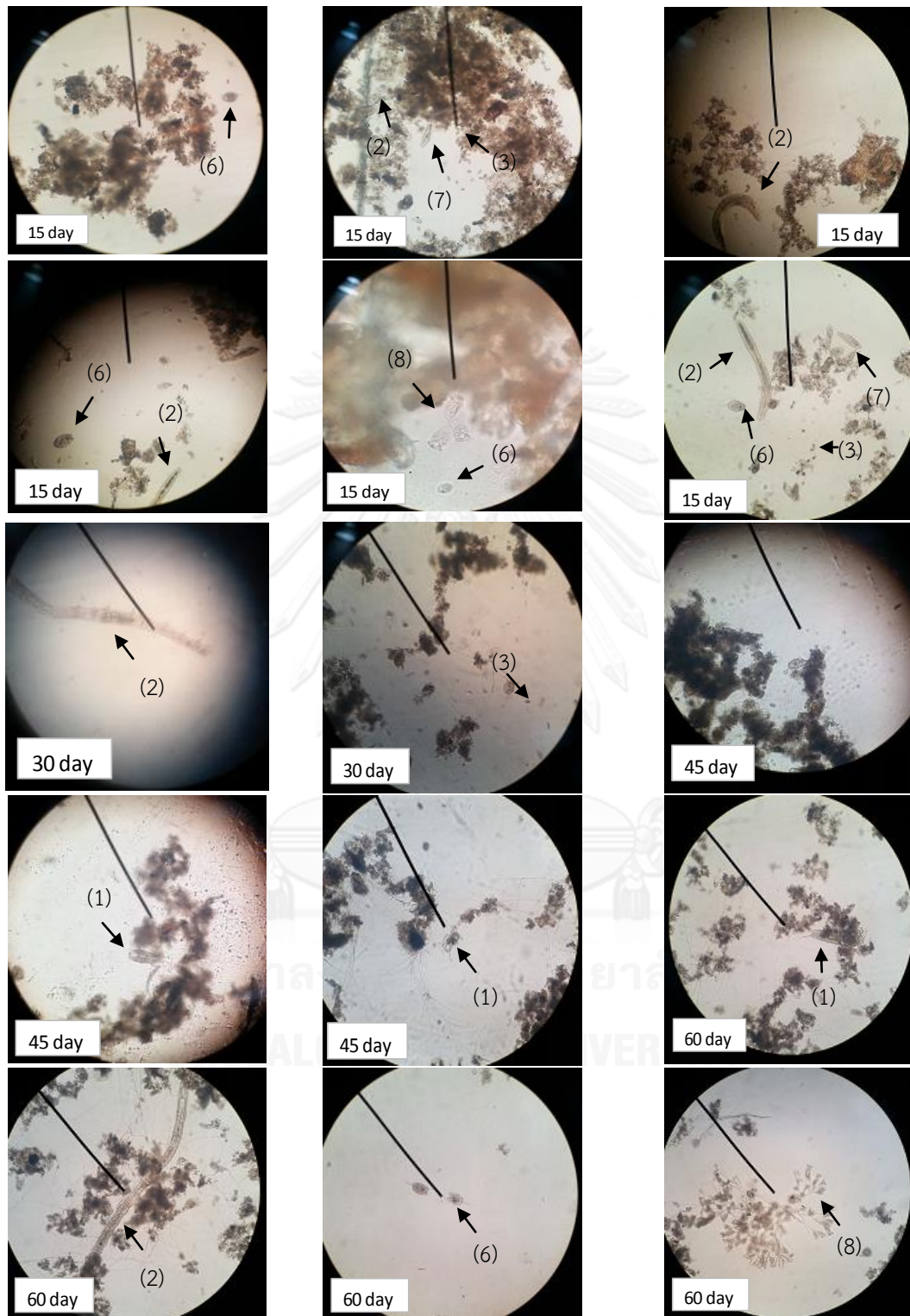
ตารางที่ 4.11 สมดุลมวลไนโตรเจนในชุดทดลองที่มีการให้อาหารปลานิลเพียงอย่างเดียว

ขาออก	กรัม	ร้อยละ	ขาออก	กรัม	ร้อยละ
	ไนโตรเจน	ไนโตรเจน		ไนโตรเจน	ไนโตรเจน
ปลานิล	5.8	32.7	ปลานิล	6.1	30.8
อาหารปลานิล	10.2	57.6	แอมโมเนีย	0.0	0.02
แอมโมเนีย	0.0	0.1	ไนไตรต์	0.0	0.02
ไนไตรต์	0.0	0.0	ไนเตรต	10.3	52.0
ไนเตรต	1.4	7.7	ตะกอนชีวภาพ	1.5	7.57
ตะกอนชีวภาพ	0.3	1.9	ตะกอนชีวภาพในหน่วย		
			แยกตะกอน	1.9	9.59
ผลรวม	17.7	100	ผลรวม	19.8	100

4.4.7 การเปลี่ยนแปลงกลุ่มสิ่งมีชีวิตในถังเลี้ยงสัตว์น้ำ

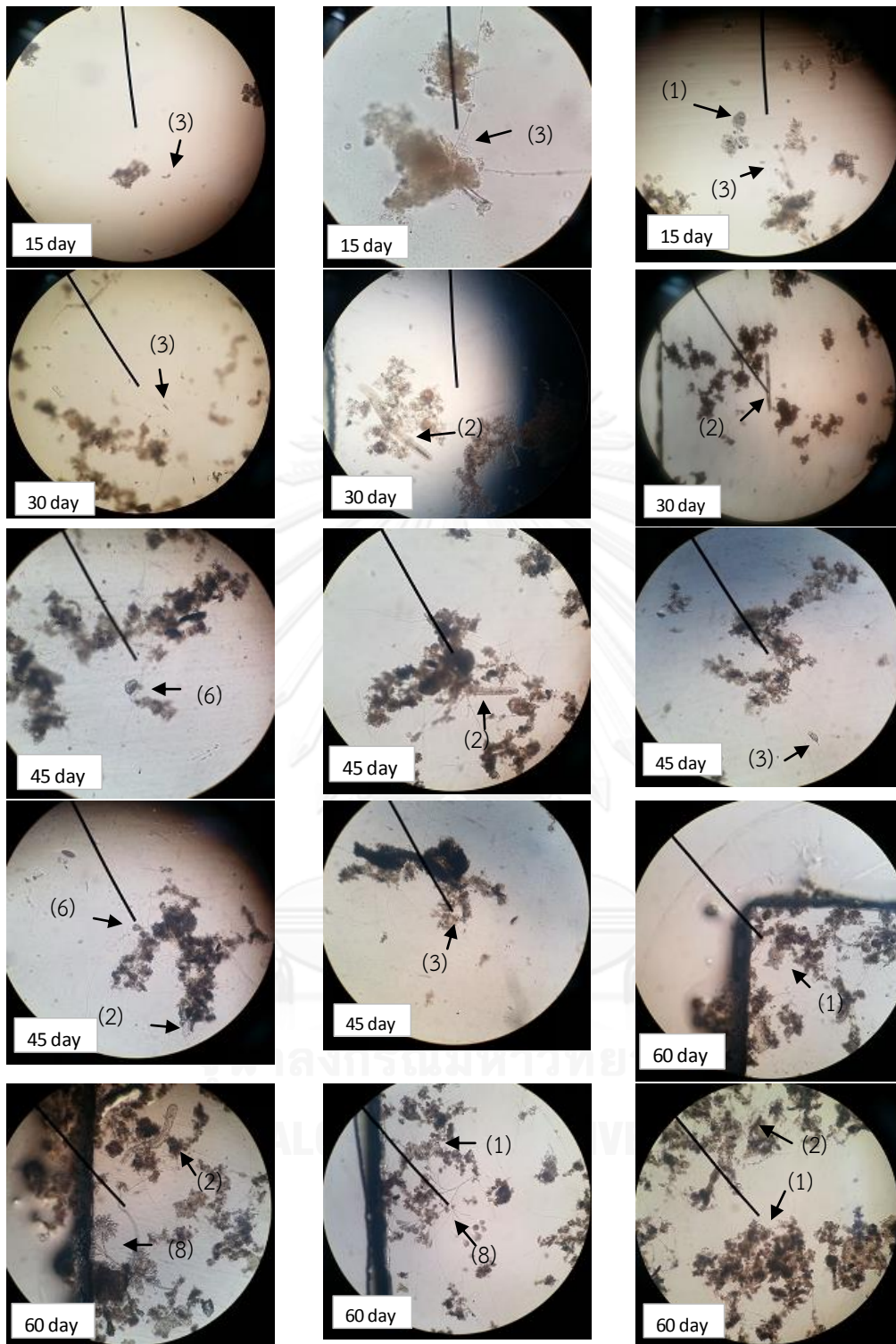
การติดตามการเปลี่ยนแปลงกลุ่มสิ่งมีชีวิตในตะกอนชีวภาพแขวนลอยจากชุดควบคุมและชุดทดลองแสดงดังภาพที่ 4.16 และ 4.17 ตะกอนชีวภาพในวันที่ 15 และ 30 จากชุดการทดลองที่มีการเติมแอมโมเนียหลังเป็นแหล่งคาร์บอนตรวจพบโปรโตซัวจำพวกซิลิเอต และสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายหนอนกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งชี้ให้เห็นได้ชัดว่าตะกอนในบริเวณบางส่วนในชุดการทดลองอยู่ในสภาวะขาดอากาศ โดยสิ่งมีชีวิตในกลุ่มลักษณะคล้ายหนอนถูกใช้เป็นตัวชี้วัดสภาวะขาดแคลนออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ซึ่งหากปริมาณออกซิเจนอยู่ในระดับต่ำจะพบสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้จำนวนมาก (Schweitzer และคณะ, 2013) จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าตะกอนชีวภาพในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับตะกอนสลัดจ์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร่ง เนื่องจากมีอนุภาคแขวนลอยจำนวนมากที่มีลักษณะเป็นฟล็อกอยู่ในระบบ และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 45 และ 60 วัน พบว่ากลุ่มสิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มจำนวนมากขึ้นโดยกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบมากจะเป็นโปรโตซัวจำพวกโรติเฟอร์ สัตว์ซิลิเอต และนีมาโทด ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวอาจทำให้คาดคะเนได้ว่าน้ำในถังเลี้ยงปลานิลมีคุณภาพดีเพียงพอต่อการอาศัยของสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตบางชนิด เนื่องจากโรติเฟอร์และสัตว์ซิลิเอตที่พบเป็นตัวชี้วัด

ความสะอาดในแหล่งน้ำ (Schweitzer และคณะ, 2013) ในการเก็บตัวอย่างนั้นจะทำการกวนน้ำภายในบ่อและสูบน้ำที่มีตะกอนรวมอยู่ด้วยมาทำการศึกษาสสิ่งมีชีวิตภายในถังเลี้ยง ทั้งนี้การพบสิ่งมีชีวิตดังกล่าวอายุตะกอนอาจมีส่วนสำคัญ และในขณะเดียวกันเมื่อทำการตรวจสอบกลุ่มสิ่งมีชีวิตในตะกอนชีวภาพจากถังเลี้ยงที่มีเพียงการให้อาหารปลา พบว่ามีปริมาณและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในระบบจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบไบโอฟลอคที่มีการใช้ตะกอนชีวภาพอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 โดยในวันที่ 15 และ 30 ของการทดลองพบเพียงกลุ่มซิติเอตที่มีการว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการทดลองผ่านไปในวันที่ 45 และ 60 ทำการตรวจสอบอีกครั้งพบว่าสิ่งมีชีวิตกลุ่มหลักที่พบยังคงเป็นกลุ่มซิติเอต รองลงมาเป็นกลุ่มของโรติเฟอร์และนีมาโทด ตามลำดับ ทั้งนี้จากผลการตรวจสอบดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับระบบไบโอฟลอค (Hargreaves, 2006; Avnimelech, 2009)



ภาพที่ 4.16 กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบในตะกอนชีวภาพจากชุดควบคุม

ได้แก่ Rotifers (1) Nematodes (2) Free Swimming Ciliates (3) Stalked Ciliates (4) Sarcodina (5) Ciliates (6) Paramecium (7) Stalked Ciliates (8)



ภาพที่ 4.17 กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบในตะกอนชีวภาพจากชุดทดลอง

ได้แก่ Rotifers (1) Nematodes (2) Free Swimming Ciliates (3) Stalked Ciliates (4) Sarcodina (5) Ciliates (6) Paramecium (7) Stalked Ciliates (8)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอค โดยเน้นไปที่ระดับตะกอนชีวภาพที่ควรคงไว้ในระบบ ในระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ ความสามารถในการควบคุมแอมโมเนียและไนไตรต์ และการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอน รวมถึงบทบาทของกระบวนการชีวภาพในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบไบโอฟลอค ผลการทดลองที่ได้รับสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาจากการทดลองส่วนที่ 1 ซึ่งทำการเลี้ยงปลาชนิดที่ความหนาแน่น 3 กก./ลบ.ม. ในระบบไบโอฟลอคโดยไม่มีการควบคุมระดับตะกอน พบว่าตะกอนชีวภาพได้เพิ่มปริมาณมากขึ้นตามเวลา โดยความเข้มข้นในวันที่ 60 มีค่าสูงถึง $1,487 \pm 42$ มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ระบบไบโอฟลอคสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. เมื่อระดับของตะกอนชีวภาพอยู่ในช่วง 200-500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.และภาวะไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.3-2.68 มก.ไนโตรเจน/ล. นอกจากนี้อัตราการบำบัดแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 13.78 ± 5.81 มก.ไนโตรเจน/ก.ตะกอนแขวนลอย/วัน

2. ผลการศึกษาจากการทดลองส่วนที่ 2 ซึ่งทำการทดลองเพื่อหาระดับของตะกอนชีวภาพที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ระดับความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยที่มาของตะกอนชีวภาพในการทดลองส่วนนี้เกิดจากการกระตุ้นโดยใช้อาหารเลี้ยงสัตว์น้ำเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองพบว่าเมื่อคงระดับของตะกอนชีวภาพอยู่ในช่วง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. จะทำให้ระบบไบโอฟลอคสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. เมื่อความหนาแน่นของสัตว์น้ำน้อยกว่า 7 กก./ลบ.ม.

3. ข้อสรุปจากการทดลองส่วนที่ 3 ซึ่งที่มาของตะกอนเกิดจากการกระตุ้นด้วยอาหารเลี้ยงสัตว์ น้ำและแป้งมันสำปะหลังโดยควบคุมปริมาณการเติมที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1 มีความคล้ายคลึงกับการทดลองส่วนที่ 2 กล่าวคือ เมื่อคงระดับของตะกอนชีวภาพอยู่ในช่วง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. จะทำให้ระบบไบโอฟล็อกสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. เมื่อความหนาแน่นของสัตว์น้ำน้อยกว่า 7 กก./ลบ.ม.

