บทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

นายวันพระ นาคฤทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ROLES OF THE SEAWEED *Caulerpa lentillifera* FOR TREATMENT OF NITROGEN COMPOUNDS IN AQUACULTURE SYSTEMS

Mr. Wanphra Nakarit

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
โดย	นายวันพระ นาคฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี)

……อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์)

วันพระ นาคฤทธิ์ : บทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. (Roles of the Seaweed *Caulerpa lentillifera* for Treatment of Nitrogen Compounds in Aquaculture Systems) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข, 130 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบต่างๆ โดยทดลองเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยในชุดการทดลองที่ไม่มีชั้นดินและมีชั้นดินสูงจากก้นถัง 5 ซม. และน้ำทะเล 30 พีพีที ปริมาตร 25 ลิตร ที่มีการเติมอาหารปลานิลบดปริมาณ 0.23 กรัม เพื่อเป็นแหล่งสารอินทรีย์ตลอดการทดลอง 61 วัน ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพบว่าถังชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง และถังชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยจะเกิดการย่อยสลายอาหารปลานิลและได้ผลผลิตเป็นแอมโมเนีย โดยพบการสะสมของแอมโมเนียในน้ำในวันที่ 8 จากนั้นพบการลดลงของไนไทรต์หลังวันที่ 40 โดยผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันทำให้มีไนเทรตสะสม ส่วนถังที่มีสาหร่ายและสภาวะกลางแจ้งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทยและทำให้สาหร่ายช่อพริกไทยมีบทบาทสำคัญควบคุมคุณภาพน้ำโดยการนำเข้าสู่เซลล์มากกว่าถังที่อยู่ในสภาวะแสงน้อย สำหรับถังที่มีชั้นดินพบไนเทรตสะสมตลอดการทดลองเนื่องจากมีกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในชั้นดิน แสดงให้เห็นว่าในถังที่มีดินแบคทีเรียที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีบทบาทในการควบคุมคุณภาพน้ำ สำหรับการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทยและประเมินประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำ พบว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง พบว่ายังมีไนโตรเจนที่ไม่สามารถระบุได้ถึงร้อยละ 44 และสภาวะแสงน้อยมีไนโตรเจนสะสมในน้ำถึงร้อยละ 52 ส่วนในถังมีสาหร่ายและสภาวะกลางแจ้ง พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบเลี้ยงปลากะพงขาวได้เพียงร้อยละ 3 โดยสาหร่ายไม่สามารถรองรับการสะสมของไนโตรเจนได้ แม้ว่าแสงจะมีผลทำให้สาหร่ายช่อพริกไทยมีบทบาทในการบำบัดคุณภาพน้ำ ส่วนในถังที่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง พบว่าสาหร่ายสามารถกำจัดไนโตรเจนได้เพียงร้อยละ 7 แต่เนื่องจากมีชั้นดินทำให้มีปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตต่ำ สำหรับถังที่มีชั้นดินพบว่ามีการกำจัดไนโตรเจนกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน แสดงให้เห็นว่าการที่มีชั้นดินแบคทีเรียที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553 .....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5070610721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : *Caulerpa lentillifera* / AQUACULTURE SYSTEM / NUTRIENT UPTAKE BY PLANT / NITROGEN BALANCE

WANPHRA NAKARIT : ROLES OF THE SEAWEED *Caulerpa lentillifera* FOR TREATMENT OF NITROGEN COMPOUNDS IN AQUACULTURE SYSTEMS. ADVISOR : ASST. PROF. WIBOONLUK PUNGRASMI; THESIS CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 130 pp.

This study was investigated the roles of the seaweed *C. lentillifera* for treatment of inorganic nitrogen compounds in different kinds of aquaculture system. The seaweed was cultured in a plastic container with no soil and contained with soil in which occupied internally by 5 cm thickness of soil and filled with 30 ppt seawater by volume of 25 L. Powdered fish feed was added into all plastic containers as the organic carbon source through the 61 days of the experimental operation. The water quality was evaluated and revealed the same results for the both control operation conditions of outdoor without seaweed and soil and indoor without seaweed and soil. The amount of ammonia quantities in the water was detected from the result of powdered fish feed decomposition by ammonification process. Accordingly, it significantly led the accumulation of ammonia in the water at the 8^{th} days of the experiment. Then the amount of nitrite concentration was rarely detected after the 40^{th} days after that it was turned to be nitrate through nitrification process. In outdoor condition with seaweed, the amount of ammonia quantities founded in water illustrated the major role of seaweed in nitrogen uptake rather than the indoor condition. In the container which contained with soil, the accumulation of nitrate was found because of nitrogen conversion through nitrification and denitrification processes by bacterial culture in sediment. The results clearly illustrated that the natural bacterial culture in soil has the major role in biological nitrogen conversion in aquaculture system. Roles of using *C. lentillifera* for treatment in *Lates calcarifer* culture tanks showed that, In condition control with seaweed and soil and outdoor. This could provide water quality with low ammonia and without the accumulation of nitrite, nitrate and phosphate in the system.

Department : Environmental Engineering Student's signature……

Field of study: Environmental Engineering Advisor's signature……

Academic year : 2010 Co-Advisor's signature……

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำปรึกษา แนะแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ และศาสตราจารย์ กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ ที่ได้ให้คำปรึกษาจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ขอขอบพระคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่สำหรับทำการวิจัย และตลอดจนให้ความกรุณาสำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และตลอดจนคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ

ขอขอบคุณคุณบรรจง นิสภวานิตย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สาหร่ายช่อพริกไทยมาใช้ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และดูแลกันและกันในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 รูปแบบของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 4

2.1.1 ระบบเปิด……..... 4

2.2.2 ระบบแบบกึ่งเปิด ……..... 5

2.2.3 ระบบปิด……..... 5

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ..... 6

2.2.1 แอมโมเนีย……..... 8

2.2.2 ไนไทรต์……..... 7

2.2.3 ไนเทรต……..... 7

2.2.4 ความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช……..... 8

2.2.5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ……..... 8

2.2.6 อุณหภูมิ……..... 9

2.2.7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์…..... 9

2.3 ชนิดของสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำ ……..... 9

2.3.1 สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน..... 10

หน้า

2.3.2 สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน 10
2.3.3 สารประกอบไนไทรต์..... 10
2.3.4 สารประกอบไนเทรต 10
2.4 การหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ..... 10
2.4.1 แอมโมนิฟิเคชัน..... 11
2.4.2 ไนตริฟิเคชัน 11
2.4.3 ดีไนตริฟิเคชัน 12
2.5 สมดุลของไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ..... 13
2.6 ชีววิทยาของสาหร่าย..... 14
2.6.1 ชีววิทยาของสาหร่ายช่อพริกไทย..... 15
2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย..... 16
2.6.3 การใช้สารประกอบไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย..... 18
2.7 ชีววิทยาของปลากะพงขาว..... 18
2.8 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 20
2.8.1 การศึกษาการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายทะเล..... 20
2.8.2 การศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ..... 21
2.8.3 การศึกษาการใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมคุณภาพน้ำ
ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ..... 23
2.8.4 การศึกษาสมดุลไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ..... 24

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย..... 28
3.1 แผนการทดลอง..... 28
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี..... 31
3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง..... 31
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ..... 31
3.2.3 สารเคมี..... 32
3.3 การเตรียมระบบการทดลอง..... 33
3.3.1 การเตรียมสาหร่าย..... 33

หน้า

3.3.2 การเตรียมสัตว์น้ำ…..... 33
3.3.3 การเตรียมถังทดลอง……..... 47
3.4 การดำเนินการทดลอง..... 33

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง……..... 44
4.1 บทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ..... 44
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ..... 44
4.1.2 การเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย..... 52
4.1.3 สภาพแวดล้อมในการทดลอง..... 54
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อทำการทดลองเลี้ยงร่วมกับปลากะพงขาวในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ..... 57
4..2.1 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ..... 59
4.2.2 การเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย..... 67
4.2.3 สภาพแวดล้อมในการทดลอง..... 69
4.2.4 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลากะพงขาว..... 72
4.3 การศึกษาสมดุลไนโตรเจนในการทดลองช่วงที่ 1 และ 2..... 74

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอ..... 77

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 83
6.1 สรุปผลการวิจัย..... 83
6.2 ข้อเสนอแนะ..... 84

รายการอ้างอิง..... 87
ภาคผนวก..... 91

หน้า

ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี..... 93
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองช่วงที่ 1..... 99
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองช่วงที่ 2……..... 110

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 130

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ	8
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 1…….....	28
3.2	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2…….....	30
3.3	สรุปชุดการทดลองทั้งหมดที่ทำการศึกษา…….....	36
3.4	สรุปตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินสมดุลไนโตรเจน ในการทดลองช่วงที่	42
3.5	พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ความถี่ และวิธีการวิเคราะห์สำหรับการ ตรวจวัดคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว…….....	43
4.1	ผลการตรวจวัดการเติบโตสาหร่ายโดยวิธีชั่งน้ำหนัก (กรัม/ถัง) ระยะเวลาการทดลอง 61 วัน….....	53
4.2	ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) ระยะเวลา การทดลอง 61 วัน…….....	56
4.3	ผลการตรวจวัดการเติบโตสาหร่ายช่อพริกไทยโดยวิธีชั่งน้ำหนักเปียก (กรัม/ถัง) ระยะเวลาการทดลอง 62 วัน เมื่อทำการทดลองเลี้ยงร่วมกับปลากะพงขาว.....	68
4.4	ผลการตรวจวัดความเข้มแสง (ลักซ์) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และปริมาณ ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.) ระยะเวลาการทดลอง 62 วัน.....	70
4.5	ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ระยะเวลาการทดลอง 62 วัน.....	71
4.6	การเลี้ยงปลากะพงขาวในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ (8 ชุดการทดลอง).....	73
4.7	ตารางสรุปผลสมดุลไนโตรเจนของการทดลองช่วงที่ 1 เมื่อทำการทดลอง ในสภาวะการทดลอง 8 ชุด.....	77
4.8	ตารางสรุปผลสมดุลไนโตรเจนของการทดลองช่วงที่ 2 เมื่อทำการทดลองใน สภาวะการทดลอง 8 ชุด……	78

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบเปิด.....	4
2.2	ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบกึ่งเปิด.....	5
2.3	ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบปิดหรือระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำ....	6
2.4	แสดงการหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ…….....	13
2.5	การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ…….....	13
2.6	ลักษณะของสาหร่ายช่อพริกไทย *(Caulerpa lentillifera*)…….....	15
2.7	ลักษณะของปลากะพงขาว *Lates calcarifer* (Bloch)…….....	19
3.1	แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 1.....	27
3.2	แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 2…….....	29
3.3	(ก) ลักษณะของสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) ที่ใช้ในการทดลอง .และ(ข) การเก็บรักษาสาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อใช้ในการทดลอง	33
3.4	ลูกปลากะพงขาวขนาดประมาณ 2 นิ้ว ที่ใช้ในการทดลอง…….....	34
3.5	การเตรียมชั้นดินในถังทลอง (ก) และการเปลี่ยนถ่ายน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง (ข).....	35
3.6	การบรรจุสาหร่ายช่อพริกไทยในตาข่ายพลาสติกภายในถังทดลอง (ก) และตัวอย่างถังทดลองที่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติก (ข)…….....	35
3.7	ระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1 (ตัวอย่างถังทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทยในตาข่ายพลาสติก และไม่มีดิน)…….....	37
3.8	(ก) ชุดการทดลองที่ตั้งอยู่กลางแจ้งและ (ข) ชุดการทดลองในโรงเรือน.....	37
3.9	(ก) ระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 (ตัวอย่างถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีสาหร่ายในตาข่าพลาสติก และไม่มีดิน) และ (ข) ระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 (ตัวอย่างถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีสาหร่ายในตาข่าพลาสติก และมีชั้นดิน).....	39
3.10	ตัวอย่างถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2.....	40
3.11	(ก) อุปกรณ์ที่ใช้วัดความยาวปลากะพงขาว (ข) การชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง.....	40
4.1	ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 1 (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ.....	45