4. ผลการศึกษาการทดลองส่วนที่ 4 ซึ่งทำการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟล็อกเป็นเวลา 60 วัน พบว่าเมื่อควบคุมระดับตะกอนชีวภาพในช่วง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. จะสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. ทั้งในชุดควบคุมที่มีการเติมอาหารเลี้ยงปลานิลและแป้งมันสำปะหลังและในชุดทดลองที่มีการเติมอาหารปลานิลเพียงอย่างเดียว ผลการวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนชีวภาพพบว่าสัดส่วนของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในตะกอนชีวภาพ ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณธาตุในวันที่ 15 ระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง พบว่ามีเพียงปริมาณธาตุคาร์บอนที่มีความแตกต่างทางนัยสถิติที่ 0.05 โดยในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 39.5 ± 0.27 และในชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 35.4 ± 0.316 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นคาดว่าเกิดจากการเติมแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้แก่แบคทีเรียในน้ำ เพื่อนำคาร์บอนไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในตะกอนชีวภาพมีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลองโดยมีค่าดังนี้ ธาตุคาร์บอนในชุดควบคุม (33.18 ± 0.064) ชุดทดลอง (31.18 ± 0.105) ธาตุไฮโดรเจนในชุดควบคุม (5.35 ± 0.116) ชุดทดลอง (4.49 ± 0.180) และธาตุไนโตรเจนในชุดควบคุม (3.67 ± 0.010) ชุดทดลอง (3.5 ± 0.038)

5. ผลการทำสมมูลมวลไนโตรเจนในชุดควบคุมและชุดทดลองพบว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันมีความสำคัญในการบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์ในระบบไบโอฟล็อก ตามด้วยกระบวนการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ในไบโอฟล็อก นอกจากนี้ผลการทำสมมูลไนโตรเจนยังชี้ว่าการปรับสูตรอาหารให้มีโปรตีนน้อยลงและสัดส่วนของคาร์บอนมากขึ้นสามารถกระตุ้นตะกอนให้เกิดขึ้นและมีผลการบำบัดเหมือนกับการแยกเติมแหล่งคาร์บอน

6. หน่วยแยกตะกอนที่ดัดแปลงจากงานวิจัยของศิวฤกษ์ หนูฤทธิ (2554) สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลาไนได้ ทั้งนี้ยังไม่สามารถควบคุมระดับตะกอนชีวภาพให้อยู่ในช่วง 200-300 มก.ตะกอนแขวนลอย/ล. ได้ ดังนั้นจึงทำการแก้ไขในเบื้องต้นโดยการเพิ่มแผ่นกันเพื่อป้องกันตะกอนขนาดเล็กไหลออกจากคอลัมน์ของหน่วยแยกตะกอนเดิม ผลการทดลองในเบื้องต้นพบว่าหน่วยแยกตะกอนที่ปรับปรุงสามารถควบคุมให้ระดับตะกอนชีวภาพอยู่ในช่วง 200-300 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์น้อยกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล.

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้งานหน่วยแยกตะกอนที่ดัดแปลงจากการวิจัยของศิวฤกษ์ หนูฤทธิ (2554) ประสบปัญหาในการควบคุมระดับตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงไม่ได้ดีนัก ดังนั้นในการทดลองในอนาคตอาจต้องทำการปรับปรุงแบบของหน่วยแยกตะกอน เช่น เลือกขนาดของท่อให้เหมาะสมกับปริมาตรน้ำหรือปรับเปลี่ยนจากบอลลวาล์วที่ทำจากท่อพีวีซีมาเป็นบอลลวาล์วที่ทำจากทองเหลืองซึ่งมีความละเอียดมากขึ้นในการปรับปริมาตรน้ำ

2. ตะกอนชีวภาพบางส่วนอาจเกิดการตกลงสู่ก้นบ่อเลี้ยงระหว่างการใช้งานระบบไบโอฟลોકซึ่งอาจนำไปสู่สภาวะการขาดออกซิเจนและการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามมา ดังนั้นการปรับปรุงรูปแบบของบ่อเลี้ยง ระบบหมุนเวียนน้ำ และระบบให้อากาศ โดยในการปรับปรุงอาจทำการติดตั้งระบบการให้อากาศเป็นการถ่ายอากาศด้านล่างบ่อเลี้ยงเพื่อให้ตะกอนฟุ้งกระจายทั่วทั้งระบบตลอดเวลาเพื่อป้องกันการตกตะกอน และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบไบโอฟลોકได้ หรือทำการปรับพื้นบ่อให้มีความลาดเอียงเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ตะกอนสามารถไหลไปสะสมในทิศทางเดียวกันเพื่อให้ง่ายต่อการสูบน้ำตะกอนออกอย่างอัตโนมัติโดยใช้ปั๊ม

รายการอ้างอิง

- Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M. H., Khattab, Y. A. E., & Shalaby, A. M. E. (2010). Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 298(3-4), 267-274. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2009.10.027
- Asaduzzaman, M., Rahman, M. M., Azim, M. E., Islam, M. A., Wahab, M. A., Verdegem, M. C. J., & Verreth, J. A. J. (2010). Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds. *Aquaculture*, 306(1-4), 127-136. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2010.05.035
- Association., A. A. P. H. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater. Maryland: Victor Graphics.*
- Avnimelech, Y. (1999). Carbon nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(3-4), 227-235. doi: Doi 10.1016/S0044-8486(99)00085-X
- Avnimelech, Y. (2006). Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 172-178. doi: DOI 10.1016/j.aquaeng.2005.04.001
- Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264(1-4), 140-147. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2006.11.025
- Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc technology - A practical Guide book: Boton Rouge.*
- Azim, M. E., & Little, D. C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1-4), 29-35. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2008.06.036
- Azim, M. E., Little, D. C., & Bron, J. E. (2008). Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C : N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology*, 99(9), 3590-3599. doi: DOI 10.1016/j.biortech.2007.07.063
- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6), 831-849. doi: DOI 10.1016/j.envint.2006.05.002
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356, 351-356. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2012.04.046
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., & Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3-4), 125-137. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2008.02.019

- Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1-4), 346-358. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2006.03.019
- Hargreaves, J. A. (2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 344-363. doi: DOI 10.1016/j.aquaeng.2005.08.009
- Hari, B., Kurup, B. M., Varghese, J. T., Schrama, J. W., & Verdegem, M. C. J. (2004). Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*, 241(1-4), 179-194. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2004.07.002
- Hari, B., Kurup, B. M., Varghese, J. T., Schrama, J. W., & Verdegem, M. C. J. (2006). The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*, 252(2-4), 248-263. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2005.06.044
- Hegazi, M. M., & Hasanein, S. S. (2010). Effects of chronic exposure to ammonia concentrations on brain monoamines and ATPases of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology*, 151(4), 420-425. doi: DOI 10.1016/j.cbpc.2010.01.006
- Khin, T., & Annachhatre, A. P. (2004). Novel microbial nitrogen removal processes. *Biotechnology Advances*, 22(7), 519-532. doi: DOI 10.1016/j.biotechadv.2004.04.003
- Nootong, K., Pavasant, P., & Powtongsook, S. (2011). Effects of Organic Carbon Addition in Controlling Inorganic Nitrogen Concentrations in a Biofloc System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(3), 339-346. doi: DOI 10.1111/j.1749-7345.2011.00472.x
- Perez-Fuentes, J. A., Perez-Rostro, C. I., & Hernandez-Vergara, M. P. (2013). Pond-reared Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* with the biofloc system. *Aquaculture*, 400, 105-110. doi: DOI 10.1016/j.aquaculture.2013.02.028
- Ray, A. J., Dillon, K. S., & Lotz, J. M. (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering*, 45(3), 127-136. doi: DOI 10.1016/j.aquaeng.2011.09.001
- Schveitzer, R., Arantes, R., Baloi, M. F., Costodio, P. F. S., Arana, L. V., Seiffert, W. Q., & Andreatta, E. R. (2013). Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. *Aquacultural Engineering*, 54, 93-103. doi: DOI 10.1016/j.aquaeng.2012.12.003
- Schveitzer, R., Arantes, R., Costodio, P. F. S., Santo, C. M. D., Arana, L. V., Seiffert, W. Q., & Andreatta, E. R. (2013). Effect of different biofloc levels on microbial activity, water

- quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering*, 56, 59-70. doi: DOI 10.1016/j.aquaeng.2013.04.006
- Timmons, M. B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. (2002). *Recirculating Aquaculture System* (2nd ed.). New York: Northeastern Regional Aquaculture Center.
- กรมประมง. (2554). การเพาะเลี้ยงปลานิล. from <http://www.fisheries.go.th/it-network/knowledge/type%20of%20fish/typeoffish.htm>.
- กษิตติศ หนูทอง. (2551). การบำบัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 16 (เมษายน), 11 - 22.
- ชนกันต์ จิตมนัส. (2556). โรคปลานิล. เชียงใหม่สัตว์แพทยสาร, 11(1), 75-86.
- ซิ่นหทัย หวังละเอียด. (2529). ความเป็นกรดของน้ำที่มีผลต่อปลานิล (*Sarotherodon Niloticus*). (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ทยากร สุวรรณรัตน์. (2552). การศึกษาระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดความหนาแน่นสูงโดยผสมผสานตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2554). การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. (2540). การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล พรรณศรี จริโมภาส สุจินต์ หนูขวัญ กำชัย ลาวัณยวุฒิ วีระ วัชรกรโยธิน และวิมล จันทรโรทัย. (2536). การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิล (Vol. 23). สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด: กรมประมง
- วรรณรัตน์ วณิชชานัย. (2552). ผลจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์และคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศักดิ์ชัย ชูชาติ. (2536). การเลี้ยงปลาน้ำจืด (Vol. 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไอดีเอ็นเอสโตว์.
- ศิวฤกษ์ หนูฤทธิ. (2554). การพัฒนาหน่วยแยกตะกอนและผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สาวิตรี จันทรานุกรักษ์. (2546). กระบวนการแยกเชิงกลในอุตสาหกรรม (Vol. 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุบัณฑิต นิมรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. (2552). การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน : บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้ (Vol. 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

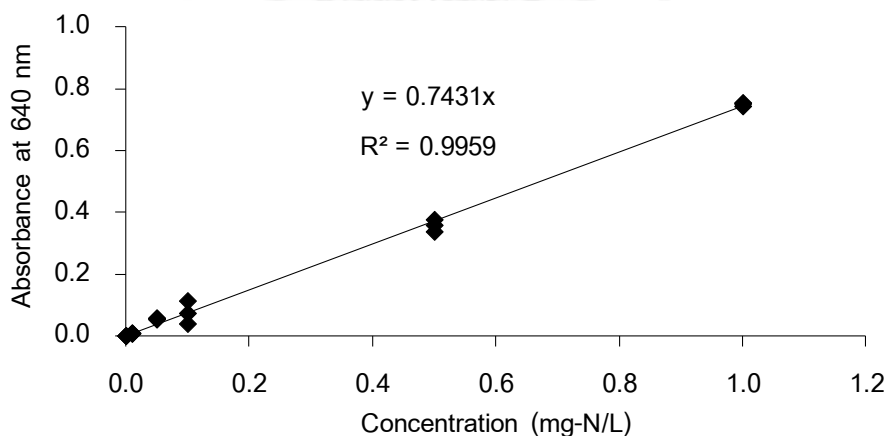
ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในน้ำ ดัดแปลงมาจากวิธี Strickland and Parsons (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 30 มล. กรองด้วยกระดาษ (Whatman GF/C) ควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือถ้ายังไม่วิเคราะห์ควรแช่เย็นที่อุณหภูมิ -15°C

ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 1 มล. โดยใช้น้ำ De-ionized (D.I.) เป็น Blank เติมนสารละลาย ฟีนอล (ฟีนอล 20 ก. ใน 95% โดยปริมาตร เอทิลแอลกอฮอล์ 200 มล.) ปริมาตร 0.04 มล. แล้วเติมนสารละลาย Sodium nitroprusside ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 1 ก. ในน้ำ D.I. 200 มล.) ปริมาตร 0.04 มล. จากนั้นเติมนสารละลาย Oxidizing (ผสม Alkaline reagent Sodium ciliate 100 ก. และ NaOH 5 ก. ในน้ำ D.I. 500 มล.) และ Sodium hypochlorite solution ในอัตราส่วน 100 ต่อ 25 มล.) ปริมาตร 0.1 มล. เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชม. หลังจากทำปฏิกิริยานำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตรจากนั้นเตรียม standard ammonia solution ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 0.01 0.05 0.1 0.5 และ 1 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับจาก stock ammonia solution ความเข้มข้น 100 มก.ไนโตรเจน/ล.

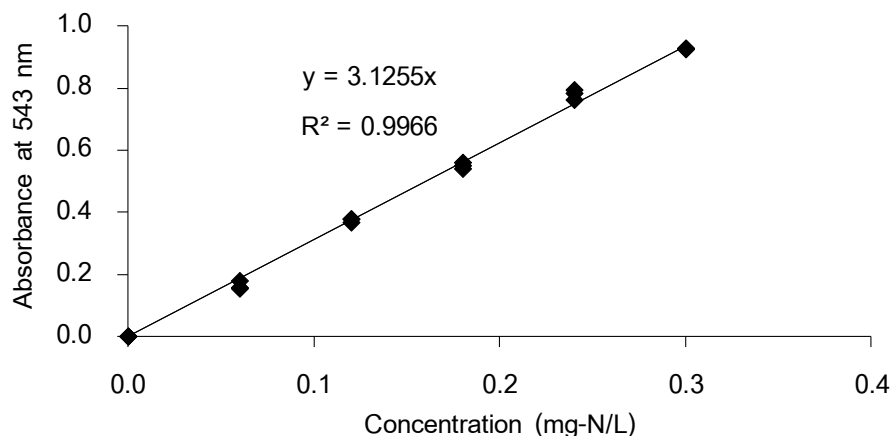


ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (Total ammonia)

2. วิธีวิเคราะห์ไนโตรต์

ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรต์ในน้ำ ดัดแปลงมาจากวิธี Strickland and Parsons (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 30 มล. กรองด้วยกระดาษ (Whatman GF/C) ควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือถ้ายังไม่วิเคราะห์ควรแช่เย็นที่อุณหภูมิ -15°

ปิเปตตัวอย่างน้ำปริมาตร 1 มล. โดยใช้น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็น Blank เติมสารละลาย sulfanilamide solution (sulfanilamide 5 ก. กรดไฮโดรคลอริก 50 มล. ในน้ำกลั่น 500 มล.) ปริมาตร 0.02 มล. เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาทีแต่ไม่เกิน 10 นาที หลังจากนั้นเติม naphthylenediamine reagent (N-(1-Napthyl)-Ethylenediamine Dihydrochlorine 0.5 ก. ต่อน้ำ 500 มล.) ปริมาตร 200 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีไม่เกิน 2 ชม. เพื่อทำปฏิกิริยา นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร จากนั้นเตรียม standard nitrite solution ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 0.06 0.12 0.18 0.24 และ 0.3 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับจาก stock nitrite solution ความเข้มข้น 100 มก.ไนโตรเจน/ล.

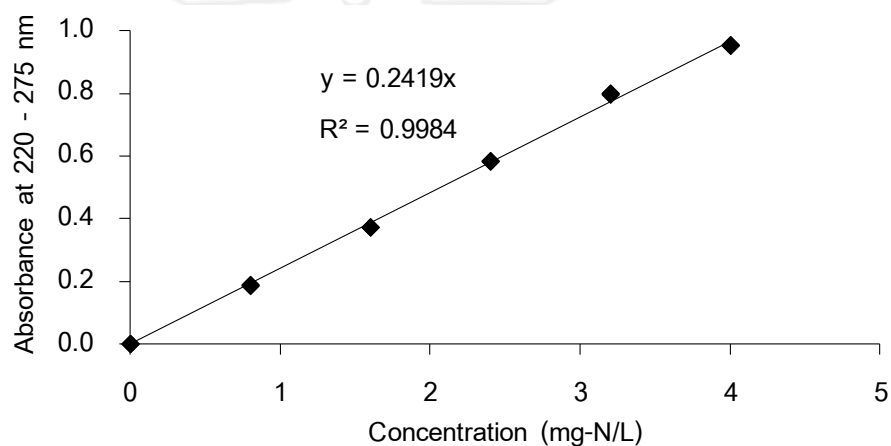


ภาพที่ ก-2 กราฟมาตรฐานไนโตรต์ (nitrite nitrogen)

3. วิธีวิเคราะห์ไนเตรต

ในการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตในน้ำ ดัดแปลงมาจากวิธี Strickland and Parsons (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 30 มล. กรองด้วยกระดาษ (Whatman GF/C) ควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือถ้ายังไม่วิเคราะห์ควรแช่เย็นที่อุณหภูมิ -15°C

ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตในน้ำด้วยวิธีนี้ควรทำการกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อนทำการวิเคราะห์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร ตามลำดับ ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณไนเตรตต่อไป



ภาพที่ ก-3 กราฟมาตรฐานไนเตรต (nitrate nitrogen)

4. วิธีวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนการทดลองต้องทำการเตรียมกระดาษกรองโดยนำกระดาษกรองมาอบและชั่งจนน้ำหนักคงที่ นำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง ซึ่งต้องบันทึกปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่กรองไว้ จากนั้นนำกระดาษมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (APHA 1998) เมื่อนำกระดาษกรองออกจากตู้อบจะนำมาใส่ในโถดูดความชื้นจนกระดาษกรองเย็นลง หลังจากนั้นนำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เพื่อนำค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณหาปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (มก.ของแข็งแขวนลอย/ล.) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{\text{นน.กระดาษกรองหลังกรอง (ก.)} - \text{นน.กระดาษกรองก่อนกรอง (ก.)} \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำที่กรอง (มล.)}$$

5. วิธีวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของปลา

ในการติดตามการเจริญเติบโตของปลานิลตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ทำการตรวจวัดทุกๆ 15 วันของการทดลอง โดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลานิลจากปากถึงปลายหาง เพื่อคำนวณน้ำหนักและความยาวเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลต่อวัน และอัตราการรอด ซึ่งคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ความยาวปลาเฉลี่ยต่อตัว (ซม./ตัว)} &= \frac{\text{ผลรวมของความยาวทั้งหมด (ซม.)}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด (ตัว)}} \\ \text{น้ำหนักปลาเฉลี่ยต่อตัว(ก./ตัว)} &= \frac{\text{ผลรวมของน้ำหนักปลาทั้งหมด (ก.)}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด (ตัว)}} \\ \text{อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (DWG)} &= \frac{\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น (ก.)} - \text{น้ำหนักปลาสิ้นสุด (ก.)}}{\text{ระยะเวลาทั้งหมด (วัน)}} \\ \text{อัตราการรอด (\%)} &= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตัว)} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้นทำการทดลอง (ตัว)}} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรต์ และไนเตรตในน้ำในการศึกษาเบื้องต้นความสัมพันธ์ของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน และตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟิล์มรูปแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน

วันที่	ความเข้มข้น (mgN/l)					
	แอมโมเนีย	SD	ไนโตรต์	SD	ไนเตรต	SD
0	0.18	0.02	0.00	0.00	0.96	0.07
1	0.35	0.01	0.00	0.00	1.14	0.14
2	0.63	0.03	0.01	0.00	1.40	0.20
3	0.61	0.02	0.05	0.00	1.78	0.10
4	0.37	0.00	0.16	0.01	2.30	0.02
5	0.14	0.01	0.17	0.00	3.28	0.08
6	0.08	0.00	0.12	0.00	4.04	0.06
7	0.05	0.00	0.12	0.00	4.72	0.07
8	0.05	0.01	0.17	0.00	5.64	0.03
9	0.03	0.01	0.16	0.00	6.45	0.04
10	0.02	0.00	0.11	0.00	7.39	0.04
11	0.03	0.01	0.06	0.00	6.07	0.03
12	0.03	0.01	0.06	0.01	9.16	0.06
13	0.01	0.01	0.07	0.00	10.29	0.07
14	0.02	0.01	0.03	0.00	11.58	0.10
15	0.03	0.01	0.04	0.00	12.74	0.03
16	0.03	0.01	0.04	0.00	13.93	0.18
17	0.02	0.00	0.03	0.00	14.81	0.10
18	0.03	0.01	0.02	0.00	15.33	0.06
19	0.03	0.01	0.02	0.00	17.78	0.26
20	0.02	0.01	0.02	0.00	17.74	0.31
21	0.04	0.01	0.04	0.00	17.58	0.22
22	0.04	0.01	0.06	0.00	18.33	0.36
23	0.03	0.00	0.03	0.00	20.16	0.22
24	0.04	0.02	0.02	0.00	21.08	0.49
25	0.03	0.00	0.09	0.00	21.71	0.26
26	0.04	0.01	0.01	0.00	23.36	0.08
27	0.10	0.03	0.03	0.00	24.30	0.35
28	0.10	0.01	0.01	0.00	24.91	0.20
29	0.04	0.01	0.02	0.00	26.26	0.10
30	0.08	0.11	0.02	0.00	28.82	0.42

วันที่	ความเข้มข้น (mg N/l)					
	แอมโมเนีย		ไนโตรต์		ไนเตรต	
		SD		SD		SD
31	0.01	0.00	0.05	0.00	29.18	0.13
32	0.01	0.00	0.08	0.01	31.23	0.16
33	0.02	0.00	0.17	0.01	32.25	0.21
34	0.03	0.01	0.04	0.00	35.40	0.32
35	0.01	0.00	0.01	0.00	36.78	0.08
36	0.02	0.01	0.01	0.00	36.69	0.45
37	0.02	0.00	0.02	0.01	38.77	0.24
38	0.03	0.01	0.35	0.00	39.55	0.21
39	0.04	0.00	0.01	0.00	41.65	0.11
40	0.01	0.00	0.02	0.00	41.36	0.50
41	0.05	0.01	0.14	0.00	43.12	0.39
42	0.04	0.00	0.12	0.00	44.81	0.47
43	0.09	0.01	0.10	0.00	45.24	0.38
44	0.09	0.00	0.22	0.00	48.42	0.31
45	0.06	0.00	0.20	0.00	48.90	0.40
46	0.05	0.00	0.04	0.00	50.98	0.23
47	0.07	0.00	0.11	0.0	51.15	0.92
48	0.19	0.01	0.33	0.01	51.53	0.45
49	0.17	0.01	0.27	0.02	55.24	0.08
50	0.06	0.01	0.06	0.00	53.34	0.59
51	0.20	0.01	0.37	0.01	77.57	0.31
52	0.17	0.01	0.16	0.01	78.94	1.19
53	0.24	0.02	0.29	0.00	98.37	1.31
54	0.11	0.01	0.08	0.00	98.84	0.86
55	0.25	0.01	0.64	0.19	121.67	0.50
56	0.07	0.01	0.15	0.01	123.10	0.80
57	0.11	0.02	0.17	0.01	123.29	1.89
58	0.18	0.01	0.56	0.02	102.46	10.96
59	0.17	0.01	0.60	0.05	145.27	11.46
60	0.19	0.01	2.08	0.18	157.13	1.19

ตารางที่ ข-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ และดัชนีปริมาณตะกอน (FVI) ที่เวลา 30 นาที ในการศึกษาเบื้องต้นความสัมพันธ์ของสารอินทรีย์ไนโตรเจน และตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลีโอกรุปแบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/l)					ดัชนีปริมาณตะกอน
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	SD	
0	0	0	0	0	0.0	0
1	26	27	30	27.7	2.1	0.1
2	35	45	45	41.7	5.8	0.1
3	35	35	55	41.7	11.5	0.3
4	65	65	60	63.3	2.9	0.5
5	65	80	75	73.3	7.6	0.7
6	95	105	80	93.3	12.6	0.9
7	125	130	110	121.7	10.4	1.3
8	145	160	150	151.7	7.6	1.5
9	140	190	140	156.7	28.9	2.1
10	175	180	170	175	5.0	4
11	180	185	190	185	5.0	4.2
12	180	190	195	188.3	7.6	5
13	210	220	225	218.3	7.6	5.5
14	210	195	210	205	8.7	6
15	185	200	215	200	15.0	6
16	180	200	230	203.3	25.2	5.5
17	190	190	230	203.3	23.1	6
18	220	200	190	203.3	15.3	6
19	230	260	240	243.3	15.3	6.5
20	270	280	250	266.7	15.3	6.5
21	360	290	290	313.3	40.4	8
22	290	280	295	288.3	7.6	7
23	280	260	290	276.6	15.3	8
24	330	250	260	280	43.6	8
25	310	290	340	313.3	25.2	10
26	310	250	420	326.7	86.5	10
27	210	420	330	320	105.4	10

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/l)					ดัชนีปริมาณตะกอน
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	SD	
28	340	330	330	333.3	5.8	11
29	440	340	410	396.7	51.3	12
30	430	480	470	460	26.5	13
31	460	480	460	466.7	11.5	14
32	500	470	460	476.7	20.8	13
33	480	530	510	506.7	25.2	14
34	520	520	490	510	17.3	15
35	510	520	600	543.3	49.3	16
36	540	550	520	536.7	15.3	18
37	510	570	510	530	34.6	17
38	600	630	640	623.3	20.8	18
39	600	570	630	600	30.0	18
40	690	620	600	636.7	47.3	18
41	640	700	720	686.7	41.6	20
42	720	720	750	730	17.3	19
43	800	780	710	763.3	47.3	21
44	920	840	690	816.7	116.8	20
45	720	670	710	700	26.5	20
46	700	780	720	733.3	41.6	20
47	890	860	730	826.7	85.0	20
48	890	860	850	866.7	20.8	21
49	840	870	820	843.3	25.2	22
50	800	870	800	823.3	40.4	23
51	1060	920	1040	1006.7	75.7	24
52	890	810	970	890	80.0	26
53	960	980	940	960	20.0	27
54	970	980	980	976.7	5.8	28
55	1050	1070	1040	1053.3	15.3	30

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/l)					ดัชนีปริมาณตะกอน
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	SD	
56	1230	1050	1140	1140	90.0	27
57	1140	1230	1170	1180	45.8	31
58	1190	1190	1140	1173.3	28.9	37
59	1290	1230	1480	1333.3	130.5	42
60	1520	1500	1440	1486.7	41.6	44



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลแสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity), ดัชนีปริมาณตะกอน (Floc Volume Index) และการเจริญเติบโตของปลา ในการศึกษาความสัมพันธ์ของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน และตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอคกรูปร่างปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอน

วันที่	pH	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	DO (mg/l)	Alkalinity (mg/Las CaCO_3)	FVI (ml/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
0	7.58	28.5	7.1	150	0	159	23	19.8	1.0
1	7.41	27.1	7.1	150	0.1				
2	7.65	26.1	6.8	150	0.1				
3	7.68	25.3	6.9	150	0.3				
4	7.11	26.1	7.5	150	0.5				
5	7.05	26.3	7.2	150	0.7				
6	7.3	27	7.1	150	0.9				
7	7.09	27.4	6.9	150	1.3				
8	7.03	27.3	6.7	150	1.5				
9	7.14	26.8	6.4	150	2.1				
10	7.24	26.1	6.3	140	4				
11	7.14	27.5	7.1	140	4.2				
12	7.2	27.8	7.2	130	5				
13	7.34	27.8	7.4	130	5.5				
14	7.43	27.5	7.3	130	6				
15	7.35	27.2	6.8	110	6	178	35	20.4	1.3
16	7.45	27.5	7.2	110	5.5				
17	7.51	26.1	7.2	130	6				
18	7.27	27.1	7.2	130	6				
19	7.07	27.1	7.7	130	6.5				
20	7.14	26.6	7.4	130	6.5				
21	7.34	27.3	7.3	130	8				
22	7.35	27.7	7.3	120	7				
23	7.32	27.5	7.2	110	8				
24	7.3	27.3	7.3	110	8				
25	7.1	25.6	7.1	110	10				
26	7.1	25.3	7.1	120	10				

วันที่	pH	อุณหภูมิ (°C)	DO (mg/l)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	FVI (mL/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
27	7.1	25.4	7.1	110	10				
28	7.1	25.7	7.1	120	11				
29	7.1	25	7.1	130	12				
30	7.2	25.4	7.2	120	13	186	33	20.2	1.3
31	7.1	26.9	7.1	120	14				
32	7.1	25.4	7.1	120	13				
33	7.1	26.4	7.1	120	14				
34	7.24	26.7	6.9	110	15				
35	7.29	27.4	6.9	110	16				
36	7.19	26.3	6.5	100	18				
37	7.22	26.6	6.5	100	17				
38	7.67	25	6.4	100	18				
39	7.25	26.9	6.4	110	18				
40	7.28	27.4	6.4	110	18				
41	7.02	27.5	6.4	110	20				
42	7.15	26.9	6.4	110	19				
43	7.29	26.9	6.3	110	21				
44	7.2	25.8	6.3	100	20				
45	7.24	25.6	6.3	90	20	194	34	20.9	1.5
46	7.24	25.7	6.3	90	20				
47	7.44	25.6	5.8	90	20				

วันที่	pH	อุณหภูมิ (^o C)	DO (mg/l)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	FVI (mL/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
48	7.05	26.6	5.8	100	21				
49	7.13	27.6	5.8	100	22				
50	7.01	26.5	5.8	90	23				
51	6.85	26	5.8	70	24				
52	6.98	27	5.8	50	26				
53	6.6	25.7	5.4	70	27				
54	6.39	26.4	5.4	50	28				
55	6.53	26.4	5.4	60	30				
56	6.67	25.7	5.4	50	27				
57	6.57	26.7	6.2	60	31				
58	6.52	26.3	6.2	60	37				
59	6.67	24	6.2	60	42				
60	6.75	24.8	6.2	50	44	194	36	20.7	1.4

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 แสดงค่าสารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกโดยการใช้การตะกอนชีวภาพที่มาจากกรกระตุ้นโดยอาหารสัตว์น้ำ

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลา/ม ³	วันที่	สารอินทรีย์ไนโตรเจน (mgN/L)						SS	
			แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD	(mgSS/L)	SD
200 mgSS/L	3kg/m ³	0	0.06	0.01	0.03	0.01	20.98	4.94	212.22	11.7
		1	0.02	0.01	0.01	0.01	21.55	5.7		
		2	0.02	0.01	0.02	0	23.56	6.53	256.66	3.33
		3	0.02	0.01	0.03	0.02	24.5	5.47		
		4	0.02	0.01	0.04	0.01	23.98	5.26	287.77	10.71
200mgSS/L	5kg/m ³	0	0.1	0.01	0.04	0.01	22.27	5.69	206.66	8.81
		1	0.01	0	0.02	0	23.83	6.83		
		2	0.02	0	0.02	0.01	24.02	5.13	263.33	12.01
		3	0.04	0.03	0.03	0.01	26.58	4.05		
		4	0.04	0.02	0.12	0.01	25.03	7.06	288.88	9.62
200 mgSS/L	7kg/m ³	0	0.07	0.01	0.05	0.04	19.74	0.21	205.55	1.92
		1	0.02	0.01	0.03	0	20.95	2.47		
		2	0.03	0.01	0.09	0.04	23.44	3.31	262.22	6.94
		3	0.08	0.01	0.07	0.06	21.03	0.84		
		4	0.08	0.07	0.31	0.1	22.62	0.18	291.11	10.18



ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลาบิล	วันที่	สารอินทรีย์ในโตรเจน (mgN/L)						SS	
			แอมโมเนีย	SD	ไนโตรไซด์	SD	ไนเตรต	SD	(mgSS/L)	SD
300mgSS/l	3kg/m ³	0	0.03	0.01	0.06	0.05	27.39	35.78	303.33	6.67
		1	0.02	0.01	0.05	0.03	28.88	36.61		
		2	0.03	0.02	0.04	0.03	27.92	32.31	329.99	5.77
		3	0.02	0.02	0.13	0.06	27.99	32.04		
		4	0.05	0.02	0.09	0.01	30.74	33.72	366.66	3.33
300mgSS/l	5kg/m ³	0	0.05	0.01	0.56	0.52	46.98	9.36	307.77	1.92
		1	0.06	0.02	0.3	0.27	52.14	8.29		
		2	0.08	0.03	0.1	0.05	53.82	8.88	335.55	6.93
		3	0.07	0.04	0.09	0.03	54.67	6.96		
		4	0.83	1.26	0.06	0.02	33.68	28.39	377.77	5.09
300 mgSS/l	7kg/m ³	0	0.19	0.24	0.06	0.03	8.5	5.94	312.22	3.81
		1	0.1	0.01	0.08	0.05	10.09	7.71		
		2	0.26	0.14	0.15	0.05	8.99	6.03	358.88	8.38
		3	0.76	0.21	0.13	0.14	8.26	7.39		
		4	0.76	1.12	0.11	0.14	4.98	5.27	383.33	3.33



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลาบิล	วันที่	สารอินทรีย์ไนโตรเจน (mgN/l)						SS	
			แอมโมเนีย	SD	ไนไตรท์	SD	ไนเตรต	SD	(mgSS/l)	SD
500mgSS/l	3kg/m ³	0	0.02	0.01	0.05	0.03	34.57	5.7	502.22	3.84
		1	0	0.01	0.06	0.05	36.21	6.77		
		2	0.02	0	0.05	0.02	41.27	8.21	541.10	3.85
		3	0.03	0	0.07	0.01	42.34	7.61		
		4	0.11	0.04	0.14	0.09	47.70	7.93	563.32	8.80
500mgSS/l	5kg/m ³	0	0.03	0.02	0.04	0.03	43.56	5.08	505.55	5.09
		1	0	0	0.2	0.01	44.78	6.4		
		2	0.04	0.02	0.05	0.01	42.77	4.86	545.51	11.67
		3	0.04	0.01	0.09	0.02	60.42	19.76		
		4	0.16	0.04	0.34	0.11	49.36	3.55	578.86	1.96
500mgSS/l	7kg/m ³	0	0.05	0.01	0.1	0.07	44.65	10.15	503.33	0
		1	0.02	0.01	0.09	0.09	43.56	8.66		
		2	0.04	0.01	0.07	0.01	47.4	7.62	557.77	3.85
		3	0.1	0.03	0.23	0.07	47.73	8.93		
		4	0.28	0.11	0.67	0.23	40.89	7.87	586.6	10



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการศึกษา สภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกโดยการใช้การตะกอน ชีวภาพที่มาจากการกระตุ้นโดยอาหารสัตว์น้ำ

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลา/ml	วันที่	ลักษณะทางกายภาพ					
			pH	SD	Temperature (C°)	SD	DO (mg/L)	SD
200 mgSS/l	3kg/m ³	0	7.4	0.2	28.1	0.2	7.3	0.3
		1	7.5	0.3	26.7	0.8	7.3	0.4
		2	7.3	0.2	27.4	0.1	7.2	0.4
		3	7.5	0.3	25	0.0	7.3	0.3
		4	7.5	0.2	25	0.0	7.2	0.3
200mgSS/l	5kg/m ³	0	7.3	0.3	27.7	0.1	6.6	0.41
		1	7.3	0.3	26.4	0.2	6.4	0.5
		2	7.3	0.3	26.5	0.0	6.4	0.5
		3	7.3	0.3	25	0.0	6.3	0.5
		4	7.3	0.3	25	0.0	6.3	0.6
200 mgSS/l	7kg/m ³	0	7.6	0.1	27.2	0.5	7	0.0
		1	7.4	0.0	27.3	0.4	7	0.0
		2	7.4	0.0	25	0.3	7	0.0
		3	7.4	0.0	25	0	7	0.1
		4	7.5	0.2	26.5	0.3	6.9	0.6



ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลาหมอ	วันที่	ลักษณะทางกายภาพ					
			pH	SD	temperature	SD	DO	SD
300mgSS/l	3kg/m ³	0	7.6	0.2	26.3	0.5	7.3	0.3
		1	7.4	0.3	25.9	0.1	7.3	0.4
		2	7.5	0.3	25.7	0.2	7.2	0.4
		3	7.6	0.3	25.6	0.2	7.3	0.3
		4	7.5	0.3	25.8	0.1	7.1	0.1
300mgSS/l	5kg/m ³	0	7.3	0.1	25.7	0.8	6.7	0.5
		1	7.1	0.0	25.9	0.3	6.6	0.6
		2	7.2	0.2	26	0.5	6.6	0.6
		3	7.2	0.0	25.9	0.4	6.5	0.4
		4	7.2	0.1	25.8	0.5	6.3	0.3
300 mgSS/l	7kg/m ³	0	7.6	0.2	25.5	0.2	7	0.0
		1	7.4	0	25.5	0.4	7	0.0
		2	7.2	0.1	25.9	0.2	7	0.0
		3	7.4	0.1	25.7	0.1	7	0.1
		4	7.5	0	26	0.5	6.5	0.4



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลาบิล	วันที่	ลักษณะทางกายภาพ					
			pH	SD	temperature	SD	DO	SD
500mgSS/l	3kg/m ³	0	7.1	0.2	24.5	0.3	6.5	0.6
		1	7.2	0.1	25.9	0.2	6.5	0.6
		2	7.3	0.3	28.3	0.3	6.4	0.6
		3	7.5	0.1	27.6	0.2	6.4	0.6
		4	7.9	0.2	26.1	0.2	6.4	0.6
500mgSS/l	5kg/m ³	0	7.3	0.2	24.4	0.2	6.7	0.3
		1	7.4	0.1	26.2	0.4	6.7	0.3
		2	7.3	0.2	27.6	0.7	6.6	0.2
		3	7.4	0.1	27.7	0.2	6.5	0.3
		4	7.9	0.1	26	0.6	6.6	0.2
500mgSS/l	7kg/m ³	0	7.3	0.1	23.4	0.7	5.2	0.6
		1	7.3	0.1	26.5	0.3	5.6	0.6
		2	7.4	0.1	27.1	0.7	5.2	0.8
		3	7.6	0.1	27.4	0.2	5.6	0.5
		4	8	0.1	26	0.5	5.6	0.5



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-3 แสดงการเจริญเติบโตของปลานิลในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไปโอฟล็อกโดยการใช้กระต่อนชีวภาพที่มาจากกระต่อนโดยอาหารสัตว์น้ำ

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลานิล	การเจริญเติบโตของปลานิล				
		น้ำหนัก (g)	SD	ความยาว (cm)	SD	อัตราการรอดชีวิต (%)
200 mgSS/l	3kg/m ³	77.08	21.69	14.05	2.28	100
200 mgSS/l	5kg/m ³	88.01	11.90	21.26	2.49	100
200 mgSS/l	7kg/m ³	113.88	19.71	17.62	0.73	93
300 mgSS/l	3kg/m ³	70.39	16.84	14.64	1.26	100
300 mgSS/l	5kg/m ³	74.44	11.06	15.62	0.77	100
300 mgSS/l	7kg/m ³	96.97	12.24	17.20	0.43	92
500 mgSS/l	3kg/m ³	79.06	24.50	24.15	1.92	100
500 mgSS/l	5kg/m ³	83.01	10.66	15.97	0.79	100
500 mgSS/l	7kg/m ³	112.49	20.82	17.64	0.67	100

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง-1 แสดงค่าสารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกโดยการใช้การตะกอนชีวภาพที่มาจากการกระตุ้นโดยอาหารสัตว์น้ำและเป็งมันในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลา/ม ³	สารอินทรีย์ไนโตรเจน (mgN/l)								SS	
		วันที่	แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD	(mgSS/l)	SD	
200 mgSS/l	3kg/m ³	0	0.10	0.02	0.01	0.00	1.19	0.02	207.77	5.09	
		1	0.03	0.03	0.01	0.00	0.94	0.07			
		2	0.20	0.00	0.00	0.00	1.04	0.09	241.11	3.85	
		3	0.64	0.13	0.00	0.00	1.25	0.17			
		4	0.87	0.31	0.03	0.01	1.43	0.19	276.66	8.82	
200mgSS/l	5kg/m ³	0	0.07	0.02	0.01	0.00	1.15	0.01	202.22	1.92	
		1	0.12	0.04	0.01	0.00	0.96	0.05			
		2	0.26	0.08	0.01	0.00	1.06	0.05	237.77	6.94	
		3	0.54	0.8	0.01	0.00	1.34	0.1			
		4	0.80	0.07	0.05	0.02	1.40	0.00	272.22	1.92	
200 mgSS/l	7kg/m ³	0	0.03	0.00	0.00	0.00	10.03	7.56	202.22	1.92	
		1	0.05	0.02	0.07	0.05	10.28	8.36			
		2	0.23	0.20	0.07	0.05	11.34	9.00	251.11	3.85	
		3	0.31	0.41	0.1	0.08	11.36	8.79			
		4	0.46	0.63	0.15	0.1	12.07	9.29	285.56	5.09	



ความหนาแน่น ของดิน	ความหนาแน่น ปลาบิล	วันที่	สารอินทรีย์ในดิน (mgN/L)						SS	
			แอมโมเนีย	SD	ไนโตรเจน	SD	ไนเตรต	SD	(mgSS/L)	SD
300mgSS/L	3kg/m ³	0	0.04	0.03	0.17	0.12	11.76	2.32	294.44	9.62
		1	0.09	0.04	0.07	0.00	12.09	2.12		
		2	0.05	0.04	0.01	0.01	13.14	2.94	327.78	13.88
		3	0.07	0.09	0.02	0.00	12.89	2.25		
		4	0.14	0.20	0.02	0.00	14.46	2.22	358.89	20.37
300mgSS/L	5kg/m ³	0	0.19	0.25	0.78	0.61	9.60	4.58	303.33	3.33
		1	0.04	0.03	1.18	0.76	10.60	3.94		
		2	0.08	0.04	0.39	0.33	12.64	3.50	343.33	3.33
		3	0.08	0.07	0.05	0.03	14.34	3.06		
		4	0.05	0.04	0.06	0.03	13.66	5.10	374.44	8.34
300 mgSS/L	7kg/m ³	0	0.27	0.4	0.64	1.07	13.60	7.05	303.33	3.33
		1	0.03	0.01	1.23	1.87	14.61	6.92		
		2	0.05	0.04	0.90	1.41	14.68	4.63	338.89	6.94
		3	0.05	0.05	0.28	0.17	18.14	3.89		
		4	0.09	0.02	0.25	0.06	21.53	6.29	381.11	9.62



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลาเลีย	วันที่	สารอินทรีย์ในโตรเจน (mgN/L)						SS	
			แอมโมเนีย	SD	ไนโตรเจน	SD	ไนเตรด	SD	(mgSS/L)	SD
500mgSS/L	3kg/m ³	0	3.71	1.39	0.30	0.27	1.72	0.43	500	3.33
		1	3.62	1.48	0.45	0.36	2.07	0.05		
		2	3.66	0.84	1.51	1.30	3.25	0.77	531.11	3.85
		3	3.5	2.3	2.53	1.52	3.64	2.63	561.11	13.47
		4	0.85	0.98	4.38	0.34	7.77	2.58		
500mgSS/L	5kg/m ³	0	3.55	0.79	0.24	0.17	2.14	0.75	544.44	3.85
		1	2.98	0.70	0.50	0.43	1.99	0.38	534.44	6.94
		2	2.47	1.37	1.53	1.18	3.43	0.63		
		3	1.43	0.66	1.99	1.52	4.32	2.36	575.56	19.53
		4	0.39	0.61	4.25	0.36	7.94	5.62		
500mgSS/L	7kg/m ³	0	2.44	4.17	0.04	0.08	18.94	14.80	507.78	5.09
		1	1.02	1.71	0.16	0.04	18.52	14.37	541.11	5.09
		2	0.90	1.50	0.15	0.22	19.06	13.54		
		3	1.11	1.78	0.52	0.53	19.97	14.31	585.56	1.92
		4	0.64	0.94	2.18	3.29	24.32	12.77		



ตารางที่ ง-2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้งานระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกโดยการใช้การตะกอนชีวภาพที่มาจากกระบวนการกระตุ้นโดยอาหารสัตว์น้ำและแป้งมันในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลา/ลิ	วันที่	ลักษณะทางกายภาพ					
			pH	SD	Temperature (C°)	SD	DO (mg/L)	SD
200 mgSS/l	5kg/m ³	0	8.0	0.0	29.6	0.3	7.2	0.1
		1	7.9	0.0	29.9	0.1	7.1	0.1
		2	7.8	0.1	30.0	0.8	7.0	0.1
		3	7.8	0.1	29.7	0.2	7.0	0.1
		4	7.7	0.1	29.8	0.3	6.9	0.1
200mgSS/l	5kg/m ³	0	8.0	0.0	30.0	0.2	7.1	0.1
		1	7.9	0.1	29.7	0.3	7.1	0.1
		2	7.8	0.0	29.1	0.7	7.0	0.1
		3	7.8	0.1	29.8	0.3	6.9	0.1
		4	7.7	0.0	29.8	0.3	6.9	0.1
200 mgSS/l	7kg/m ³	0	7.9	0	30.0	0.9	7.3	0.1
		1	7.7	0.1	28.2	0.7	7.2	0.2
		2	7.7	0.2	30.0	0.4	7.2	0.1
		3	7.7	0.2	29.5	1.0	7.0	0.1
		4	7.2	0.5	28.9	1.0	6.9	0.1

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลาบิล	วันที่	ลักษณะทางกายภาพ					
			pH	SD	Temperature (C°)	SD	DO (mg/L)	SD
300mgSS/l	3kg/m ³	0	7.9	0.1	30.0	0.2	7.2	0.1
		1	7.8	0.1	30.0	0.1	7.1	0.1
		2	7.7	0	29.0	0.1	7.1	0.1
		3	7.7	0.1	30.0	0.1	6.9	0.1
		4	7.6	0.1	30.0	0.1	6.9	0.1
300mgSS/l	5kg/m ³	0	7.9	0.1	29.8	0.1	7.1	0.1
		1	7.9	0.1	30.0	0.2	7.1	0.1
		2	7.6	0.1	29.1	0.4	7.0	0
		3	7.7	0	29.9	0.2	6.9	0.1
		4	7.6	0.2	30.0	0.1	6.8	0.1
300 mgSS/l	7kg/m ³	0	7.7	0.1	27.4	0.6	7.2	0.1
		1	7.6	0.1	24.9	0.6	7.1	0.1
		2	7.5	0.2	29.5	0.5	7.0	0.1
		3	7.6	0.2	28.8	0.3	7.0	0.1
		4	7.2	0.4	28.3	0.1	6.9	0.1