รูปที่ หน้า

4.2 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 2 (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 46

4.3 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 3 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 47

4.4 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 4 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 48

4.5 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 5 (มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 49

4.6 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 6 (มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 50

4.7 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 7 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 51

4.8 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 8 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 52

4.9 (ก) การเก็บเกี่ยวสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก และ (ข) ผลผลิตสาหร่ายช่อพริกไทยในชุดการทดลองที่ได้รับแสง..... 53

4.10 ปริมาณความเข้มแสงที่แตกต่างกันที่เวลา 13.00 น. ในแต่ละวันตลอดการทดลอง เปรียบเทียบระหว่างสภาวะกลางแจ้ง และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน..... 54

รูปที่ หน้า

4.11 อุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยตรวจวัดที่เวลา 13.00 น. ในแต่ละวัน ตลอดการทดลอง เปรียบเทียบระหว่างสภาวะกลางแจ้ง และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน..... 55

4.12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 1 3 5 และ 7) และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 2 4 6 และ 8)..... 56

4.13 แพลงก์ตอนพืชที่ยึดเกาะบริเวณขอบผิวของถัง (ก) และแพลงก์ตอนพืช ที่ยึดเกาะกับตาข่ายพลาสติกในชุดการทดลองที่ได้รับแสง (ข)..... 57

4.14 ภายถ่ายภายในถังของชุดการทดลองที่มีสภาวะกลางแจ้ง (ก) ระบบการ ทดลองในชุดการทดลองที่มีดิน (ข) แพลงก์ตอนพืชที่เน่าเปื่อยตรงบริเวณ ผิวหน้าของชั้นดิน (ค) แพลงก์ตอนพืชสีเขียวที่ยึดเกาะผิวถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ง) ลักษณะของตะกอนที่พบในถังที่ไม่มีดิน..... 58

4.15 ภายถ่ายภายในถังของชุดการทดลองที่มีสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ก) ระบบการทดลองภายในถังที่มีดิน ไม่มีสาหร่าย และสภาวะ แสงน้อยโรงเรือน (ข) ตะกอนที่เกิดขึ้นภายในถังที่ไม่มีดิน..... 58

4.16 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 1 (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลา กะพงขาวลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออก จากระบบ..... 59

4.17 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 2 (ไม่มีสาหร่ายไม่มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลอง เลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ ระเหยออกจากระบบ..... 60

4.18 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 3 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ…. 61

รูปที่ หน้า

4.19 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 4 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 62

4.20 (ก) เศษอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เน่าเสียจมอยู่ที่หน้าชั้นดิน และ (ข) ปลากะพงขาวที่ตายอยู่ก้นถังในถังที่มีดิน..... 63

4.21 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 5 (มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ… 64

4.22 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 6 (มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ..... 65

4.23 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 7 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ)..... 66

4.24 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 8 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ)..... 67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากความต้องการผลผลิตสัตว์น้ำเพื่อการบริโภคมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นและมีความคุ้มทุน ซึ่งระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบในปัจจุบัน ได้แก่ (1) ระบบบ่อดินกลางแจ้ง ซึ่งพบได้ทั่วไป (2) ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง เช่น บ่อซีเมนต์หรือบ่อดินที่ปูพื้นด้วยพลาสติกซึ่งไม่มีดินภายในบ่อที่ตั้งอยู่กลางแจ้ง และ (3) ระบบบ่อภายในโรงเรือนที่เป็นบ่อหรือถังที่ไม่มีดินแต่มีหลังคาปกคลุมทำให้ได้รับแสงน้อยและเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ โดยแต่เดิมรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่นิยมทำการเลี้ยงแบบธรรมชาติ หรือใช้ระบบบ่อดินกลางแจ้ง (Extensive aquaculture systems) ที่พื้นบ่อจะเป็นพื้นดินซึ่งอาศัยกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่การเลี้ยงรูปแบบนี้ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำไม่แน่นอน และยังก่อให้เกิดปัญหาสภาพดิน ตลอดจนปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำ โดยเฉพาะน้ำเสียที่ปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต่อมาจึงได้มีการปรับปรุงรูปแบบการเลี้ยงเป็นแบบกึ่งพัฒนาหรือบ่อไร้ดินกลางแจ้ง (Semi-intensive aquaculture systems)โดยใช้บ่อซีเมนต์หรือบ่อดินที่ปูพื้นด้วยพลาสติกซึ่งไม่มีดินที่พื้นบ่อ มีการปล่อยพันธุ์สัตว์น้ำเพิ่มเติมขึ้นและให้อาหารเสริม จนในปัจจุบันรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงเป็นแบบพัฒนาหรือเป็นบ่อภายในโรงเรือน (Intensive aquaculture systems) โดยทำการเลี้ยงในบ่อซีเมนต์หรือบ่อดินปูด้วยผ้าพลาสติกไม่มีดินที่พื้นบ่อและตั้งอยู่ภายในโรงเรือนเท่านั้นทำให้ได้รับแสงน้อย ทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นมีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นหลักมีการควบคุมคุณภาพของน้ำและคุณภาพอาหาร ซึ่งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบนี้ให้ผลผลิตที่สูงสุดและปัจจุบันได้รับความนิยมจากผู้เลี้ยงสูงมาก แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารสำเร็จรูปตลอดระยะเวลาการเลี้ยง จึงต้องมีการบำบัดน้ำออกจากบ่อเพื่อลดปัญหาคุณภาพน้ำ โดยน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบทั้งในรูปสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในปริมาณสูงมาก ซึ่งแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการประยุกต์ใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดร่วมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Recirculating aquaculture system ; RAS) โดยระบบนี้จะไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่จะทำการผันน้ำเข้าสู่หน่วยบำบัดทางชีวภาพเพื่อบำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพดีก่อนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้ง

จากแนวคิดที่ว่าสาหร่ายสามารถนำสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงได้มีการนำพืชน้ำชนิดต่างๆ รวมถึงสาหร่ายทะเลมาใช้เพื่อเสริมประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำ เป็นการลดต้นทุนในการบำบัด และสามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้สาหร่ายชนิด *Caulerpa lentillifera* หรือที่เรียกว่าสาหร่ายช่อพริกไทยมาใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลา ซึ่งสามารถช่วยบำบัดและสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ แต่ในปัจจุบันงานวิจัยยังขาดข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลชนิดนี้กับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละรูปแบบ ซึ่งมีกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในบ่อแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและบทบาทที่แท้จริงของการใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลา ซึ่งจะทำการทดลองทั้ง 3 รูปแบบ คือ (1) ถังที่มีดิน (2) ถังไร้ดินกลางแจ้ง และ (3) ถังภายในโรงเรือนที่ไม่มีดิน โดยตรวจวัดความสามารถในการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ไนไทรต์ และไนเทรตเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายทะเล และคำนวณค่าสมดุลของไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละรูปแบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงแต่ละรูปแบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยต่อกระบวนการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ ได้แก่ ถังที่มีดิน ถังไร้ดินกลางแจ้ง และถังภายในโรงเรือนที่ไม่มีดิน

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากถังเลี้ยงปลาภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับทดลอง (Pilot scale) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง โดยการทดลองช่วงที่ 1 เป็นการทดลองแบบแบทช์ (Batch) เพื่อศึกษาบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบทดลอง การทดลองช่วงที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวรูปแบบต่างๆ โดยจะทำการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) ดำเนินการ ณ อุณหภูมิห้อง ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกำหนดขอบเขตต่างๆ ของการวิจัยดังนี้

1.3.1 สาหร่ายที่ใช้ในการทดลองเป็นสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) จากบ่อบำบัดน้ำทิ้งพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำของบรรจงฟาร์ม อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา

1.3.2 น้ำทะเลที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำทะเลผ่านการฆ่าเชื้อที่มีค่าความเค็มเท่ากับ 25 พีพีที

1.3.3 สัตว์น้ำที่ใช้ในระบบทดลอง คือ ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) โดยจะทำการเพาะเลี้ยงปลาน้ำหนัก 0.3 กก./ลบ.ม. ของปริมาณน้ำในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

1.3.4 แหล่งของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำมาจากอาหารปลา โดยการทดลองช่วงที่ 1 จะดำเนินการในถังเพาะเลี้ยงที่ไม่มีปลาแต่ใส่อาหารปลาลงในบ่อเทียบเท่ากับปลาที่มีในบ่อเพาะเลี้ยง 0.3 กก./ลบ.ม. โดยใส่อาหารปลาทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง 2 สัปดาห์ และในการทดลองช่วงที่ 2 จะเป็นการเลี้ยงปลาด้วยความหนาแน่น 0.3 กก./ลบ.ม. และให้อาหารคิดเป็นร้อยละ 5 ของน้ำหนักปลาตลอดระยะเวลา 2 เดือน

1.3.5 การทดลองช่วงที่ 1 จะใช้ถังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 83×150×50 ซม. โดยเติมน้ำทะเลความเค็ม 25 พีพีที สูงจากก้นถัง 40 ซม. ส่วนการทดลองช่วงที่ 2 ใช้ถังพลาสติกปริมาตร 130 ลิตร โดยเติมน้ำทะเลความเค็ม 25 พีพีที ปริมาตรน้ำทะเล 80 ลิตร เป็นบ่อเพาะเลี้ยง กลางบ่อเพาะเลี้ยงมีกระชังทำจากตาข่ายพลาสติกขนาด 34x34x34 ซม. เพื่อใส่สาหร่ายช่อพริกไทย ซึ่งทั้งการทดลองช่วงที่ 1 และ 2 จะทำการทดลอง 3 ซ้ำ (รวม 24 ถัง) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 8 สภาวะที่แตกต่างกัน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 : ถังไร้ดิน (ไม่มีสาหร่าย) สภาวะกลางแจ้ง (ชุดควบคุม)
ชุดการทดลองที่ 2 : ถังไร้ดิน (ไม่มีสาหร่าย) สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดควบคุม)
ชุดการทดลองที่ 3 : ถังไร้ดิน (มีสาหร่าย) สภาวะกลางแจ้ง
ชุดการทดลองที่ 4 : ถังไร้ดิน (มีสาหร่าย) สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน
ชุดการทดลองที่ 5 : ถังที่มีดิน (มีสาหร่าย) สภาวะกลางแจ้ง
ชุดการทดลองที่ 6 : ถังที่มีดิน (มีสาหร่าย) สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน
ชุดการทดลองที่ 7 : ถังที่มีดิน (ไม่มีสาหร่าย) สภาวะกลางแจ้ง
ชุดการทดลองที่ 8 : ถังที่มีดิน (ไม่มีสาหร่าย) สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยในการช่วยบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละรูปแบบ

1.4.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อแต่ละรูปแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Hart และ Sullivan, 1993)

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย ทำให้มีการพัฒนารูปแบบของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อให้ได้ผลผลิตสัตว์น้ำปริมาณสูงและมีคุณภาพที่ดีขึ้น สามารถรองรับกับความต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

2.1.1 ระบบเปิด (Open systems)

แต่เดิมรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นการเลี้ยงแบบบ่อธรรมชาติ หรือการเลี้ยงแบบดั้งเดิม (Extensive aquaculture systems) เป็นการเพาะเลี้ยงแบบบ่อดินอยู่กลางแจ้ง ซึ่งจะมีการนำน้ำทะเลที่ใช้สำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากแหล่งธรรมชาติขึ้นมาใช้โดยตรง หรืออาจมีการกรองอย่างง่ายๆ ถูกนำเข้ามาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเมื่อน้ำผ่านระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วจะถูกปล่อยทิ้งออกสู่ธรรมชาติโดยตรง หรืออาจจะมีบ่อพักน้ำเพื่อให้มีกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติช่วยทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น แต่จะไม่มีการนำน้ำนั้นกลับมาใช้ใหม่ บ่อที่ใช้เป็นบ่อดินอยู่กลางแจ้ง พื้นบ่อจะเป็นพื้นดิน การให้อาหารสัตว์น้ำจะไม่มีการให้อาหารสำเร็จรูป ของเสียที่ปล่อยออกมาจากสัตว์น้ำจึงมีไม่มากนัก ซึ่งอาศัยกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ การเพาะเลี้ยงรูปแบบนี้ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำและไม่แน่นอนและยังก่อให้เกิดปัญหาสภาพดิน ปัญหาสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์ทางน้ำ