ความหนาแน่น ของดิน	ความ หนาแน่น ปกติ	ลักษณะทางกายภาพ						
		วันที่	pH	SD	Temperature (C°)	SD	DO (mg/L)	SD
500mgSS/l	3kg/m ³	0	8.2	0	29.5	0.9	7.1	0.2
		1	8.3	0.1	30.0	0.7	7.0	0.2
		2	7.8	0.1	29.8	0.4	6.9	0.1
		3	8.1	0.1	30.0	1.0	6.9	0
		4	7.6	0	29.8	1.0	6.9	0.1
500mgSS/l	3kg/m ³	0	8.0	0.2	29.2	2.3	7.0	0.1
		1	8.3	0	29.7	4.3	7.0	0.1
		2	7.7	0	29.4	1.3	6.9	0.1
		3	8.0	0	29.9	1.1	6.9	0.1
		4	7.7	0.2	29.7	1.6	6.8	0.1
500mgSS/l	7kg/m ³	0	7.7	0.0	27.3	1.13	7.0	0.1
		1	7.8	0.5	28.2	1.36	7.0	0.1
		2	7.6	0.0	29.4	0.36	6.9	0.1
		3	7.6	0.0	29.9	0.15	6.8	0.1
		4	7.3	0.5	28.5	1.03	6.8	0.1

ตารางที่ ง-3 แสดงการเจริญเติบโตของปลานิลในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอคโดยการใช้การตะกอนชีวภาพที่มาจากกรกระตุ้นโดยอาหารสัตว์น้ำและแป้งมันในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20:1

ความหนาแน่น ตะกอน	ความหนาแน่น ปลานิล	การเจริญเติบโตของปลานิล				
		น้ำหนัก (g)	SD	ความยาว (cm)	SD	อัตราการรอดชีวิต (%)
200 mgSS/l	3kg/m ³	89.15	12.19	15.09	0.89	96
200 mgSS/l	5kg/m ³	123.30	8.58	17.45	0.56	100
200 mgSS/l	7kg/m ³	122.30	10.27	17.78	0.50	94
300 mgSS/l	3kg/m ³	88.85	8.90	16.11	0.66	95
300 mgSS/l	5kg/m ³	122.84	7.82	17.51	0.52	100
300 mgSS/l	7kg/m ³	121.00	10.18	17.95	1.05	94
500 mgSS/l	3kg/m ³	90.53	8.28	16.36	0.61	95
500 mgSS/l	5kg/m ³	128.49	14.19	18.04	0.62	100
500 mgSS/l	7kg/m ³	146.06	13.33	19.37	0.74	97



ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพและบทบาทของกระบวนการชีวภาพในการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก (Biofloc C:N=20:1)

วันที่	ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนตะกอนชีวภาพ C:N เท่ากับ 20:1 (mgN/l)					
	แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD
0	0.12	0.06	0.27	0.05	9.57	1.31
1	0.11	0.06	0.35	0.05	8.83	1.24
2	0.12	0.05	0.48	0.06	7.48	1.12
3	0.23	0.14	0.33	0.06	7.44	1.02
4	0.15	0.07	0.33	0.12	7.64	2.12
5	0.02	0.02	0.24	0.20	8.78	1.55
6	0.07	0.07	0.17	0.13	9.67	1.17
7	0.02	0.02	0.12	0.10	11.00	0.75
8	0.02	0.01	0.10	0.01	12.92	1.30
9	0.03	0.01	0.07	0.03	14.09	1.66
10	0.03	0.02	0.04	0.03	13.17	1.81
11	0.10	0.01	0.24	0.09	10.49	1.55
12	0.06	0.02	0.12	0.01	11.05	1.13
13	0.04	0.00	0.06	0.04	12.24	1.51
14	0.04	0.01	0.05	0.01	13.61	1.28
15	0.05	0.01	0.09	0.07	15.40	0.72
16	0.03	0.01	0.10	0.09	16.47	0.45
17	0.02	0.01	0.05	0.02	16.21	1.51
18	0.35	0.01	0.23	0.15	14.87	0.32
19	0.25	0.01	0.09	0.06	13.50	1.42

วันที่	ความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนตะกอนชีวภาพ C:N เท่ากับ 20:1 (mgN/l)					
	แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD
20	0.39	0.06	0.35	0.08	12.77	1.44
21	0.20	0.11	0.29	0.26	14.41	1.71
22	0.11	0.05	0.58	0.58	15.26	1.46
23	0.11	0.03	0.28	0.34	17.25	1.97
24	0.07	0.02	0.13	0.13	16.67	5.07
25	0.06	0.05	0.11	0.12	20.03	1.25
26	0.05	0.04	0.05	0.04	20.88	0.48
27	0.05	0.02	0.09	0.11	20.40	0.58
28	0.15	0.03	0.13	0.15	21.52	0.90
29	0.15	0.03	0.10	0.12	21.80	1.77
30	0.18	0.02	0.05	0.01	22.95	2.01
31	0.03	0.02	0.04	0.00	23.65	1.73
32	0.03	0.01	0.02	0.01	24.38	1.57
33	0.04	0.01	0.04	0.02	24.57	1.64
34	0.04	0.01	0.06	0.02	26.60	2.35
35	0.03	0.01	0.03	0.01	26.03	2.63
36	0.02	0.01	0.02	0.01	26.95	2.25
37	0.03	0.00	0.03	0.00	27.68	2.86
38	0.10	0.02	0.02	0.01	30.00	3.74
39	0.10	0.03	0.14	0.04	30.11	2.43
40	0.15	0.06	0.12	0.09	31.06	4.81
41	0.11	0.01	0.10	0.08	31.41	3.67
42	0.10	0.02	0.02	0.00	33.33	4.78
43	0.09	0.00	0.04	0.01	32.09	3.76
44	0.10	0.02	0.05	0.04	32.89	3.64
45	0.14	0.01	0.03	0.01	31.94	3.45

วันที่	ความเข้มข้นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนตะกอนชีวภาพ C:N เท่ากับ 20:1 (mgN/l)					
	แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD
46	0.03	0.02	0.07	0.04	32.88	3.77
47	0.04	0.05	0.06	0.05	33.47	3.12
48	0.04	0.02	0.05	0.05	34.44	3.47
49	0.07	0.05	0.12	0.11	35.01	2.53
50	0.05	0.01	0.14	0.18	35.12	4.07
51	0.01	0.01	0.05	0.04	37.42	1.92
52	0.03	0.01	0.08	0.05	34.47	4.18
53	0.05	0.05	0.10	0.04	31.27	3.97
54	0.47	0.10	0.27	0.10	32.39	2.11
55	0.25	0.24	0.37	0.25	33.69	5.69
56	0.12	0.01	0.52	0.41	31.72	1.40
57	0.12	0.02	0.37	0.47	33.08	1.79
58	0.26	0.05	0.47	0.42	32.48	1.19
59	0.25	0.04	0.37	0.25	34.57	2.1
60	0.24	0.03	0.72	1.03	38.24	2.70

ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพและบทบาทของกระบวนการชีวภาพในการควบคุมสารอนินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก (Natural Biofloc)

วันที่	ความเข้มข้นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนตะกอนชีวภาพ (mgN/l)					
	แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD
0	0.06	0.03	0.01	0.00	6.81	0.26
1	0.07	0.04	0.03	0.01	7.34	0.28
2	0.11	0.08	0.02	0.01	8.09	0.18
3	0.12	0.09	0.03	0.02	8.70	0.45
4	0.00	0.00	0.15	0.01	8.82	0.96
5	0.00	0.00	0.09	0.05	9.73	1.10
6	0.00	0.00	0.10	0.06	10.52	0.38
7	0.00	0.00	0.10	0.08	11.80	0.68
8	0.02	0.01	0.03	0.00	14.22	0.46
9	0.03	0.02	0.02	0.01	14.89	1.01
10	0.02	0.01	0.02	0.02	15.06	0.62
11	0.01	0.01	0.03	0.01	13.65	2.99
12	0.04	0.01	0.11	0.04	15.89	0.77
13	0.04	0.00	0.08	0.05	16.81	0.34
14	0.043	0.01	0.05	0.04	18.98	1.97
15	0.02	0.01	0.01	0.00	18.44	0.59
16	0.03	0.01	0.04	0.01	19.55	0.28
17	0.04	0.02	0.04	0.02	19.54	0.83
18	0.33	0.12	0.05	0.01	20.72	0.27
19	0.27	0.03	0.06	0.00	20.72	0.56

วันที่	ความเข้มข้นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนตะกอนชีวภาพ (mgN/l)					
	แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD
20	0.30	0.04	0.26	0.12	21.66	1.07
21	0.11	0.04	0.46	0.40	22.15	1.33
22	0.09	0.04	0.75	0.55	21.26	1.00
23	0.05	0.01	0.60	0.60	22.43	1.95
24	0.04	0.01	0.38	0.46	24.31	2.03
25	0.03	0.02	0.12	0.12	25.52	0.84
26	0.02	0.01	0.05	0.02	25.87	1.30
27	0.05	0.01	0.04	0.01	23.87	1.66
28	0.14	0.01	0.04	0.01	23.81	1.42
29	0.14	0.02	0.03	0.01	24.34	0.96
30	0.15	0.01	0.03	0.00	25.46	1.19
31	0.04	0.01	0.02	0.01	25.85	1.60
32	0.06	0.03	0.02	0.01	25.64	1.78
33	0.03	0.01	0.02	0.01	26.85	1.29
34	0.05	0.00	0.02	0.01	29.35	3.07
35	0.04	0.02	0.03	0.02	28.45	2.43
36	0.04	0.02	0.03	0.02	29.40	1.47
37	0.02	0.01	0.03	0.02	30.43	2.78
38	0.08	0.03	0.03	0.03	31.70	2.71
39	0.08	0.02	0.04	0.02	34.66	4.85
40	0.10	0.02	0.05	0.02	34.32	3.54
41	0.11	0.03	0.06	0.03	33.96	2.21
42	0.12	0.02	0.18	0.18	35.13	5.64
43	0.11	0.04	0.07	0.03	36.40	3.37
44	0.10	0.02	0.05	0.00	37.67	3.25
45	0.15	0.06	0.06	0.03	37.92	4.06

วันที่	ความเข้มข้นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนตะกอนชีวภาพ (mgN/l)					
	แอมโมเนีย	SD	ไนไตรต์	SD	ไนเตรต	SD
46	0.01	0.01	0.08	0.05	37.65	2.98
47	0.01	0.01	0.07	0.01	39.26	5.72
48	0.03	0.01	0.04	0.01	38.49	3.56
49	0.02	0.01	0.04	0.01	39.69	3.44
50	0.02	0.02	0.05	0.02	42.22	4.04
51	0.02	0.01	0.04	0.01	43.19	5.66
52	0.02	0.01	0.05	0.01	41.54	3.19
53	0.01	0.02	0.04	0.01	43.88	7.53
54	0.10	0.02	0.02	0.02	45.50	2.52
55	0.09	0.01	0.02	0.03	44.08	4.86
56	0.09	0.01	0.00	0.00	44.61	4.61
57	0.10	0.00	0.02	0.01	46.35	4.18
58	0.16	0.04	0.05	0.04	45.21	2.41
59	0.18	0.02	0.04	0.02	47.32	4.45
60	0.21	0.02	0.04	0.01	51.45	1.86

ตารางที่ จ-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ ในการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพและบทบาทของกระบวนการชีวภาพ ในการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก (Biofloc C:N=20:1)

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/l)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
0	90	77	40	69	26
1	120	120	120	120	0
2	167	157	137	153	15
3	220	213	270	234	31
4	223	153	167	181	37
5	180	157	157	164	13
6	173	170	170	171	2
7	143	117	117	126	15
8	103	130	120	118	13
9	90	83	113	96	16
10	150	157	167	158	8
11	213	217	223	218	5
12	213	230	220	221	8
13	223	223	193	213	17
14	167	210	170	182	24
15	170	173	170	171	2
16	170	157	173	167	9
17	190	183	187	187	2
18	240	243	183	222	24
19	283	283	250	272	19
20	197	247	250	231	30

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/l)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	SD
21	230	130	203	188	52
22	120	97	73	97	23
23	157	143	123	141	17
24	150	153	77	127	43
25	113	113	57	94	33
26	147	173	87	136	44
27	217	173	123	171	47
28	160	113	53	109	53
29	220	170	133	174	44
30	170	183	167	173	9
31	163	180	133	159	24
32	127	110	133	117	9
33	190	150	150	163	23
34	207	187	227	207	20
35	260	253	227	247	18
36	267	233	257	252	17
37	250	203	207	220	26
38	270	223	260	251	25
39	290	263	277	277	13
40	273	100	210	161	56
41	187	193	217	199	16
42	177	157	197	177	20
43	187	190	193	190	3
44	207	187	213	202	14
45	290	277	250	272	20

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/L)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	SD
46	270	270	223	254	27
47	250	220	240	236	15
48	213	170	257	213	43
49	240	213	237	230	15
50	277	233	233	248	25
51	270	260	250	260	10
52	287	300	293	293	7
53	207	203	213	208	5
54	183	163	193	180	15
55	280	217	190	229	46
56	247	197	210	218	26
57	243	210	197	217	24
58	273	200	253	242	38
59	213	203	217	211	7
60	210	233	223	216	7

ตารางที่ จ-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ ในการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพและบทบาทของกระบวนการชีวภาพ ในการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก (Natural Biofloc)

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/l)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
0	57	43	47	49	7
1	117	93	93	101	13
2	130	127	127	128	2
3	160	173	160	164	8
4	243	213	257	238	22
5	160	133	137	143	15
6	163	130	143	146	17
7	97	110	140	116	22
8	120	153	130	134	17
9	130	143	113	129	15
10	143	167	163	158	13
11	210	193	190	198	11
12	233	190	200	208	23
13	217	173	180	190	23
14	170	113	113	132	33
15	133	137	120	130	9
16	107	103	143	118	22
17	93	90	177	120	49
18	170	173	240	194	40
19	217	210	263	230	29
20	133	147	173	251	20

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/L)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	SD
21	120	157	180	152	30
22	70	100	60	77	21
23	87	130	140	119	28
24	120	130	130	127	6
25	87	153	80	107	41
26	110	137	127	124	13
27	173	170	167	170	3
28	113	117	187	139	41
29	147	127	190	154	32
30	143	123	140	136	11
31	117	133	137	129	11
32	80	80	100	87	12
33	63	73	117	84	28
34	100	110	180	130	44
35	247	220	227	231	14
36	227	193	207	209	17
37	203	170	190	188	17
38	167	190	213	190	23
39	210	210	257	226	27
40	157	153	217	176	36
41	163	207	243	204	40
42	183	160	217	187	28
43	147	143	183	158	22
44	177	160	177	171	10
45	193	200	270	221	42

วันที่	ปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (mgSS/l)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
46	177	197	240	204	32
47	157	120	177	151	29
48	190	170	243	201	38
49	193	183	223	200	21
50	203	177	233	204	28
51	240	203	267	237	32
52	237	203	243	228	21
53	263	233	287	261	27
54	237	203	273	238	35
55	257	227	297	260	35
56	220	223	270	238	28
57	227	187	223	216	25
58	273	237	273	261	21
59	237	237	247	240	6
60	223	243	267	244	22

ตารางที่ จ-5 ข้อมูลแสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และการเจริญเติบโตของปลา ในการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพและบทบาทของกระบวนการชีวภาพในการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก (Biofloc C:N=20:1)

วันที่	pH	อุณหภูมิ (⁰ C)	DO (mg/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
0	7.6	28.9	7.7	79.21	7.80	15.63	0.54
1	8.0	28.2	7.7				
2	8.0	28.1	7.7				
3	7.8	27.6	7.7				
4	7.9	27.7	7.7				
5	8.1	27.0	7.7				
6	7.8	26.2	7.7				
7	8.0	27.6	7.7				
8	7.9	27.9	7.7				
9	8.1	27.9	7.7				
10	8.1	27.9	7.7				
11	7.9	26.7	7.7				
12	7.8	26.4	7.7				
13	7.9	26.3	7.5				
14	8.0	26.7	7.5				
15	8.1	27.4	7.5	84.36	10.44	15.92	0.41
16	7.9	27.4	7.5				
17	7.9	27.8	7.4				
18	7.6	27.8	6.9				
19	7.7	27.6	6.8				
20	7.8	27.8	6.8				
21	8.0	27.6	6.8				

วันที่	pH	อุณหภูมิ (°C)	DO (mg/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
22	8.1	27.8	6.8				
23	8.1	27.8	6.8				
24	8.1	27.8	6.8				
25	8.2	27.4	6.8				
26	8.3	26.8	6.8				
27	8.4	27.3	6.7				
28	8.4	27.3	6.7				
29	8.3	27.2	6.7				
30	8.6	27.2	6.7	86.44	11.44	16.49	0.73
31	8.7	27.6	6.7				
32	8.6	27.9	6.7				
33	8.7	27.7	6.7				
34	8.7	27.9	6.7				
35	8.6	27.8	6.7				
36	8.6	27.8	6.7				
37	8.5	27.1	6.7				
38	8.6	27.8	6.7				
39	8.2	27.9	6.7				
40	8.0	27.8	6.7				
41	7.8	27.7	6.7				
42	7.9	27.6	6.7				
43	8.2	28.0	6.7				
44	8.2	27.8	6.7				
45	8.2	27.8	6.7	89.00	12.01	16.74	0.77
46	8.2	27.9	6.7				
47	8.3	27.8	6.7				

วันที่	pH	อุณหภูมิ (⁰ C)	DO (mg/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
48	8.1	27.9	6.7				
49	7.9	27.5	6.7				
50	7.9	27.7	6.7				
51	8.1	27.6	6.7				
52	8.0	27.6	6.7				
53	8.0	27.8	6.7				
54	7.8	29.3	6.7				
55	8.1	27.4	6.7				
56	7.9	27.9	6.7				
57	7.8	27.3	6.7				
58	7.8	27.6	6.7				
59	7.9	27.6	6.7				
60	7.8	27.7	6.7	91.39	11.06	16.68	0.82

ตารางที่ จ-6 ข้อมูลแสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ, ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และการเจริญเติบโตของปลา ในการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของตะกอนชีวภาพและบทบาทของกระบวนการชีวภาพในการควบคุมสารอินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟล็อก (Natural Biofloc)

วันที่	pH	อุณหภูมิ (^o C)	DO (mg/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
0	7.6	27.5	7.6	76.12	2.15	15.56	0.12
1	7.7	27.9	7.6				
2	7.9	28.0	7.6				
3	7.6	27.6	7.6				
4	8.0	27.7	7.7				
5	8.0	26.8	7.6				
6	7.7	26.2	7.6				
7	7.6	27.4	7.6				
8	7.9	27.5	7.7				
9	7.9	27.8	7.7				
10	7.8	28.4	7.6				
11	7.9	26.5	7.6				
12	7.6	26.4	7.7				
13	7.7	25.2	7.6				
14	7.9	26.3	7.6				
15	7.9	27.2	7.6	78.34	1.73	15.62	0.05
16	8.0	27.4	7.5				
17	8.0	27.8	7.5				
18	7.6	27.7	7.4				
19	7.9	27.7	7.2				
20	7.9	27.7	7.2				
21	8.1	27.3	7.2				

วันที่	pH	อุณหภูมิ (°C)	DO (mg/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
22	8.2	27.3	7.2				
23	8.1	27.6	7.2				
24	8.1	27.7	7.2				
25	8.3	26.9	7.2				
26	8.4	26.8	7.2				
27	8.4	27.2	7.2				
28	8.5	27.3	7.2				
29	8.5	27.1	7.2				
30	8.7	27.2	7.2	80.70	3.23	15.98	0.06
31	8.7	27.9	7.2				
32	8.7	27.9	7.2				
33	8.7	27.7	7.1				
34	8.8	27.9	7.0				
35	8.7	27.8	7.0				
36	8.6	27.7	7.0				
37	8.6	27.6	7.0				
38	8.6	27.6	7.0				
39	8.5	27.5	7.0				
40	8.0	27.2	7.0				
41	8.0	27.7	7.0				
42	8.0	27.7	7.0				
43	8.1	27.7	6.8				
44	8.2	27.7	6.8				
45	8.2	27.7	6.8	81.26	2.47	15.90	0.06
46	8.0	27.7	6.8				
47	8.0	27.7	6.8				

วันที่	pH	อุณหภูมิ (°C)	DO (mg/l)	น้ำหนักปลา (g)	SD	ความยาว (cm)	SD
48	7.9	27.8	6.8				
49	7.8	27.9	6.8				
50	7.9	27.3	6.8				
51	8.1	27.5	6.8				
52	8.0	27.6	6.8				
53	7.8	27.5	6.8				
54	7.7	27.6	6.8				
55	7.8	27.4	6.8				
56	7.8	27.7	6.8				
57	7.9	27.7	6.8				
58	7.9	27.5	6.8				
59	7.8	27.7	6.8				
60	7.7	27.6	6.8	83.34	1.14	15.97	0.04

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ-1 แสดงปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในอาหารปลาโปรตีนร้อยละ 15 ที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง

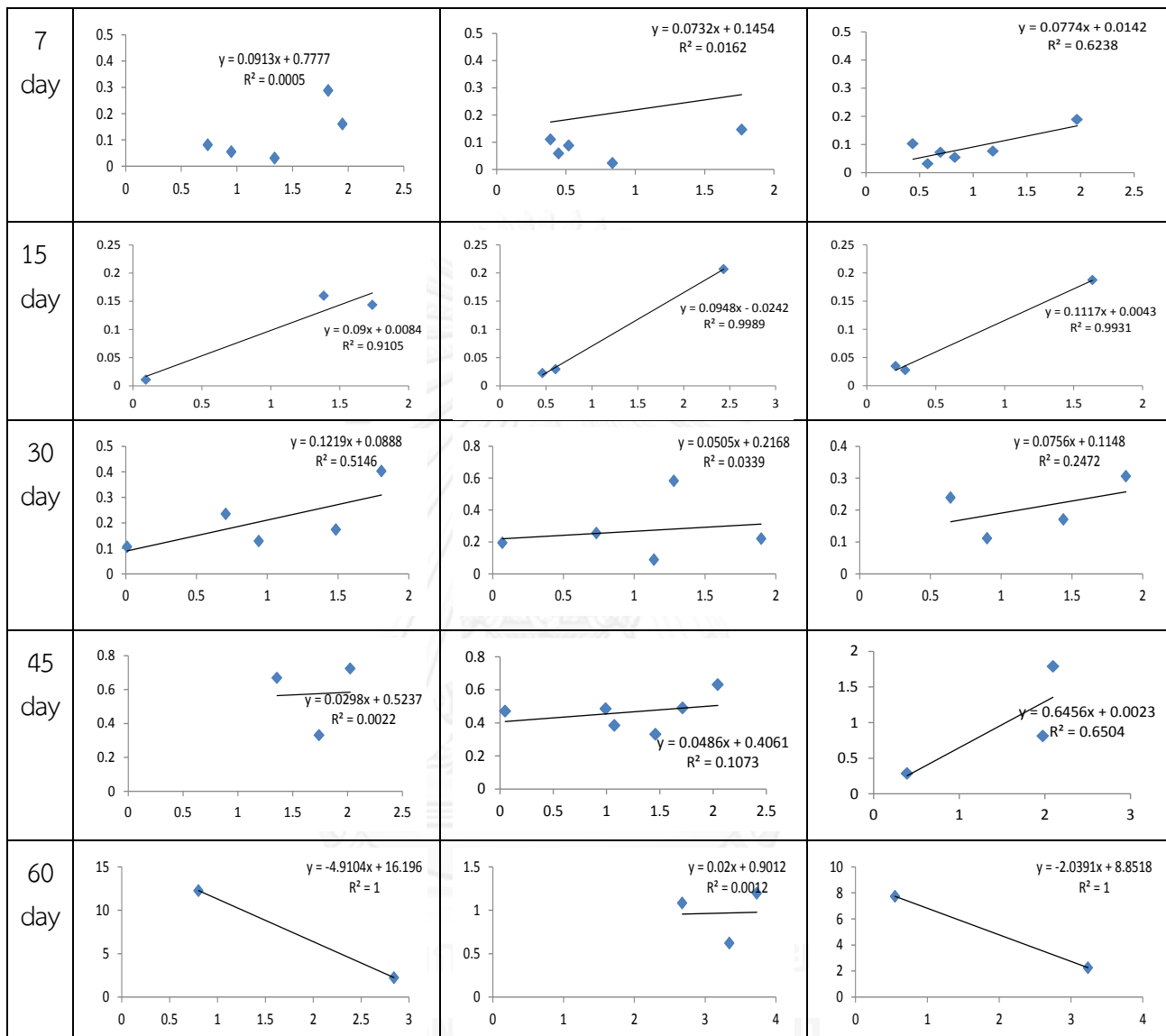
Feed	carbon	hydrogen	nitrogen
sample1	38.93	7.57	2.87
sample2	38.62	7.39	2.52
sample3	38.6	7.42	2.73
Average	38.72	7.46	2.71

ตารางที่ ฉ-2 แสดงปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในตะกอนชีวภาพการทดลองส่วนที่ 4

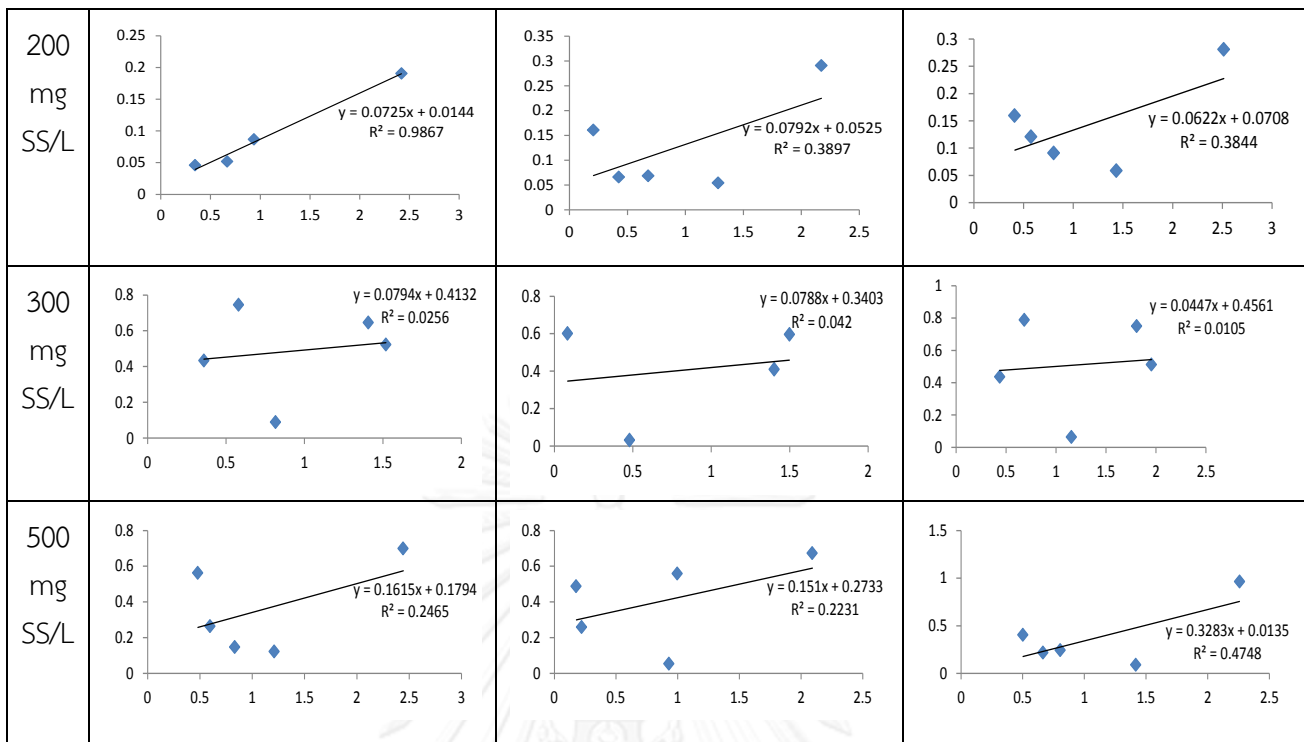
Day	Sample	carbon		hydrogen		nitrogen	
		control	treatment	control	treatment	control	treatment
15 day	1	39.44	35.76	6.09	5.95	3.9	3.88
	2	39.79	35.19	5.4	5.87	3.88	3.96
	3	39.26	35.24	5.86	5.68	3.94	3.94
30 day	1	33.5	32.08	5.55	4.59	4.05	3.74
	2	33.38	31.47	5.33	5.02	4.06	3.5
	3	33.49	31.72	5.54	4.98	4.06	3.59
45 day	1	30.91	29.95	4.29	4.55	3.92	3.47
	2	30.34	30.67	4.56	4.35	3.95	3.58
	3	30.69	30.43	4.77	4.19	3.88	3.72
60 day	1	33.23	31.29	5.43	4.67	3.66	3.48
	2	33.21	31.18	5.41	4.49	3.67	3.47
	3	33.11	31.08	5.22	4.31	3.68	3.54