รูปที่ 2.1 ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบเปิด
(http://www.akublueocean.com/projects_biosa.html)

2.1.2 ระบบแบบกึ่งเปิด (Semi-open systems)

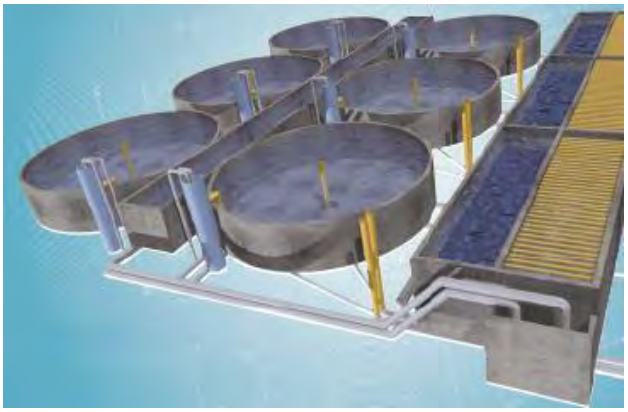
เป็นระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบความหนาแน่นปานกลาง (Semi-intensive aquaculture systems) มีการปล่อยพันธุ์สัตว์น้ำเพิ่มเติมขึ้น และมีการลดปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำลง หรือมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบางช่วงเวลา ซึ่งอาจเรียกว่าเป็นการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบนี้มีการควบคุมคุณภาพน้ำทะเลที่ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถเป็นระบบเปิดและปิดเมื่อน้ำทะเลภายนอกเหมาะสมและไม่เหมาะสม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบกึ่งเปิดจะเอาใจใส่ทุกขั้นตอนการเพาะเลี้ยงทั้งในเรื่องของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ คุณภาพน้ำทะเล ความสะอาดและอื่นๆ บ่อที่ใช้เป็นบ่อซีเมนต์ถังพลาสติก หรือบ่อดินที่ปูพื้นด้วยพลาสติกซึ่งไม่มีดินที่พื้นบ่อเหมือนกับบ่อธรรมชาติ มีการให้อาหารเสริม ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบนี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการเลี้ยงแบบบ่อเปิด เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยกว่า

รูปที่ 2.2 ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบกึ่งเปิด
(http://www.seacase.org/projectsummary.html)

2.1.3 ระบบปิด (Closed or recirculating systems)

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบพัฒนา หรืออาจเรียกว่าเป็นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น (Intensive aquaculture systems) เป็นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบบ่อภายในโรงเรือน ใช้บ่อซีเมนต์ ถังพลาสติก หรือบ่อดินปูด้วยพลาสติก โดยจะอยู่ภายในโรงเรือนเท่านั้นไม่มีดินที่พื้นบ่อและได้รับแสงน้อย มีการปล่อยพันธุ์สัตว์น้ำแบบหนาแน่น ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นหลัก ควบคุมคุณภาพอาหาร และควบคุมคุณภาพของน้ำโดยมีระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดหรือระบบปิด ซึ่งเป็นระบบที่มีการปรับสภาพน้ำที่มีการใช้แล้วในบ่อเพาะเลี้ยงให้มีคุณภาพดีขึ้นแล้วหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากในระบบมีการขับถ่ายของเสียจากสัตว์น้ำและเศษอาหารที่เหลือภายในบ่อเลี้ยงทำให้มีการสะสมของปริมาณแอมโมเนียซึ่งมีพิษต่อสัตว์น้ำและคุณภาพน้ำในระบบแย่ลง แนวทางในการแก้ปัญหามีหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการออกแบบระบบบำบัดโดยใช้เครื่องมือต่างๆ แต่ปัญหาที่

ตามมาก็คือต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก็สูงตามขึ้นมา หรือการบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการใช้สิ่งมีชีวิต เช่น การใช้จุลินทรีย์ สาหร่ายหรือพืชน้ำ ซึ่งก็ล้วนแล้วแต่มีประสิทธิภาพต่อการบำบัดคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นก่อนนำน้ำหมุนเวียนกลับเข้าสู่บ่อเพาะเลี้ยง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบนี้จะให้ผลผลิตที่สูงสุดแต่ก็ยังคงมีต้นทุนระบบที่สูง



รูปที่ 2.3 ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบปิดหรือระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ (http://www.aquamaof.com/category/Recirculation_Systems)

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.2.1 แอมโมเนีย (Ammonia)

สัตว์น้ำเกือบทุกชนิดขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของแอมโมเนีย และในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นก็จะมีการสะสมของปริมาณแอมโมเนียในปริมาณสูง แม้ว่าแอมโมเนียบางส่วนจะสามารถระเหยขึ้นสู่บรรยากาศได้ก็ตาม ขึ้นกับว่าแอมโมเนียอยู่ในรูปใด ซึ่งเมื่อค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้นทำให้อัตราส่วนของแอมโมเนียสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากขึ้น แต่ถ้าค่าพีเอชของน้ำต่ำลงจะทำให้อัตราส่วนของแอมโมเนียมอิออนมากขึ้น ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำลง (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) โดยทั่วไปในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระเพียง 0.2 มก./ล. สามารถเป็นพิษรุนแรงต่อสัตว์น้ำหลายชนิดได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2536) และความเข้มข้นของแอมโมเนียมากกว่า 0.1 มก.แอมโมเนียไนโตรเจน/ล.จะเป็นอันตรายต่อปลา (Van rijn และคณะ, 1990) ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมอิออนที่ต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 มก./ล. นอกจากนี้การให้อาหารสัตว์น้ำในปริมาณมากในบ่อที่มีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นอาจทำให้แอมโมเนียมีปริมาณสูงเกินไป ซึ่งแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในทางอ้อม เช่น ทำให้ปลาไม่สามารถขับถ่ายแอมโมเนียออกจากกระแสเลือดได้ เนื่องจากแอมโมเนียในน้ำมีความเข้มข้น

สูงกว่าแอมโมเนียในเลือดเป็นผลทำให้พีเอชของเลือดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ในตัวปลา และทำให้ปลามีความต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

2.2.2 ไนไทรต์ (Nitrite)

โดยทั่วไปปริมาณไนไทรต์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีไม่สูงมาก เนื่องจากไม่คงตัว และมักเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเทรต แต่ถ้ามีปริมาณของแอมโมเนียในปริมาณที่สูงก็มีโอกาสที่จะเกิดการสะสมตัวของไนไทรต์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ความเป็นพิษของไนไทรต์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากความเข้มข้นของกรดไนทรัส (HNO_2) ที่เกิดจากการแตกตัวของแอมโมเนียโดยแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrosomonas* ซึ่งปริมาณกรดไนทรัสจะขึ้นกับอุณหภูมิ พีเอช และความเค็มของน้ำ โดยเมื่อน้ำมีพีเอชและอุณหภูมิต่ำจะเกิดกรดไนทรัสได้ดี ผลของไนไทรต์ที่มีต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่เฟอรัสอิออน (Fe^{2+}) ซึ่งอยู่ในโมเลกุลฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเลือดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ริกอิออน (Fe^{3+}) ทำให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนไปเป็นเมทฮีโมโกลบิน (Methemoglobin) ส่งผลให้ความสามารถในการรับออกซิเจนได้ต่ำกว่าฮีโมโกลบิน เกิดสภาพที่เลือดมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าปกติ (Hypoxia) หรือมีชื่อเรียกว่า “Brown blood disease” ทำให้สัตว์น้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน โดยปริมาณไนไทรต์ที่สูงเกินกว่า 1 มก./ล. จะเป็นอันตรายต่อปลา และความเป็นพิษของไนไทรต์สามารถยับยั้งได้ด้วยคลอไรด์ในน้ำ โดยในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์สูงจะทำให้ความเป็นพิษของไนไทรต์ต่อสัตว์น้ำค่อนข้างต่ำ ระดับความเป็นพิษของไนไทรต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าพีเอชของน้ำลดลง ดังนั้นการป้องกันปัญหาความเป็นพิษของไนไทรต์สามารถทำได้โดยการควบคุมค่าพีเอชของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้อยู่ในช่วง 7.5-8.5 และจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และการให้อากาศอย่างเพียงพอจึงจะสามารถป้องกันปัญหาที่เกิดจากความเป็นพิษของไนไทรต์ได้ (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกุล, 2547)

2.2.3 ไนเทรต (Nitrate)

ไนเทรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนีย และไนไทรต์ ถือได้ว่าปริมาณไนเทรตมีผลต่อสัตว์น้ำน้อยมาก เนื่องจากในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนไนเทรตสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นไนไทรต์ซึ่งมีผลต่อสัตว์น้ำได้โดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้นหากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเติมออกซิเจนอย่างเพียงพอ ก็จะลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาดังกล่าวนี้ได้ โดยทั่วไปในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะควบคุมระดับความเข้มข้นของไนเทรตไม่ให้เกิน 50 มก./ล. (สรวิศ เผ่าทองศุข และเปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2550) เพราะถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้อาจจะทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียดซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้

2.2.4 ความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช (pH)

ความเป็นกรด-ด่างที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้สัตว์น้ำเกิดการเครียด และมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยทั่วไปค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) โดยถ้าค่าพีเอชสูงหรือต่ำกว่าช่วงนี้จะมีผลทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชจะทำให้สารพิษชนิดอื่นมีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ เช่น เมื่อค่าพีเอชสูงจะทำให้พิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น ส่วนที่พีเอชต่ำจะทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นพิษมากขึ้น เป็นต้น (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537)

2.2.5 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

ออกซิเจนมีความสำคัญมากที่สุดในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ของร่างกาย เนื่องจากออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยทำให้การรักษาปริมาณออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญต่อผลผลิตสัตว์น้ำมาก ในทางปฏิบัติของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรพยายามควบคุมไม่ให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่า 4 มก./ล. (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) ซึ่งในน้ำเค็มมีปริมาณคลอไรด์ในน้ำสูงจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลง ปริมาณออกซิเจนที่น้อยเกินไปจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ แต่ปริมาณของออกซิเจนที่สูงเกินไปก็สามารถก่อให้เกิดโรคในสัตว์น้ำได้เช่นกัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2536)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
<1 มิลลิกรัมต่อลิตร	อาจมีอันตรายต่อสัตว์น้ำถึงตายถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานานหลายชั่วโมง
1-5 มิลลิกรัมต่อลิตร	สัตว์น้ำสามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าเกิดขึ้นต่อเนื่องสัตว์น้ำจะเจริญเติบโตช้า และไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ดี
>5 มิลลิกรัมต่อลิตรแต่ไม่เกินระดับอิ่มตัว	เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำ
สูงเกินระดับอิ่มตัว	ทำให้เกิดฟองก๊าซในเลือดของสัตว์น้ำเมื่อสัตว์น้ำเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีออกซิเจนสูงไปยังที่ที่มีออกซิเจนต่ำ ทำให้เกิดอันตรายถึงตายได้

2.2.6 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นสัตว์เลือดเย็น เมื่ออุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้อุณหภูมิในร่างกายของสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงตามส่งผลต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมในร่างกาย (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528 อ้างโดย คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537) โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น จะทำให้ระบบควบคุมการขับถ่ายและแร่ธาตุภายในผิดปกติทำให้ร่างกายอ่อนแอและตายได้ นอกจากนั้นอุณหภูมิของน้ำยังมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำด้วย เช่น เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดลง และสภาวะอุณหภูมิสูงจะเร่งให้มีการดูดซึมของสารพิษที่ละลายในน้ำเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำได้อย่างรวดเร็ว (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537)

2.2.7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ในสภาวะที่ขาดแคลนออกซิเจนแบคทีเรียบางชนิดจะสามารถใช้ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟตและสารประกอบซัลเฟอร์ตัวอื่นๆ ที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์ได้ โดยการเปลี่ยนสารประกอบเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ คือ H_2S HS^- และ HS^{2-} หรือ S^{2-} ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำ ซึ่งน้ำที่มีค่าพีเอชต่ำจะมีโอกาสในการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สูง ส่วนน้ำที่มีค่าพีเอชสูงจะมีโอกาสเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำกว่าและความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะลดลง โดยที่ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะคล้ายกับการขาดออกซิเจนแต่จะรุนแรงกว่า (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2535) ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเข้าไปขัดขวางการขนส่งออกซิเจนภายในเซลล์จึงทำให้ปริมาณแลกเตท (Lactate) ในเลือดสูงขึ้น ดังนั้นการลดความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญ ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าพีเอชของน้ำให้สูงขึ้น (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2533 และสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, 2536 อ้างโดย พรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล, 2538)

2.3 ชนิดของสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำ (วิลาสินี ไตรยราช, 2546)

สารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงรูประหว่างสารประกอบหลากหลายรูปแบบ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตและปัจจัยสภาวะแวดล้อม โดยทั่วไปสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำมีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่

2.3.1 สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-nitrogen compounds)

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน คือ สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างในเซลล์พืชและสัตว์ นอกจากนี้ยังรวมถึงสิ่งขับถ่ายจากสัตว์และสารจากการย่อยสลายสิ่งมีชีวิต ได้แก่ โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโน กรดยูริก และยูเรีย เป็นต้น

2.3.2 สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen compounds)

สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน คือ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียหรือสารประกอบแอมโมเนีย ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในรูปแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ที่เกิดจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonifacation) ซึ่งเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์

2.3.3 สารประกอบไนไทรต์ (Nitrite-nitrogen compounds)

สารประกอบไนไทรต์ คือ สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนไทรต์ (NO_2^-) ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันที่ยังไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในดินและน้ำ

2.3.4 สารประกอบไนเทรต (Nitrate-nitrogen compounds)

สารประกอบไนเทรต คือ สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเทรต (NO_3^-) ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันที่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่นในกระบวนการไนตริฟิเคชัน และหากสภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอแล้ว สารประกอบไนโตรเจนนี้จัดได้ว่าเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรมากที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นสารอาหารที่สำคัญของพืชน้ำและสาหร่าย

2.4 การหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544)

สารประกอบไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อสัตว์น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปโปรตีนจากอาหารสำเร็จรูปที่ให้และในรูปของเสียที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์น้ำ โดยปกติธาตุไนโตรเจนมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ทั้งในรูปของแก๊สไนโตรเจน แก๊สแอมโมเนีย แอมโมเนียมอิออน ไนไทรต์อิออน ไนเทรตอิออน รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต รวมไปถึงซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เนื่องจากเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงก็จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ดังนั้นการ

ควบคุมคุณภาพน้ำจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมาก เพื่อไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยการหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

โดยปกติที่พื้นของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีสารต่างๆ ตกตะกอนอยู่ ซึ่งได้แก่ ซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ที่ตายแล้ว มูลของสัตว์น้ำ อาหารที่ไม่ถูกบริโภค และสารอินทรีย์อื่นๆ สารเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ซึ่งจะให้สารประกอบไนโตรเจนกลับไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยกระบวนการย่อยสลายจะเริ่มจากการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำให้กลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ จากนั้นโปรตีนจะถูกปลดปล่อยออกมาและถูกย่อยสลายเป็นกรดอะมิโน และถูกย่อยสลายต่อไปจนได้สารประกอบแอมโมเนีย ขั้นตอนดังกล่าวนี้เรียกว่า แอมโมนิฟิเคชัน ซึ่งเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจนดังสมการที่ (3.1)

$$NH_3 + H^+ \quad NH_4^+ \xleftrightarrow{\text{acid solution}} \qquad (3.1)$$

2.4.2 ไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในน้ำและตะกอนที่ก้นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียนั้นอาจถูกแพลงก์ตอนพืชที่มีอยู่ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ไปหรือถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนไทรต์และไนเทรตตามลำดับ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า ไนตริฟิเคชัน กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดจากไนตริฟายอิงแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Nitrosomonas* และ *Nitrobactor* แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้จะใช้ NH_4^+ และ NO_2^- เป็นแหล่งพลังงานตามลำดับ และใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน โดยขั้นตอนแรกของกระบวนการไนตริฟิเคชัน (3.2) จะเกิดจากกระบวนการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrosomonas* ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไทรต์ และขั้นตอนที่สอง (3.3) เกิดโดยกระบวนการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrobactor* ทำหน้าที่เปลี่ยนไนไทรต์เป็นไนเทรต กระบวนการดังกล่าวแสดงดังสมการ (3.2) และ (3.3)

$$NH_4^+ + 1.5O_2 \quad NO_2^- \xrightarrow{Nitrosomonas} \qquad (3.2)$$

$$NO_2^- + 0.5O_2 \xrightarrow{Nitrobactor} NO_3^- + 2H^+ + H_2O \qquad (3.3)$$

อัตราเร็วของทั้ง 2 ปฏิกิริยาอาจเกิดขึ้นไม่เท่ากัน โดยทั่วไปไนตริฟายอิงแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้าเพราะพลังงานที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันมีค่าต่ำ และเนื่องจากแอมโมเนียมักถูกแย่งใช้อย่างรวดเร็วโดยจุลสาหร่ายและพืชอื่นๆ เมื่อมีสภาวะเหมาะสม นอกจากนี้

ไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีความต้องการสภาวะที่มีออกซิเจนสูง อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 1-2 มก./ล. กระบวนการดังกล่าวจะเกิดได้เร็วที่สุดในช่วงค่าสภาพกรด-ด่างในช่วง 7-8 และอุณหภูมิช่วง 25-35 ^{o}ซ (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544)

2.4.3 ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

ในบริเวณน้ำชั้นล่างหรือบริเวณก้นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน หรือมีออกซิเจนละลายอยู่ในปริมาณน้อยมาก จะเกิดกระบวนการที่เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งในสภาวะไร้ออกซิเจนจะมีแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้ออกซิเจนจากสารประกอบไนเทรตหรือไนไทรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจได้ กระบวนการดังกล่าวนี้ธาตุไนโตรเจนในรูปของไนเทรตจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศในที่สุด ดังสมการ ที่ (3.4) (3.5) และ (3.6)

$$2NO_3^- \longrightarrow 2NO_2^- + O_2 \qquad (3.4)$$

$$2NO_2^- \longrightarrow 2NO + O_2 \qquad (3.5)$$

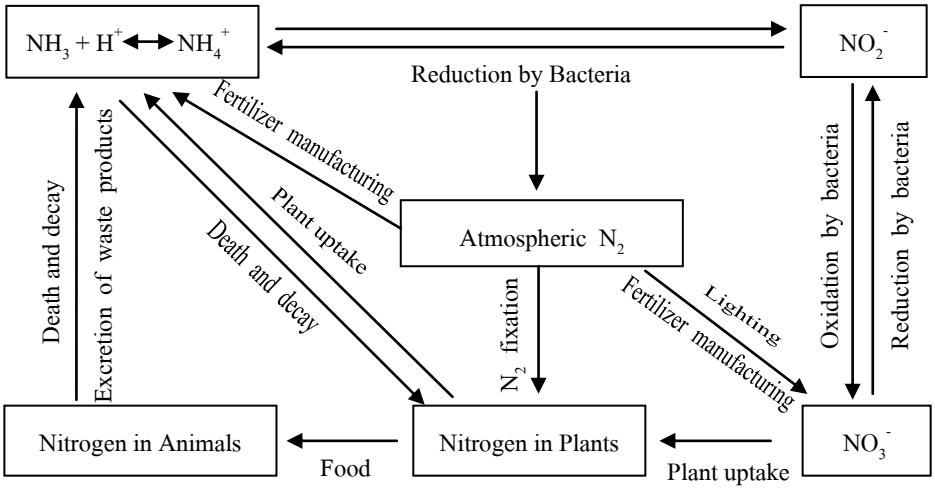
$$2NO \longrightarrow N_2 + O_2 \qquad (3.6)$$

แอมโมเนียที่พบในน้ำจะแบ่งเป็น 2 รูป คือ แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งไม่แตกตัว และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ซึ่งแตกตัวได้ง่าย เนื่องจากแอมโมเนียไม่แตกตัวจึงระเหยได้ง่าย ดังนั้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอาจสูญเสียไนโตรเจนจากทางนี้ได้ทางหนึ่ง สภาพสมดุลของแอมโมเนียทั้งสองขึ้นกับอุณหภูมิและพีเอชของน้ำ โดยพีเอชจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของแอมโมเนีย ถ้าน้ำในบ่อมีพีเอช เป็นกลาง แอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออนมากกว่าในรูปแก๊ส แต่เมื่อพีเอชสูงขึ้นจะพบในรูปแก๊สเพิ่มขึ้นและในรูปของแอมโมเนียมอิออนก็จะลดลง แก๊สแอมโมเนียจะระเหยขึ้นสู่อากาศได้ง่ายเพราะว่าในอากาศมีปริมาณแอมโมเนียต่ำ และระเหยได้เร็วขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิและพีเอชสูงขึ้น สภาพสมดุลของแอมโมเนียทั้งสองรูปแสดงดังสมการที่ (3.7)

$$NH_4^+ + OH \qquad NH_4^+OH \longleftrightarrow NH_3 + H_2O \longleftrightarrow \qquad (3.7)$$

(Low pH) (Neutral pH) (High pH)

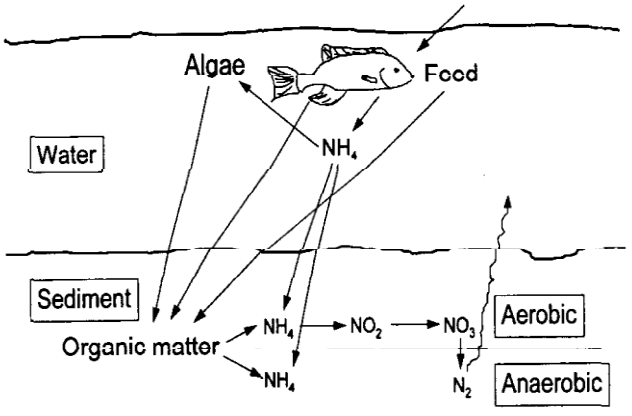
จากที่ข้อความที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปการหมุนเวียนของสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
(วิรัช จิ๋วแหยม, 2544)

2.5 สมดุลของไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

แหล่งของไนโตรเจนส่วนใหญ่ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ในรูปของโปรตีนที่มาจากการให้อาหารสำเร็จรูป โดยเมื่อใส่อาหารให้สัตว์น้ำจะมีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน และมีแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ การย่อยของเศษอาหาร และมูลของสัตว์น้ำ ซึ่งสาหร่ายจะนำแอมโมเนียในน้ำเหล่านั้นไปใช้ ส่วนบริเวณพื้นบ่อจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร และสาหร่ายที่ตายแล้วทำให้มีการสะสมของแอมโมเนียซึ่งสามารถกำจัดแอมโมเนียออกจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้หากที่พื้นบ่ออยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนหรือมีออกซิเจนละลายอยู่ในปริมาณน้อยมาก และมีการออกซิไดซ์ไนไทรต์โดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียเพื่อเปลี่ยนไปเป็นไนเทรต (Van Rijn, 1996) ซึ่งการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
(Van Rijn, 1996)