ภาคผนวก ข

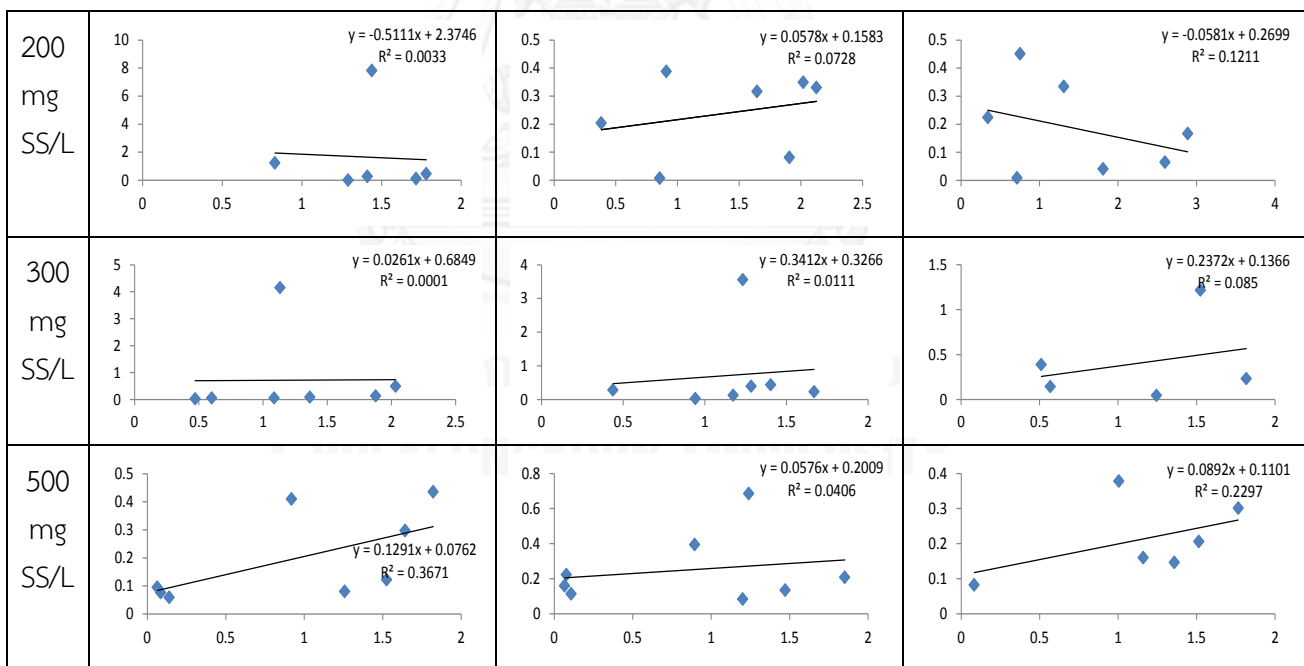
ข้อมูลอัตราการบำบัดแอมโมเนีย



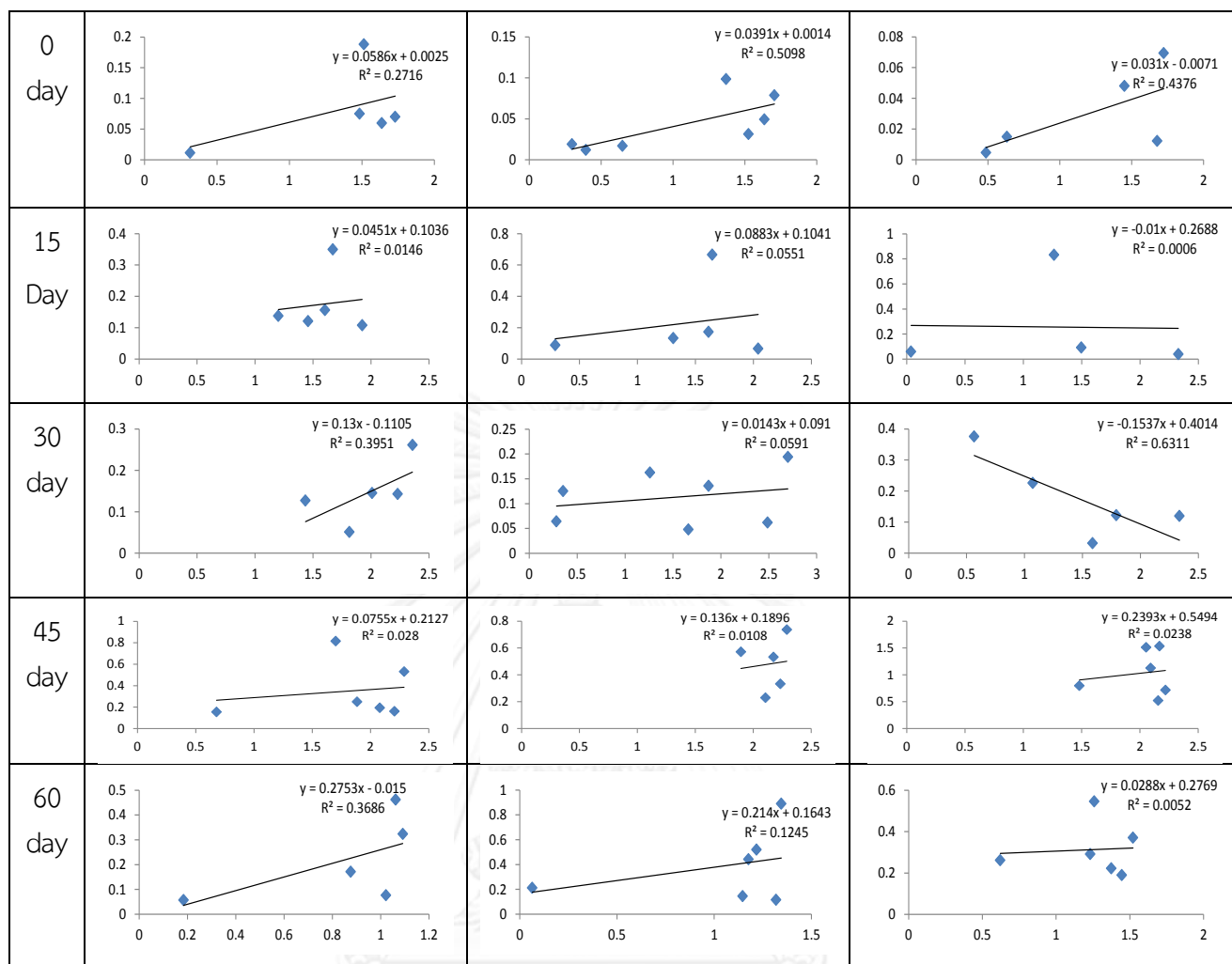
ภาพ ข-1 แสดงกราฟอัตราการบำบัดแอมโมเนียของการทดลองส่วนที่ 1



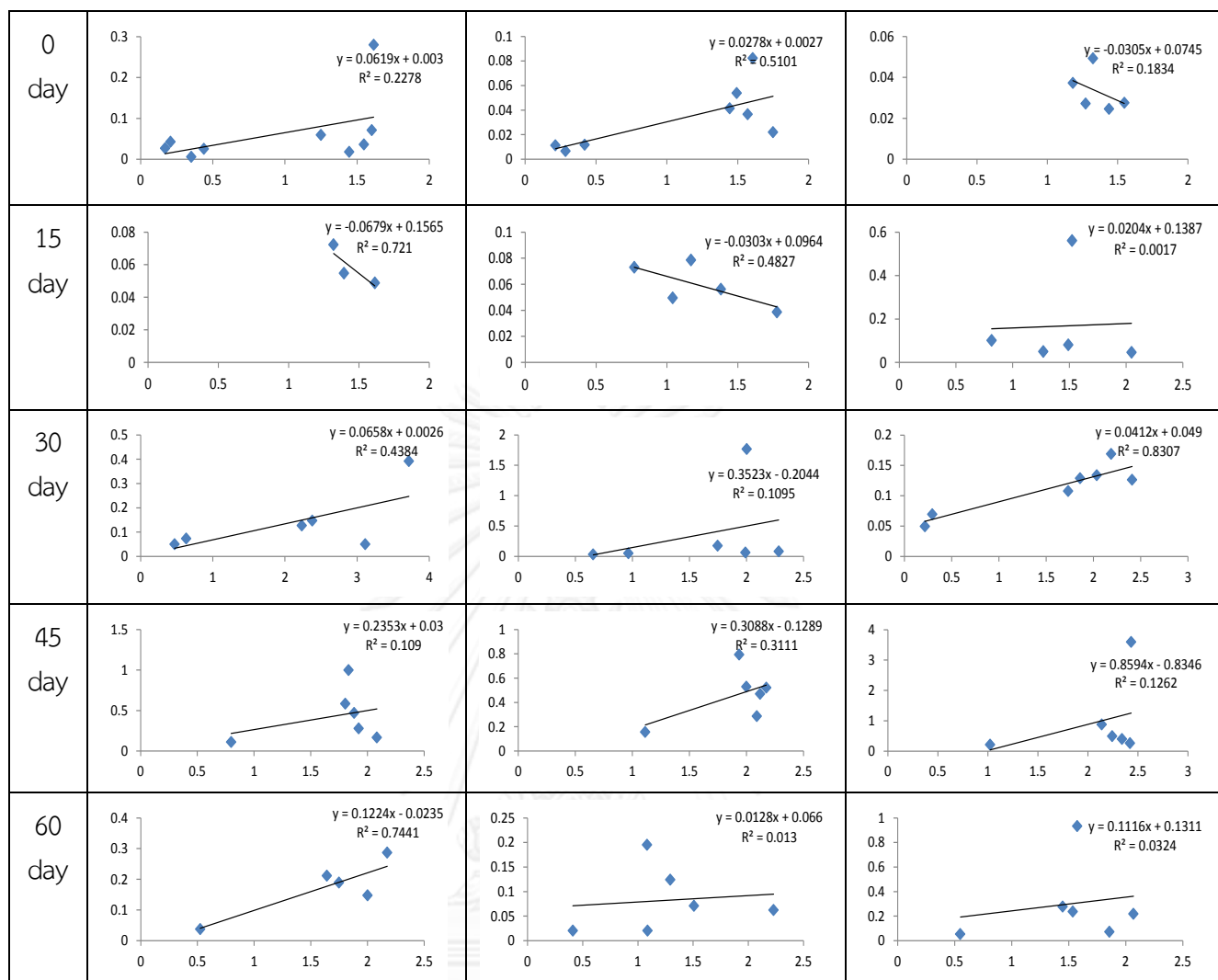
ภาพ ข-2 แสดงกราฟอัตราการบำบัดแอมโมเนียของการทดลองส่วนที่ 2



ภาพ ข-3 แสดงกราฟอัตราการบำบัดแอมโมเนียของการทดลองส่วนที่ 3



ภาพ ข-4 แสดงกราฟอัตราการบำบัดแอมโมเนียของการทดลองส่วนที่ 4 ในชุดควบคุม



ภาพ ข-5 แสดงกราฟอัตราการบำบัดแอมโมเนียของการทดลองส่วนที่ 4 ในชุดทดลอง

ภาคผนวก ฅ

ข้อมูลสถิติ

ข้อมูลสถิติอัตราการบำบัดแอมโมเนียการทดลองส่วนที่ 1

Lab1	7 day	15 day	30 day	45 day	60 day
sample1	10.95	11.11	8.20	1.55	0.07
sample2	13.66	10.55	19.80	34.48	50.00
sample3	12.92	8.95	13.33	20.83	0.07

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
7 day	3	37.53	12.51	1.96
15 day	3	30.61	10.20	1.25
30 day	3	41.34	13.78	33.78
45 day	3	56.87	18.96	273.78
60 day	3	50.14	16.71	831.07

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	142.95	4	35.74	0.16	0.96	3.48
Within Groups	2283.69	10	228.37			
Total	2426.64	14				

ข้อมูลสถิติอัตราการบำบัดแอมโมเนียการทดลองส่วนที่ 2

Lab2	200 mg SS/L	300 mg SS/L	500 mg SS/L
sample1	13.89	12.66	6.21
sample2	12.66	12.82	6.62
sample3	16.13	22.73	3.05

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
200 mg/L	3	42.68	14.23	3.10
300 mg/L	3	48.21	16.07	33.26
500 mg/L	3	15.88	5.29	3.82

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	199.25	2	99.63	7.44	0.02	5.14
Within Groups	80.36	6	13.39			
Total	279.61	8				

ข้อมูลสถิติอัตราการบำบัดแอมโมเนียการทดลองส่วนที่ 3

Lab3	200 mg SS/L	300 mg SS/L	500 mg SS/L
sample1	1.96	38.46	7.75
sample2	17.54	2.93	17.54
sample3	17.24	4.22	11.24

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	3	36.74	12.25	79.44
Column 2	3	45.61	15.20	406.08
Column 3	3	36.53	12.18	24.63

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	17.91	2	8.96	0.05	0.95	5.14
Within Groups	1020.32	6	170.05			
Total	1038.23	8				

ข้อมูลสถิติอัตราการบำบัดแอมโมเนียการทดลองส่วนที่ 4 ชุดควบคุม

Lab4 Control	0 day	15 day	30 day	45 day	60 day
Sample1	17.24	22.22	7.69	13.33	3.64
Sample 2	25.64	11.36	71.43	7.35	4.67
Sample 3	32.26	100.00	6.54	4.18	35.71

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	3	75.14	25.05	56.64
Column 2	3	133.59	44.53	2337.28
Column 3	3	85.66	28.55	1379.12
Column 4	3	24.87	8.29	21.59
Column 5	3	44.02	14.67	332.27

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2330.31	4	582.58	0.71	0.61	3.48
Within Groups	8253.80	10	825.38			
Total	10584.10	14				

ข้อมูลสถิติอัตราการบำบัดแอมโมเนียการทดลองส่วนที่ 4 ชุดทดลอง

Lab4 treatment	0 day	15 day	30 day	45 day	60 day
Sample1	16.39	14.93	15.38	4.26	8.20
Sample2	37.04	33.33	2.84	0.31	83.33
Sample3	33.33	50.00	24.39	1.16	9.01

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	3	86.76	28.92	121.14
Column 2	3	98.26	32.75	307.81
Column 3	3	42.62	14.21	117.14
Column 4	3	5.73	1.91	4.31
Column 5	3	100.54	33.51	1861.71

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2280.42	4	570.10	1.18	0.38	3.48
Within Groups	4824.22	10	482.42			
Total	7104.64	14				

ข้อมูลสถิติเปรียบเทียบอัตราการบำบัดแอมโมเนียระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง การทดลองส่วนที่ 4

0 day		15 day		30 day		45 day		60 day	
control	Treatment	control	Treatment	control	Treatment	control	Treatment	control	Treatment
17.24	16.39	22.22	14.93	7.69	15.38	13.33	4.26	3.64	8.20
25.64	37.04	11.36	33.33	71.43	2.84	7.35	0.31	4.67	83.33
32.26	33.33	100.00	50.00	6.54	24.39	4.18	1.16	35.71	9.01

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
sample1	2	33.63	16.82	0.36
sample2	2	62.68	31.34	64.93
sample3	2	65.59	32.80	0.58
control	3	75.14	25.05	56.64
treatment	3	86.76	28.92	121.14

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
sample	312.20	2	156.10	7.20	0.12	19.00
control : treatment at 0 day	22.52	1	22.52	1.04	0.42	18.51
Error	43.36	2	21.68			
Total	378.08	5				

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
sample1	2	37.15	18.57	26.62
sample2	2	44.70	22.35	241.33
sample3	2	150.00	75.00	1250.00
control	3	133.59	44.53	2337.28
treatment	3	98.26	32.75	307.81

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
sample	3980.23	2	1990.12	3.04	0.25	19.00
control : treatment 15 day	208.00	1	208.00	0.32	0.63	18.51
Error	1309.95	2	654.98			
Total	5498.19	5				

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Sample1	2	23.08	11.54	29.59
Sample2	2	74.27	37.13	2352.13
Sample3	2	30.93	15.46	159.39
control	3	85.66	28.55	1379.12
treatment	3	42.62	14.21	117.14

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
sample	760.15	2	380.08	0.34	0.75	19.00
control : treatment 30 day	308.76	1	308.76	0.28	0.65	18.51
Error	2232.35	2	1116.18			
Total	3301.26	5				

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	2	17.59	8.79	41.21
Row 2	2	7.66	3.83	24.82
Row 3	2	5.35	2.67	4.56
Column 1	3	24.87	8.29	21.59
Column 2	3	5.73	1.91	4.31