การคำนวณปริมาณไนโตรเจนในระบบที่เปลี่ยนรูปไปจะใช้สมดุลไนโตรเจนในการพิจารณา การศึกษาการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะพิจารณาจากไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละรูปแบบ เช่น ในรูปการแบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบพื้นบ้านสัตว์น้ำจะหาอาหารกินเองตามธรรมชาติ ส่วนการเพาะเลี้ยงแบบหนาแน่นจะมีการให้อาหารสำเร็จรูปซึ่งมีผลต่อการพิจารณาสมดุลที่เข้าสู่ระบบ (Gowen, 1990) การศึกษาสมดุลของไนโตรเจนสามารถคำนวณได้จากไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเปรียบเทียบกับไนโตรเจนที่ออกจากระบบ โดยไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ เช่น ในตัวสัตว์น้ำ ในอาหารสัตว์น้ำ น้ำที่เติมเข้าสู่ระบบ น้ำฝน และการตรึงไนโตรเจน ส่วนไนโตรเจนที่ออกจากระบบ เช่น ไนโตรเจนที่เปลี่ยนเป็นผลผลิตสัตว์น้ำ น้ำทิ้งจากระบบ การสะสมในดิน น้ำที่ซึมออกจากระบบ การระเหยของแอมโมเนีย และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Gross และคณะ, 2000) ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการใส่สารอาหารเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก็เพื่อให้ได้ผลผลิตสัตว์น้ำปริมาณมาก อย่างไรก็ตามสารอาหารที่เปลี่ยนไปเป็นผลผลิตสัตว์น้ำนั้นยังคงน้อยกว่าสารอาหารที่ใส่เข้าสู่ระบบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีการสูญเสียสารอาหารออกสู่สิ่งแวดล้อม (Papatryphon และคณะ, 2005) ดังนั้นเพื่อให้ทราบประสิทธิภาพของสารอาหารหรือปุ๋ยเคมีที่เข้าสู่ระบบ การหมุนเวียนของสารอาหารภายในบ่อ และกระบวนการบำบัดทางชีวธรณีภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การคำนวณสมดุลมวลของสารอาหารที่เข้าสู่ระบบจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ (Tucker และ Boyd, 1985; Briggs และ Funge-Smith, 1994)

2.6 ชีววิทยาของสาหร่าย

สาหร่ายทะเลจัดเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น (Primary producer) หรือเป็นผู้สร้างอาหาร (Producer) หน่วยแรกของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศเช่นเดียวกับพืช ดังนั้นสาหร่ายทะเลจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศ ซึ่งสาหร่ายสามารถจำแนกออกได้ตามชนิดเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ จุลสาหร่าย (Microalgae) และมหสาหร่าย (Macroalgae) โดยจุลสาหร่ายหมายถึงสาหร่ายขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าและต้องอาศัยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ส่วนมหสาหร่ายหมายถึงสาหร่ายขนาดใหญ่ เช่น สาหร่ายทะเลและสาหร่ายน้ำจืดที่ขนาดใหญ่บางชนิด (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543) ซึ่งสาหร่ายทะเลสามารถเพาะเลี้ยงในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วๆ ไปได้ เนื่องจากสาหร่ายทะเลสามารถเจริญเติบโตจากสารอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยหรืออาหารของสัตว์น้ำที่เติมลงไปในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.6.1 ชีววิทยาของสาหร่ายช่อพริกไทย

สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เป็นสาหร่ายใน Division Chlorophyta หรือสาหร่ายสีเขียว (Green Algae) ซึ่งมีการจัดลำดับอนุกรมวิธาน ดังนี้

Division : Chlorophyta

Class : Chlorophyceae

Order : Caulerpales

Family : Caulerpaceae

Genus : *Caulerpa*

Species : *Caulerpa lentillifera* J. Agardh

รูปที่ 2.6 ลักษณะของสาหร่ายช่อพริกไทย *(Caulerpa lentillifera*)

ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายช่อพริกไทย มักขึ้นอยู่บนก้อนหินหรือพื้นทราย ที่น้ำตื้นๆ ใกล้แนวปะการัง ทัลลัสประกอบด้วยสโตลอนที่คืบคลานไปตามพื้นและแตกแขนงได้ ส่วนของแขนงที่ตั้งตรงสูง 1-6 ซม. มักเกิดเดี่ยวๆ ไม่ค่อยแตกแขนง ประกอบด้วยรามูลัสเล็กๆ ลักษณะกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2 มม. มีก้านสั้นๆ เรียงกันคล้ายช่อพริกไทย แต่รามูลัส มีรอยคอดระหว่างก้านและส่วนที่เป็นเม็ดกลมสีเขียวใส (Lewmanomont และ Ogawa, 1995) สาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน และสารอนินทรีย์รูปอื่น เช่น ฟอสเฟตในปริมาณสูงซึ่งมีความสำคัญต่อการเติบโตของสาหร่าย ฤดูที่พบการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทยอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และอัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนมีนาคมเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงช่วงเดือนพฤศจิกายน การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะลดลงและรูปร่างหดสั้นลง (Toma, 1987) สำหรับการสืบพันธุ์ของสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual reproduction)

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศในสาหร่าย *Caulerpa* จะเกิดจากการแบ่งเซลล์ของรามูลัส และทัลลัส ซึ่งแต่ละรามูลัสและทัลลัสที่แบ่งเซลล์จะพัฒนาเจริญเติบโตไปเป็นเซลล์ใหม่ต่อไป

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual reproduction)

การสืบพันธุ์แบบอาศับเพศของสาหร่ายช่อพริกไทยเกิดขึ้นในช่วงที่อากาศค่อนข้างอุ่นถึงร้อน เนื่องจากได้รับแสงเต็มที่ ซึ่งจะเห็นบนผิวของทัลลัสที่โตเต็มที่มีลักษณะรูปร่างเป็นตาข่ายอย่างชัดเจน ในระยะนี้ภายในไซโตพลาสซึมจะมีการเคลื่อนที่ของแกมีตซึ่งมีหนวด 2 เส้นทั้งเพศผู้ และเพศเมีย โดยแกมีตจะถูกปล่อยออกมา หลังจากนั้นจะเกิดกระบวนการที่เรียกว่าคอนจูเกชัน (conjugation) เกิดเป็นไซโกต (zygote) ต่อไป และเมื่อไซโกตไปเกาะบริเวณพื้นหรือหินจะงอกออกเป็นเซลล์สาหร่ายเซลล์ใหม่ ส่วนสาหร่ายต้นเดิมจะซีดลงภายหลังปล่อยแกมีตไปแล้ว (นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์, 2544)

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การเติบโตของสาหร่ายจะขึ้นอยู่กับปัจจัยแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของสาหร่าย โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายที่สำคัญ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำ พีเอช ความเค็ม และออกซิเจนละลายในน้ำ เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

แสง

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชรวมไปถึงสาหร่าย เนื่องจากสาหร่ายส่วนใหญ่ได้พลังงานมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) โดยใช้แสงในช่วงคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยทั่วไปความเข้มแสงในระดับเพียง 15,000 ลักซ์ก็เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย (อลิสา โชควิวัฒนวนิช, 2543) และหากเพิ่มความเข้มแสงสูงขึ้นกว่านี้สาหร่ายจะไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากใช้แสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงจะกลับยิ่งมีผลในทางตรงกันข้าม เพราะความเข้มแสงที่มากเกินไปจะมีผลยับยั้งการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย (ธีรพงษ์ จรัญญาภรณ์, 2545)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลกับกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกายหรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต สาหร่ายแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตแตกต่างกันไป บางชนิดสามารถอยู่ใน

อุณหภูมิที่ต่ำ บางชนิดสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* คือ 28-34 °ซ โดยที่อุณหภูมิ 34 °ซ จะมีการปลดปล่อยออกซิเจนสูงสุด และที่ 38 °ซ การสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายจะลดลง (Horstmann, 1983)

ปริมาณสารอาหารในน้ำ

โดยมากสาหร่ายหรือพืชน้ำจะใช้สารอาหารในรูปของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักในส่วนต่างๆ ของเซลล์ทั้งในสารพันธุกรรมรวมไปถึงการสร้างรงควัตถุต่างๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการสร้างอาหารของสาหร่ายหรือพืช

ความเป็นกรดด่าง

โดยปกติแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่าพีเอชในช่วงประมาณ 5-9 และน้ำทะเลจะมีคุณสมบัติที่เป็นบัฟเฟอร์ในตัวทำให้ค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การเลี้ยง *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* ในช่วงความเป็นกรดด่างสูงขึ้น สาหร่ายจะมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนสูงขึ้น แต่ในช่วงพีเอช 9.0 จะมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนลดลง (Horstmann, 1983)

ความเค็ม

ความเค็มมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์โดยเฉพาะการปรับสมดุลของน้ำในร่างกายสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตบางชนิดสามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีระดับความเค็มสูง บางชนิดเติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเค็มต่ำหรือน้ำกร่อย สาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* มีอัตราการแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้ดีในช่วง 30-40 พีพีที และสาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงลดลงเมื่อความเค็มลดระดับลงเหลือ 20 พีพีที (Horstmann, 1983) สาหร่ายช่อพริกไทยจะมีความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำอย่างฉับพลันได้ในช่วงที่แคบ และเติบโตได้ดีในน้ำที่มีระดับความเค็มระหว่าง 10-30พีพีที ซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายสามารถปรับตัวได้อย่างดี (ธีรพงษ์ จรัญญาภรณ์, 2545)

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

สิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนในกระบวนการหายใจรวมทั้งสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายต้องการออกซิเจนในการหายใจ และในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีสูงในช่วงบ่าย เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย และจะมีค่าต่ำสุดใชช่วงเวลาเช้าตรู่ (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544) เนื่องจาก

แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยทำให้การรักษาปริมาณออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญต่อผลผลิตสัตว์น้ำมาก โดยเฉพาะในน้ำเค็มที่มีปริมาณคลอไรด์ในน้ำสูง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยลง ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้

2.6.3 การใช้สารประกอบไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

สาหร่ายต้องการสารไนโตรเจนเพื่อใช้ในกระบวนการสร้างโปรตีน สารพันธุกรรม และที่สำคัญเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ และรงควัตถุต่างๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการสร้างอาหารของสาหร่าย สำหรับในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีสารประกอบไนโตรเจนหลายรูป โดย Neori และ Shpigel (1999) รายงานว่าสาหร่าย *Ulva lactura* และ *Gracilaria conferta* ทั้งสองชนิดสามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ ในกรณีที่มีแอมโมเนียมและไนเทรตในน้ำ สาหร่ายจะเลือกใช้แอมโมเนียมจนหมดก่อนจึงใช้ไนเทรต เนื่องจากสาหร่ายสามารถนำแอมโมเนียมไปใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างกรดอะมิโนได้โดยตรง ในขณะที่การใช้ไนเทรตจะต้องเปลี่ยนไนเทรตให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมก่อน เซลล์จึงสามารถนำไปใช้ได้

2.7 ชีววิทยาของปลากะพงขาว

ปลากะพงขาวนับเป็นปลาน้ำกร่อยอีกชนิดหนึ่งที่มีขนาดใหญ่และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจเนื่องจากสามารถหาพันธุ์ได้ง่าย เลี้ยงง่าย โตเร็ว เนื้อมีรสชาติดี และราคาค่อนข้างสูงอีกด้วย จึงเป็นที่ต้องการของตลาดมาก ปลาชนิดนี้นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในเขตจังหวัดชายทะเลของประเทศไทย การเพาะพันธุ์ปลากะพงขาวในประเทศไทยพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และในปัจจุบันประเทศไทยสามารถเพาะพันธุ์ปลากะพงขาวได้เป็นจำนวนมาก ปลากะพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lates calcarifer* (Bloch) มีการจัดปลากะพงขาวตามหลักอนุกรมวิธานได้ดังนี้

Phylum : Chordata

SuB-Phylum : Vertebrata

Sub-Class : Teleostomi

Order : Percomorphi

Family : *Centropomidae*

Genus : *Lates*

Species : *Lates Calcarifer*

รูปที่ 2.7 ลักษณะของปลากะพงขาว *Lates calcarifer* (Bloch)

ปลากะพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lates calcarifer* (Bloch) ชื่อสามัญว่า Giant Perch หรือ Sea Bass เป็นปลาน้ำกร่อยที่มีขนาดใหญ่ ลักษณะโดยทั่วไปมีลำตัวค่อนข้างยาวและหนาแบนข้างเล็กน้อย บริเวณไหล่จะโค้งมน ส่วนลำตัวจะลาดชันและเว้า ส่วนของขากรรไกรล่างยื่นยาวกว่าขากรรไกรบนเล็กน้อย ปากกว้าง ขอบปากบนเป็นแผ่นใหญ่ แยกเป็นแนวตอนต้นและตอนท้ายอย่างชัดเจน บริเวณส่วนปากจะยืดหดได้บ้าง ช่องปากเฉียงลงด้านล่างเล็กน้อย มีฟันเล็กละเอียดบนขากรรไกรบนและล่าง และที่เพดานปาก ตาของปลาชนิดนี้มีขนาดกลาง ไม่มีเยื่อที่เป็นไขมันหุ้ม แก้มมีขนาดใหญ่ มีขอบหลังเป็นหนามแหลม 4 ซี่ และเรียงต่อด้วยซี่เล็กๆ จัดตามแนวหลัง ด้านบนส่วนหัวและบนแผ่น เหงือก มีเกล็ดขนาดต่างๆ กัน เกล็ดบริเวณลำตัวค่อนข้างใหญ่ ด้านหลังมีสีเทาเงินหรือเขียวปนเทา ส่วนท้องจะมีสีเงินแกมเหลือง บริเวณด้านข้างลำตัวมีสีเงิน ครีบหลัง ครีบก้น ครีบหาง จะมีสีเทาปนดำบางๆ มีครีบหลังสองตอน ตอนแรกอยู่ตรงตำแหน่งของครีบท้อง มีก้านครีบแข็งที่แหลมคมขนาดใหญ่ 7-8 ก้าน เชื่อมต่อกันด้วนเยื่อบางๆ ครีบหลังตอนที่สองแยกจากตอนแรกอย่างเห็นได้ชัด มีก้านครีบแข็ง 1 ก้าน ก้านครีบอ่อนมีปลายแตกแขนง มี 10-11 ก้าน ครีบหู และครีบอกยาวไม่ถึงรูก้น ครีบก้นมีตำแหน่งใกล้เคียงกับครีบหลังตอนที่สอง ซึ่งประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 3 ก้าน ก้านครีบอ่อน 7-8 ก้าน ข้อหางสั้น ครีบหางค่อนข้างกลม เส้นข้างตัวโค้งไปตามแนวสันหลัง มีเกล็ดบนเส้นข้างตัว 52-61 เกล็ด

ปลากะพงขาวเป็นปลาน้ำกร่อยขนาดใหญ่ สามารถอาศัยอยู่ได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม สำหรับในประเทศไทยพบปลากะพงขาวแพร่กระจายอยู่ทุกจังหวัดชายทะเลทั้งในอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามันจะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่ไม่ห่างไกลออกไปจากชายฝั่งมากนัก โดยอาศัยอยู่ชุกชุมตามปากแม่น้ำ ลำคลอง และปากทะเลสาบ นอกจากนี้ปลากะพงขาวยังสามารถขึ้นไปอาศัยและเจริญเติบโตในแหล่งน้ำจืดได้อีกด้วย จึงจัดเป็นปลาประเภทสองน้ำ มีการอพยพย้ายถิ่นระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มอยู่เสมอ โดยเฉพาะเมื่อมีความสมบูรณ์ทางเพศต้องอพยพไปสู่ปากแม่น้ำและทะเลเพื่อสืบพันธุ์วางไข่ต่อไป

2.8 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การศึกษาการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายทะเล

อลิสา โชควิวัฒนวนิช (2543) ศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงและจลนพลศาสตร์ของการนำแอมโมเนียมและไนเทรตเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทยและสาหร่ายหนาม ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยและสาหร่ายหนามมีจุดอิ่มตัวที่ระดับความเข้มแสงประมาณ 15,000-20,000 ลักซ์ ส่วนจลนพลศาสตร์ของการนำแอมโมเนียมและไนเทรตเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายทั้งสองชนิดพบว่า สาหร่ายหนามมีประสิทธิภาพในการนำแอมโมเนียมและไนเทรตเข้าสู่เซลล์ได้ดีกว่าสาหร่ายช่อพริกไทย และสาหร่ายทั้งสองจะเลือกใช้สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมก่อนไนเทรตเสมอโดยการนำแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์สาหร่ายช่อพริกไทยมีค่า V_{max} = 0.0897 มก.แอมโมเนียม/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ชม. และค่า K_m = 18.5822 มก.แอมโมเนียม/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ล. ส่วนในสาหร่ายหนามมีค่า V_{max} = 0.3406 มก.แอมโมเนียม/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ชม. และค่า K_m = 50.9554 มก.แอมโมเนียม/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ล. ในขณะที่การนำไนเทรตเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทยมีค่า V_{max} = 0.0175 มก.ไนเทรต/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ชม. และค่า K_m = 40.1094 มก.ไนเทรต/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ล. ส่วนในสาหร่ายหนามมีค่า V_{max} = 0.0425 มก.ไนเทรต/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ชม. และค่า K_m = 90.0509 มก.ไนเทรต/กรัม(น้ำหนักเปียก)/ล. และเมื่อทดลองใช้สาหร่ายทั้งสองชนิดในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีสารประกอบไนโตรเจนสูง พบว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดจะลดปริมาณแอมโมเนียมในน้ำลงได้อย่างรวดเร็ว โดยชุดการทดลองที่ให้แสงต่อเนื่องที่ระดับ 15,000 ลักซ์ จะได้ผลดีกว่าชุดการทดลองที่รับแสงจากธรรมชาติ และสาหร่ายหนามจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมได้ดีกว่าสาหร่ายช่อพริกไทย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาจลนพลศาสตร์ข้างต้น

ชลี ไพบูลย์กิจกุล และคณะ (2548) ศึกษาความเค็มและความเข้มแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทย โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุดแต่ละชุดทดลองจะใส่สาหร่ายช่อพริกไทย 130 กรัม ในโหลที่มีน้ำทะเล 10 ลิตร และแอมโมเนียมคลอไรด์ 20 มก.ไนโตรเจน/ล. ชุดการทดลองแรกเป็นการศึกษาผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็ม 4 ระดับ ได้แก่ 20, 25, 30 และ 35 พีเอสยู ผลการทดลองพบว่าระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนเท่ากับ 30 พีเอสยู ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาระดับความเข้มแสงต่อประสิทธิภาพการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจน โดยมีแบ่งระดับความเข้มแสงออกเป็น 3 ระดับ คือ 4000, 6000 และ 8000 ลักซ์ ผลการทดลองพบว่าที่ 4000 และ 8000 ลักซ์ สาหร่ายช่อพริกไทยสามารถดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนได้มากกว่าที่ระดับความเข้มแสง 6000 ลักซ์

Häder และคณะ (1997) ศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Caulerpa prolifera* จากปริมาณออกซิเจนที่สาหร่ายปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อได้รับความเข้มแสงตามระดับความลึกต่างๆ ตั้งแต่ 5-25 ม. ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน พบว่าที่ระดับความลึก 5 ม. สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์แสงมากที่สุดและเป็นระดับที่สามารถเกิดการยับยั้งด้วยแสง (Photoinhibition) ได้บ่อยกว่าระดับความลึกอื่นเนื่องจากได้รับแสงแดดเต็มที่ในตอนเที่ยง

Burfeind และ Udy (2009) ศึกษาผลของแสงต่อการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์และการเจริญเติบของสาหร่าย *Caulerpa taxifolia* ในอ่าวมอร์ตัน ประเทศออสเตรเลีย โดยทำการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงและทำการทดลองในห้องปฏิบติการ พบว่าสาหร่าย *Caulerpa taxifolia* ไม่ชอบเจริญอยู่ในบริเวณที่มีความเข้มแสงสูงและมีสารอาหารอยู่น้อย แต่จะชอบเจริญเติบโตอยู่บริเวณที่มีความเข้มแสงเหมาะสมและมีความเข้มข้นของสารอาหารสูง

2.8.2 การศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ศิริวัฒน์ คูเจริญไพบูลย์ (2544) ได้ศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้ปลาระบบปิดโดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน พบว่าการใช้แผ่นตรึงเซลล์ที่มีเชื้อไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ปริมาณไม่ต่ำกว่า 3 % สามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์ในถังระบบบำบัดลงได้ภายใน 1 วัน ทำให้ระบบบำบัดมีปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์ไนโตรเจนมีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยกับปลา และสัตว์น้ำอื่นๆ นอกจากนี้การกำจัดไนเทรตโดยใช้ถังบำบัดดีไนตริฟิเคชันโดยระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนเทรตไนโตรเจนที่เหมาะสมคือ 33.76 มก.ซีโอดี/มก.ไนเทรตไนโตรเจน ซึ่งทำให้ถังบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเทรตมากกว่า 98%

มะลิวัลย์ คุตะโค และคณะ (2549) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการย่อยสลายในดินตะกอนจากนากุ้งภายใต้สภาวะการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่บรรจุดินจากบ่อเลี้ยงกุ้ง (พื้นที่ผิวของดินในถังปฏิกรณ์ 0.0149 ตร.ม. และน้ำทะเล 28 พีเอสยู ปริมาตร 2.5 ลิตร เติมอาหารกุ้งบดเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ พบว่าเมื่อเติมอาหารกุ้งปริมาณ 0.1 กรัม (6.7 กรัม/ตร.ม.) จะเกิดการย่อยสลายอาหารกุ้งและได้ผลผลิตเป็นแอมโมเนียซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเทรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และไนเทรตจะถูกกำจัดออกจากระบบด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นของดินตะกอน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอาหารกุ้งบดขึ้นเป็น 1 กรัม (67 กรัม/ตร.ม.) พบว่าดินตะกอนไม่สามารถรองรับการย่อยสลายของปริมาณสารอินทรีย์ได้ โดยตรวจพบการสะสมของแอมโมเนียในอัตรา 8.7 มก.แอมโมเนียไนโตรเจน/ตร.ม./ชม. ซึ่งทำให้ปริมาณแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้นถึง 8 มก.แอมโมเนียไนโตรเจน/ล. ซึ่งประเมินได้ว่าสูงกว่าความสามารถในการรองรับสารอินทรีย์ของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

สรวิศ เผ่าทองศุข และคณะ (2547) ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดแอมโมเนียด้วยตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันในบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิด โดยตัวกรองชีวภาพที่ใช้มีลักษณะเป็นเส้นพลาสติกสานเป็นรูปทรงกระบอก การทดลองแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดควบคุมทำการเลี้ยงกุ้งในบ่อที่ปักท่อพีวีซีโดยไม่ได้มีการบรรจุตัวกรองชีวภาพไว้ภายในท่อ และชุดการทดลองซึ่งเลี้ยงกุ้งในบ่อที่ปักท่อพีวีซีซึ่งภายในบรรจุตัวกรองชีวภาพ ผลการทดลองพบว่าบ่อเลี้ยงกุ้งทั้งสองระบบสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียในน้ำให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.5 มก.ไนโตรเจน/ล. และมีความเข้มข้นของไนเทรตในท่อพีวีซีแสดงว่ามีกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น โดยกลุ่มทดลองที่มีการใช้ตัวกรองชีวภาพจะสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม

มะลิวัลย์ คุตะโค และคณะ (2551) ศึกษาประสิทธิภาพของตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันในการบำบัดแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งทะเลรูปแบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง โดยการทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของตัวกรองชีวภาพต่อการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน พบว่าหลังเติมอาหารกุ้งน้ำหนัก 0.51 กรัม ลงในถังเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจน จะพบการสะสมของแอมโมเนียและไนไทรต์ในถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ ในขณะที่ตัวกรองชีวภาพในถังชุดทดลองสามารถบำบัดแอมโมเนียและไนไทรต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในสภาวะแวดล้อมที่ได้รับแสงและในที่มืด การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองในระบบเช่นเดียวกับการทดลองแรก แต่มีการเติมอาหารกุ้งทุกสามวันเพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ได้ในชุดการทดลองที่เป็นถังกลางแจ้งที่มีการพรางแสง และการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นบทบาทร่วมกันของแพลงก์ตอนพืชและตัวกรองชีวภาพ การทดลองที่ 3 เป็นการประเมินบทบาทของตัวกรองชีวภาพในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำกลางแจ้ง โดยทำการเลี้ยงกุ้งในชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ และชุดการทดลองที่ติดตั้งตัวกรองชีวภาพ ผลการศึกษาพบการสะสมของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และพบการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชในชุดควบคุม ในขณะที่ตัวกรองชีวภาพในชุดการทดลองสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเทรตได้อย่างรวดเร็วโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์

Neori และ Shpigel (1999) ศึกษาการนำสาหร่ายทะเล *Ulva lactuca* และ *Gracilaria Conferta* มาใช้บำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสงและปลดปล่อยออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้สาหร่ายยังต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการสร้างอาหาร โดยสาหร่ายจะใช้ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ ส่วนไนเทรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นน้อยในธรรมชาติ ในกรณีที่แหล่งน้ำมีทั้งแอมโมเนียมและไนเทรตอยู่ด้วยกันสาหร่ายจะเลือกใช้แอมโมเนียมจนหมดก่อนแล้วจึงใช้ไนเทรตเป็นลำดับต่อมา

2.8.3 การศึกษาการใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ (2538) ศึกษาการใช้สาหร่ายทะเล 3 ชนิด คือ *Caulerpa macrophysa*, *Sargassum polycystum* และ *Gracilaria salicornia* ในการลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดสามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนเทรตได้ โดยลดปริมาณแอมโมเนียและไนเทรตได้มากที่สุดที่ความหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร และพบว่าที่ความหนาแน่น 1 กรัมต่อลิตรสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการดูดซึมดีกว่าที่ความหนาแน่น 5 และ 10 กรัม ตามลำดับ

รตีวรรณ อ่อนรัศมี และคณะ (2541) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากนากุ้งด้วยกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา ซึ่งประกอบด้วยระบบตะกอนเร่งและบ่อเลี้ยงสาหร่ายผมนาง การทดลองชุดที่ 1 มีระยะเวลาเก็บกักน้ำในระบบตะกอนเร่ง 6 ชม. และระยะเวลาเก็บกักน้ำในบ่อสาหร่ายผมนาง 24 ชม. การทดลองชุดที่ 2 มีระยะเวลาเก็บกักในระบบตะกอนเร่ง 4 ชม. และระยะเวลาเก็บกักในบ่อสาหร่ายผมนาง 24 ชม. ผลการทดลองพบว่าระบบบำบัดมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 72.64 กรัมบีโอดี/ลบ.ม./วัน และ 108.96 กรัมบีโอดี/ลบ.ม./วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี 58.10% และ 49.25% สามารถลดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ 42.24% และ 35.69% และระบบยังสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 84.91% และ 73.79% ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ธีรพงษ์ จรัญญาภรณ์ (2545) ศึกษาผลของปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ความเค็มของน้ำ และความเข้มแสง ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและอัตราการนำสารอาหาร แอมโมเนีย ไนเทรต และฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์สาหร่าย รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิล ผลการทดลองพบว่าการเติมคาร์บอนไดออกไซด์และการเพิ่มความเข้มแสงไม่ได้ช่วยให้มีอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์เพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำอย่างฉับพลันจาก 30 พีพีที เป็น 40 พีพีที ถึง 60 พีพีที ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงจะลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนความเค็มจาก 30 พีพีที จนถึง 10 พีพีที ไม่มีผลมากนัก และเมื่อเปลี่ยนความเค็มจาก 10 พีพีที เป็น 0 พีพีที สาหร่ายจะสูญเสียความสามารถในการสังเคราะห์แสงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การให้สาหร่ายได้รับแสงโดยตรงจะทำให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสง แต่การใช้พลาสติกพรางแสงจะช่วยให้สาหร่ายสามารถนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์เป็นปกติ โดยสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกจากระบบเลี้ยงปลาได้ประมาณ 25% ทำให้น้ำมีคุณภาพดี ปริมาณแอมเนียต่ำ ไม่มีการสะสมของไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต

Zhou และคณะ (2006) ศึกษาการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยเลี้ยงสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria lemaneiformis*) ร่วมกับปลาเก๋า (*Sebastodes fuscescens*) ตามชายฝั่งทะเลทางตอนเหนือของประเทศจีนในช่วงฤดูใบไม้ผลิถึงฤดูร้อน (24 เมษายนถึง 1 มิถุนายน) และในช่วงฤดูใบไม้ร่วง (20 ตุลาคมถึง 21 พฤศจิกายน) พบว่าอุณภูมิที่สูงในช่วงฤดูใบไม้ผลิถึงฤดูร้อนสาหร่ายผมนางจะเติบโตได้ดี นอกจากนี้ชุดการทดลองที่ทำการเลี้ยงปลาเก๋าร่วมกับสาหร่ายผมนางสามารถลดสารประกอบไนโตรเจนได้ดีกว่าชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยน้ำทะเล โดยสาหร่ายผมนางมีอัตราการเจริญเติบโต 11.03 % /วัน มีอัตราการนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่สาหร่ายเท่ากับ 10.64 และ 0.38 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักเปียก/ชม. ตามลำดับ และเมื่อทำการเลี้ยงสาหร่ายผมนาง 40 วัน ในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ สามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายได้ 70 ตันน้ำหนักเปียก หรือคิดเป็น 9 ตันน้ำหนักแห้ง

Hayashi และคณะ (2008) ศึกษาศักยภาพของการเลี้ยงสาหร่ายสีแดง *Kappaphycus alvarezii* เพื่อบำบัดสารอาหารของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาจะละเม็ดและเพื่อผลิตวุ้นจากสาหร่าย โดยการทดลองใช้ถังขนาด 8,000 ลิตร ทำการเพาะเลี้ยงปลาจะละเม็ดขนาดเฉลี่ย 30 กรัม ประมาณ 1,200 ตัว โดยมีการนำน้ำทิ้งหมุนเวียนกลับมายังถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีแดง 3 ถัง ขนาด 100 ลิตร ที่มีสาหร่ายสีแดงน้ำหนักเปียก 700 กรัม/ถัง ส่วนชุดควบคุมใช้น้ำทะเลเพาะเลี้ยงสาหร่าย ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายสีแดงสามารถบำบัดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาได้เท่ากับ 18.2% 50.8% 70.5% และ 26.8% ตามลำดับ ช่วยลดปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชัน และยังสามารถและเก็บเกี่ยวผลผลิตจากสาหร่ายสีแดงเพื่อนำไปผลิตวุ้นได้

2.8.4 การศึกษาสมดุลไนโตรเจนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Siddiqui และ Harbi (1999) ศึกษาสมดุลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบโดยทำการเพาะเลี้ยงปลานิล 12 ถังภายในโรงเรือน ทำการเพาะเลี้ยงที่ความหนาแน่น 1, 5, 10 และ 15 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 14 วัน โดยให้อาหารปลาวันละ 2 ครั้ง คิดเป็น 34% ของโปรตีนในปลานิล พบว่าในแต่ละชุดการทดลองต้องให้อาหารปลานิล 2.0-2.5 กก. เพื่อให้ได้ผลผลิตปลานิล 1 กก. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบปริมาณไนโตรเจนในน้ำ 87.1-95.6 กรัมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำ 12.6-13.8 กรัมฟอสฟอรัส ส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าไปอยู่ในตัวปลานิลคิดเป็น 21.4% ของไนโตรเจน และ 18.8% ของฟอสฟอรัส ที่เข้าสู่ระบบ

Gross และคณะ (2000) ศึกษาการหมุนเวียนและสมดุลของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงปลาดุก โดยเพาะเลี้ยงปลาดุก 550 ตัว ในถังพื้นที่ 400 ตร.ม. ที่มีการให้อาหารทุกวันเป็นระยะเวลา 133 วัน และไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบมาจากอาหารคิดเป็น 87.9% ผลการทดลองพบว่าการสูญเสียไนโตรเจนเกิดขึ้นจากสี่ทางคือ ไนโตรเจนที่เข้าไปอยู่ในเนื้อปลา 31.5% กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 17.4% การระเหยของแอมโมเนีย 12.5% และสะสมอยู่ในดิน 22.6% โดยเกิดจาก

กระบวนการไนตริฟิเคชันเฉลี่ย 70 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเฉลี่ย 38 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน แพลงก์ตอนนำไนเทรตไปใช้ 24 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และจากการเปลี่ยนไนโตรเจนในอาหารไปเป็นแอมโมเนีย 59 มก.ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน โดยหากทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณอาหารและการให้อาหารจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและลดการขับถ่ายของเสียของปลาดุก

Jackson และคณะ (2003) ศึกษาการหมุนเวียนของไนโตรเจนและสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่น โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากฟาร์มกุ้งทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 10 เดือน เพื่อหาไนโตรเจนทั้งหมด และเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณการให้อาหาร ปริมาณผลผลิตของสัตว์น้ำ และตะกอนที่ถูกกำจัด ผลการทดลองพบว่าโดยส่วนใหญ่ไนโตรเจน 90% ที่เข้าสู่ระบบมาจากอาหารกุ้ง โดยจะไปอยู่ในตัวกุ้ง 22% ตกตะกอนอยู่ก้นบ่อ 14% ระเหยไปในบรรยากาศประมาณ 3% โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและการระเหยของแอมโมเนียซึ่งส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมถึง 57% ของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ ส่วนการศึกษาสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งพบว่ามีสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (DON) 37-43% ของไนโตรเจนทั้งหมด และแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด(TAN) 12-21% ของไนโตรเจนทั้งหมด

Casillas-Hernández และคณะ (2006) ศึกษาสมดุลไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวเมื่อทำการเพาะเลี้ยงกุ้งขาว 2 วิธี คือ การให้อาหารกุ้งโดยใส่อาหารในถาดไว้ให้กุ้งกิน และการให้อาหารกุ้งแบบโปรย ผลการทดลองพบว่ากุ้งขาวในชุดทดลองที่มีการใส่อาหารไว้ในถาดมีน้ำหนักมากกว่าชุดการทดลองที่มีการให้อาหารแบบโปรย 32.3$\pm$0.9 กรัม โดยชุดการทดลองที่ให้อาหารกุ้งแบบโปรยมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าไปอยู่ในตัวสัตว์น้ำ 27.2% และ 13.6% ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ ส่วนชุดการทดลองที่ใส่อาหารไว้ในถาดมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าไปอยู่ในตัวสัตว์น้ำ 28.3% และ 14.3% ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ โดยผลผลิตกุ้งขาว 1 ตัน ของชุดการทดลองที่มีการให้อาหารแบบโปรยจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม 70.6 กก. แต่ชุดทดลองที่มีการใส่อาหารไว้ในถาดจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมเพียง 12.8 กก.