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
sample	42.29	2	21.14	4.45	0.18	19.00
control : treatment 45 day	61.08	1	61.08	12.85	0.07	18.51
Error	9.51	2	4.75			
Total	112.87	5				

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
sample1	2	11.83	5.92	10.40
sample2	2	88.01	44.00	3093.73
sample3	2	44.72	22.36	356.59
control	3	44.02	14.67	332.27
treatment	3	100.54	33.51	1861.71

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
sample	1459.59	2	729.79	0.50	0.67	19.00
control : treatment 60 day	532.33	1	532.33	0.36	0.61	18.51
Error	2928.38	2	1464.19			
Total	4920.30	5				

ค่าทางสถิติการวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ในตะกอนชีวภาพการทดลองส่วนที่ 4

One way: Carbon

Descriptives

carbon

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Between-Component Variance
				Lower Bound	Upper Bound	
Model	Fixed Effects	.25073	.05118	33.0753	33.2922	9.31184
	Random Effects		1.08009	30.6297	35.7378	

Test of Homogeneity of Variances

carbon

Levene Statistic	df 1	df 2	Sig.
1.874	7	16	.141

ANOVA

carbon

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	195.989	7	27.998	445.361	.000
Within Groups	1.006	16	.063		
Total	196.995	23			

carbon

treat	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	
Duncan ^a	452	3	30.3500					
	451	3	30.6467					
	602	3		31.1833				
	302	3			31.7567			
	601	3				33.1833		
	301	3				33.4567		
	152	3					35.3967	
	151	3						39.4967
Sig.			.167	1.000	1.000	.201	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: carbon

	(I) treat	(J) treat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	151	152	4.10000*	.20472	.000	3.6660	4.5340
		301	6.04000*	.20472	.000	5.6060	6.4740
		302	7.74000*	.20472	.000	7.3060	8.1740
		451	8.85000*	.20472	.000	8.4160	9.2840
		452	9.14667*	.20472	.000	8.7127	9.5807
		601	6.31333*	.20472	.000	5.8793	6.7473
		602	8.31333*	.20472	.000	7.8793	8.7473
	152	151	-4.10000*	.20472	.000	-4.5340	-3.6660
		301	1.94000*	.20472	.000	1.5060	2.3740
		302	3.64000*	.20472	.000	3.2060	4.0740
		451	4.75000*	.20472	.000	4.3160	5.1840
		452	5.04667*	.20472	.000	4.6127	5.4807
		601	2.21333*	.20472	.000	1.7793	2.6473
		602	4.21333*	.20472	.000	3.7793	4.6473
	301	151	-6.04000*	.20472	.000	-6.4740	-5.6060
		152	-1.94000*	.20472	.000	-2.3740	-1.5060
		302	1.70000*	.20472	.000	1.2660	2.1340
		451	2.81000*	.20472	.000	2.3760	3.2440
		452	3.10667*	.20472	.000	2.6727	3.5407
		601	.27333	.20472	.201	-.1607	.7073
		602	2.27333*	.20472	.000	1.8393	2.7073
	302	151	-7.74000*	.20472	.000	-8.1740	-7.3060
		152	-3.64000*	.20472	.000	-4.0740	-3.2060
		301	-1.70000*	.20472	.000	-2.1340	-1.2660
		451	1.11000*	.20472	.000	.6760	1.5440
		452	1.40667*	.20472	.000	.9727	1.8407
		601	-1.42667*	.20472	.000	-1.8607	-.9927
		602	.57333*	.20472	.013	.1393	1.0073
451	151	-8.85000*	.20472	.000	-9.2840	-8.4160	
	152	-4.75000*	.20472	.000	-5.1840	-4.3160	
	301	-2.81000*	.20472	.000	-3.2440	-2.3760	
	302	-1.11000*	.20472	.000	-1.5440	-.6760	
	452	.29667	.20472	.167	-.1373	.7307	
	601	-2.53667*	.20472	.000	-2.9707	-2.1027	
	602	-.53667*	.20472	.019	-.9707	-.1027	
452	151	-9.14667*	.20472	.000	-9.5807	-8.7127	
	152	-5.04667*	.20472	.000	-5.4807	-4.6127	
	301	-3.10667*	.20472	.000	-3.5407	-2.6727	
	302	-1.40667*	.20472	.000	-1.8407	-.9727	
	451	-.29667	.20472	.167	-.7307	.1373	
	601	-2.83333*	.20472	.000	-3.2673	-2.3993	
	602	-.83333*	.20472	.001	-1.2673	-.3993	
601	151	-6.31333*	.20472	.000	-6.7473	-5.8793	
	152	-2.21333*	.20472	.000	-2.6473	-1.7793	
	301	-.27333	.20472	.201	-.7073	.1607	
	302	1.42667*	.20472	.000	.9927	1.8607	
	451	2.53667*	.20472	.000	2.1027	2.9707	
	452	2.83333*	.20472	.000	2.3993	3.2673	
	602	2.00000*	.20472	.000	1.5660	2.4340	
602	151	-8.31333*	.20472	.000	-8.7473	-7.8793	
	152	-4.21333*	.20472	.000	-4.6473	-3.7793	
	301	-2.27333*	.20472	.000	-2.7073	-1.8393	
	302	-.57333*	.20472	.013	-1.0073	-.1393	
	451	.53667*	.20472	.019	.1027	.9707	
	452	.83333*	.20472	.001	.3993	1.2673	
	601	-2.00000*	.20472	.000	-2.4340	-1.5660	

*. The mean difference is significant at the .05 level.

One way: hydrogen

Test of Homogeneity of Variances

hydrogen

Levene Statistic	df 1	df 2	Sig.
1.023	7	16	.452

ANOVA

hydrogen

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.474	7	1.068	24.350	.000
Within Groups	.702	16	.044		
Total	8.176	23			

hydrogen

treat	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
Duncan ^a 452.00	3	4.3633			
602.00	3	4.4900	4.4900		
451.00	3	4.5400	4.5400		
302.00	3		4.8633		
601.00	3			5.3533	
301.00	3			5.4733	5.4733
151.00	3				5.7833
152.00	3				5.8333
Sig.		.342	.054	.493	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: hydrogen

	(I) treat	(J) treat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	151.00	152.00	-.05000	.17098	.774	-.4125	.3125
		301.00	.31000	.17098	.089	-.0525	.6725
		302.00	.92000*	.17098	.000	.5575	1.2825
		451.00	1.24333*	.17098	.000	.8809	1.6058
		452.00	1.42000*	.17098	.000	1.0575	1.7825
		601.00	.43000*	.17098	.023	.0675	.7925
		602.00	1.29333*	.17098	.000	.9309	1.6558
	152.00	151.00	.05000	.17098	.774	-.3125	.4125
		301.00	.36000	.17098	.051	-.0025	.7225
		302.00	.97000*	.17098	.000	.6075	1.3325
		451.00	1.29333*	.17098	.000	.9309	1.6558
		452.00	1.47000*	.17098	.000	1.1075	1.8325
		601.00	.48000*	.17098	.013	.1175	.8425
		602.00	1.34333*	.17098	.000	.9809	1.7058
	301.00	151.00	-.31000	.17098	.089	-.6725	.0525
		152.00	-.36000	.17098	.051	-.7225	.0025
		302.00	.61000*	.17098	.003	.2475	.9725
		451.00	.93333*	.17098	.000	.5709	1.2958
		452.00	1.11000*	.17098	.000	.7475	1.4725
		601.00	.12000	.17098	.493	-.2425	.4825
		602.00	.98333*	.17098	.000	.6209	1.3458
	302.00	151.00	-.92000*	.17098	.000	-1.2825	-.5575
		152.00	-.97000*	.17098	.000	-1.3325	-.6075
		301.00	-.61000*	.17098	.003	-.9725	-.2475
		451.00	.32333	.17098	.077	-.0391	.6858
		452.00	.50000*	.17098	.010	.1375	.8625
		601.00	-.49000*	.17098	.011	-.8525	-.1275
		602.00	.37333*	.17098	.044	.0109	.7358
	451.00	151.00	-1.24333*	.17098	.000	-1.6058	-.8809
		152.00	-1.29333*	.17098	.000	-1.6558	-.9309
		301.00	-.93333*	.17098	.000	-1.2958	-.5709
		302.00	-.32333	.17098	.077	-.6858	.0391
		452.00	.17667	.17098	.317	-.1858	.5391
		601.00	-.81333*	.17098	.000	-1.1758	-.4509
		602.00	.05000	.17098	.774	-.3125	.4125
	452.00	151.00	-1.42000*	.17098	.000	-1.7825	-1.0575
		152.00	-1.47000*	.17098	.000	-1.8325	-1.1075
		301.00	-1.11000*	.17098	.000	-1.4725	-.7475
		302.00	-.50000*	.17098	.010	-.8625	-.1375
		451.00	-.17667	.17098	.317	-.5391	.1858
		601.00	-.99000*	.17098	.000	-1.3525	-.6275
		602.00	-.12667	.17098	.470	-.4891	.2358
	601.00	151.00	-.43000*	.17098	.023	-.7925	-.0675
		152.00	-.48000*	.17098	.013	-.8425	-.1175
		301.00	-.12000	.17098	.493	-.4825	.2425
		302.00	.49000*	.17098	.011	.1275	.8525
		451.00	.81333*	.17098	.000	.4509	1.1758
		452.00	.99000*	.17098	.000	.6275	1.3525
		602.00	.86333*	.17098	.000	.5009	1.2258
	602.00	151.00	-1.29333*	.17098	.000	-1.6558	-.9309
		152.00	-1.34333*	.17098	.000	-1.7058	-.9809
		301.00	-.98333*	.17098	.000	-1.3458	-.6209
		302.00	-.37333*	.17098	.044	-.7358	-.0109
		451.00	-.05000	.17098	.774	-.4125	.3125
		452.00	.12667	.17098	.470	-.2358	.4891
		601.00	-.86333*	.17098	.000	-1.2258	-.5009

*. The mean difference is significant at the .05 level.

One way: nitrogen

Test of Homogeneity of Variances

nitrogen

Levene Statistic	df 1	df 2	Sig.
2.847	7	16	.039

ANOVA

nitrogen

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.869	7	.124	27.683	.000
Within Groups	.072	16	.004		
Total	.941	23			

nitrogen

treat	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	
Duncan ^a	602.00	3	3.4967			
	452.00	3	3.5900	3.5900		
	302.00	3	3.6100	3.6100		
	601.00	3		3.6700		
	151.00	3			3.9067	
	451.00	3			3.9167	
	152.00	3			3.9267	
	301.00	3				4.0567
Sig.			.066	.184	.734	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: nitrogen

	(I) treat	(J) treat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	151.00	152.00	-.02000	.05467	.719	-.1359	.0959
		301.00	-.15000*	.05467	.014	-.2659	-.0341
		302.00	.29667*	.05467	.000	.1808	.4126
		451.00	-.01000	.05467	.857	-.1259	.1059
		452.00	.31667*	.05467	.000	.2008	.4326
		601.00	.23667*	.05467	.001	.1208	.3526
		602.00	.41000*	.05467	.000	.2941	.5259
	152.00	151.00	.02000	.05467	.719	-.0959	.1359
		301.00	-.13000*	.05467	.030	-.2459	-.0141
		302.00	.31667*	.05467	.000	.2008	.4326
		451.00	.01000	.05467	.857	-.1059	.1259
		452.00	.33667*	.05467	.000	.2208	.4526
		601.00	.25667*	.05467	.000	.1408	.3726
		602.00	.43000*	.05467	.000	.3141	.5459
	301.00	151.00	.15000*	.05467	.014	.0341	.2659
		152.00	.13000*	.05467	.030	.0141	.2459
		302.00	.44667*	.05467	.000	.3308	.5626
		451.00	.14000*	.05467	.021	.0241	.2559
		452.00	.46667*	.05467	.000	.3508	.5826
		601.00	.38667*	.05467	.000	.2708	.5026
		602.00	.56000*	.05467	.000	.4441	.6759
	302.00	151.00	-.29667*	.05467	.000	-.4126	-.1808
		152.00	-.31667*	.05467	.000	-.4326	-.2008
		301.00	-.44667*	.05467	.000	-.5626	-.3308
		451.00	-.30667*	.05467	.000	-.4226	-.1908
		452.00	.02000	.05467	.719	-.0959	.1359
		601.00	-.06000	.05467	.289	-.1759	.0559
		602.00	.11333	.05467	.055	-.0026	.2292
451.00	151.00	.01000	.05467	.857	-.1059	.1259	
	152.00	-.01000	.05467	.857	-.1259	.1059	
	301.00	-.14000*	.05467	.021	-.2559	-.0241	
	302.00	.30667*	.05467	.000	.1908	.4226	
	452.00	.32667*	.05467	.000	.2108	.4426	
	601.00	.24667*	.05467	.000	.1308	.3626	
	602.00	.42000*	.05467	.000	.3041	.5359	
452.00	151.00	-.31667*	.05467	.000	-.4326	-.2008	
	152.00	-.33667*	.05467	.000	-.4526	-.2208	
	301.00	-.46667*	.05467	.000	-.5826	-.3508	
	302.00	-.02000	.05467	.719	-.1359	.0959	
	451.00	-.32667*	.05467	.000	-.4426	-.2108	
	601.00	-.08000	.05467	.163	-.1959	.0359	
	602.00	.09333	.05467	.107	-.0226	.2092	
601.00	151.00	-.23667*	.05467	.001	-.3526	-.1208	
	152.00	-.25667*	.05467	.000	-.3726	-.1408	
	301.00	-.38667*	.05467	.000	-.5026	-.2708	
	302.00	.06000	.05467	.289	-.0559	.1759	
	451.00	-.24667*	.05467	.000	-.3626	-.1308	
	452.00	.08000	.05467	.163	-.0359	.1959	
	602.00	.17333*	.05467	.006	.0574	.2892	
602.00	151.00	-.41000*	.05467	.000	-.5259	-.2941	
	152.00	-.43000*	.05467	.000	-.5459	-.3141	
	301.00	-.56000*	.05467	.000	-.6759	-.4441	
	302.00	-.11333	.05467	.055	-.2292	.0026	
	451.00	-.42000*	.05467	.000	-.5359	-.3041	
	452.00	-.09333	.05467	.107	-.2092	.0226	
	601.00	-.17333*	.05467	.006	-.2892	-.0574	

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพรรณทภรณ์ สิทธิพลางกูร เกิดวันที่ 4 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2531 ที่โรงพยาบาลราชวิถี จ.กรุงเทพมหานคร ปัจจุบันอายุ 25 ปี จบการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนไตรราชวิทยา จ.พระนครศรีอยุธยา จบการศึกษามัธยมศึกษาปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา จ.กรุงเทพมหานคร และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

พรรณทภรณ์ สิทธิพลางกูร, วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี และ กษิติศ หนูทอง. การควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนียโดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ.การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9, หน้าที่ 317. 6-7 ธันวาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

พรรณทภรณ์ สิทธิพลางกูร, วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี, สรวิศ เผ่าทองสุข และ กษิติศ หนูทอง. ผลของตะกอนชีวภาพต่อการควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของปลาไนในการเลี้ยงแบบปิด.การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, หน้า 93 – 94. 27 – 29 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออร์คิด จังหวัดขอนแก่น. (นำเสนอผลงานแบบบรรยายมีเรื่องเต็ม)