บทที่ 3

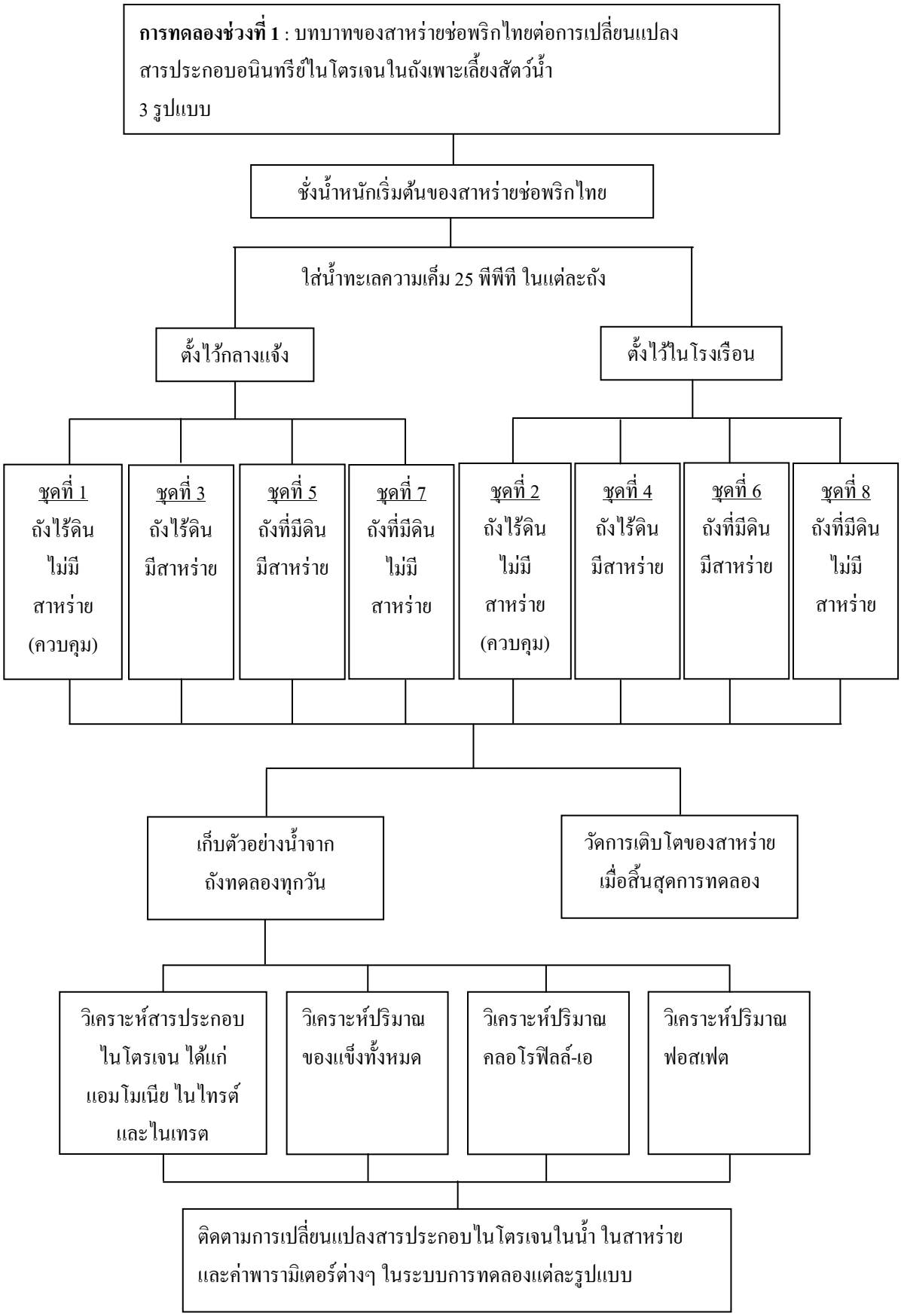
แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ

<u>การทดลองช่วงที่ 1</u> **:** เป็นการศึกษาบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบบ่อดินกลางแจ้ง ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง และระบบบ่อในโรงเรือนที่ได้รับแสงน้อย ดังแผนภาพแสดงรายละเอียดการทดลองในรูปที่ 3.1 และตัวแปรที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.1

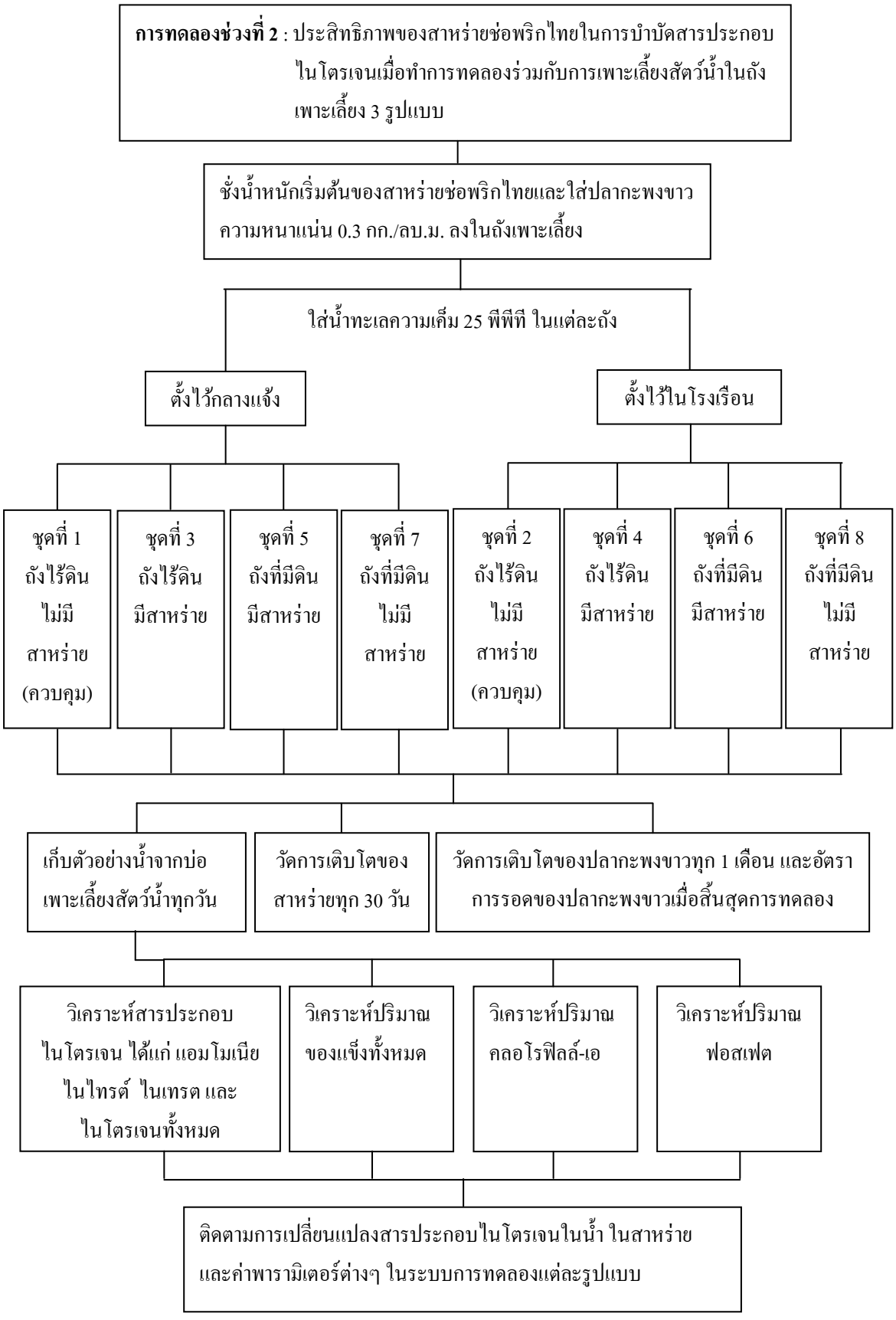
<u>การทดลองช่วงที่ 2</u> **:** เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อทำการทดลองร่วมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในถังเพาะเลี้ยง 3 รูปแบบ โดยการเพาะเลี้ยงได้ดำเนินการเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 เดือน ดังแสดงแผนภาพการทดลองในรูปที่ 3.2 และตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษาดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 1

ตัวแปรอิสระ	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. สภาพภูมิอากาศ (แสง อุณหภูมิ ความชื้น)	- ตามสภาวะธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลง
2. ดิน	- การบำบัดตามธรรมชาติของดินในถัง
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ขนาดของระบบทดลอง	- 83 x 150 x 50 ซม. (กว้าง x ยาว x สูง)
2. ปริมาตรน้ำทะเล	- 25 ลิตร
3. ชนิดของสาหร่าย	- สาหร่ายช่อพริกไทย
4. น้ำหนักเริ่มต้นของสาหร่าย	- 36 กรัม
5. ขนาดของกระชัง	- 34 x 34 x 34 ซม. (กว้าง x ยาว x สูง)
6. ปริมาณอาหารปลา	- ปริมาณที่เทียบเท่าการมีปลาในบ่อ 0.16 กก./ลบ.ม.
7. ค่าความเค็มของน้ำทะเล	- 25 พีพีที
8. ระยะในการการทดลอง	- อย่างน้อย 2 เดือน
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์**
1. การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยสาหร่ายช่อพริกไทย	- วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในอาหารปลาและสาหร่าย เปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต
2. การบำบัดฟอสเฟต	- วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในน้ำ
3. ปริมาณของสารแขวนลอยจุลชีพที่เกิดขึ้น	- วิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
4. ปริมาณจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ	- วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ
5. การเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย	- ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นเปรียบเทียบกับน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 3.2 แผนผังสรุปการทดลองช่วงที่ 2

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองช่วงที่ 2

ตัวแปรอิสระ	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. สภาพอากาศ (แสง อุณหภูมิ ความชื้น)	- ตามสภาวะธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลง
2. ดิน	- การบำบัดตามธรรมชาติของดินในถัง
ตัวแปรควบคุม	**ค่าที่ใช้ในการทดลอง**
1. ขนาดของระบบทดลอง	- ถังพลาสติก 130 ลิตร
2. ปริมาตรของน้ำ	- 80 ลิตร
3. ชนิดของสาหร่าย	- สาหร่ายช่อพริกไทย
4. น้ำหนักเริ่มต้นของสาหร่าย	- 45 กรัม
5. ขนาดของกระชัง	- 34 x 34 x 34 ซม. (กว้าง x ยาว x สูง)
6. ชนิดของสัตว์น้ำ	- ปลากะพงขาว
7. ความหนาแน่นสัตว์น้ำ	- 0.3 กก./ลบ.ม.
8. ปริมาณอาหารปลา	- ร้อยละ 5 ของน้ำหนักปลาที่มีในถังเพาะเลี้ยง
9. ค่าความเค็มของน้ำทะเล	- 25 พีพีที
10. ระยะในการการทดลอง	- อย่างน้อย 2 เดือน
ตัวแปรตาม	**พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์**
1. การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยสาหร่ายช่อพริกไทย	- วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในอาหารปลาและสาหร่าย เปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต
2. การบำบัดฟอสเฟต	- วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในน้ำ
3. ปริมาณของสารแขวนลอยจุลชีพที่เกิดขึ้น	- วิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
4. ปริมาณจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ	- วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ
5. การเจริญเติบโตของสาหร่าย	- ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นเปรียบเทียบกับน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง
6. อัตราการรอดของสัตว์น้ำ	- นับจำนวนปลากะพงขาวที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง
7. สมดุลไนโตรเจนของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละรูปแบบ	- วิเคราะห์ปริมาณและสัดส่วนสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ (อาหารปลา ปลา น้ำ ดิน สาหร่ายช่อพริกไทย) และสารประกอบไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ปลา น้ำ ดิน สาหร่ายช่อพริกไทย)

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- ถังพลาสติกปริมาตร 35 ลิตร
- ถังพลาสติกปริมาตร 135 ลิตร
- เครื่องเติมอากาศ (RESUN® LP-100)
- กระชังตาข่ายพลาสติก 34 x 34 x 34 ซม. (กว้าง x ยาว x สูง)
- ดินละเอียด
- สายยางพลาสติกสำหรับเติมอากาศ
- ตะแกรงพลาสติก
- พลาสติกใสสำหรับปิดฝาถังชุดทดลอง
- หัวทรายสำหรับเติมอากาศ
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- อุปกรณ์วัดความยาว

3.2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

- บีกเกอร์
- ขวดวัดปริมาตร
- ขวดรูปชมพู่
- ปิเปต
- ไมโครปิเปต
- กระบอกตวง
- หลอดทดลอง
- กระดาษกรอง Whatman GF/C ขนาด 25 และ 47 มม.
- เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลาย (DO meter)
- เครื่องวัดความเค็ม (Refractometer)
- เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux meter)
- เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Autoclave)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- เครื่องอบ (Oven)
- เครื่องชั่งสารเคมี

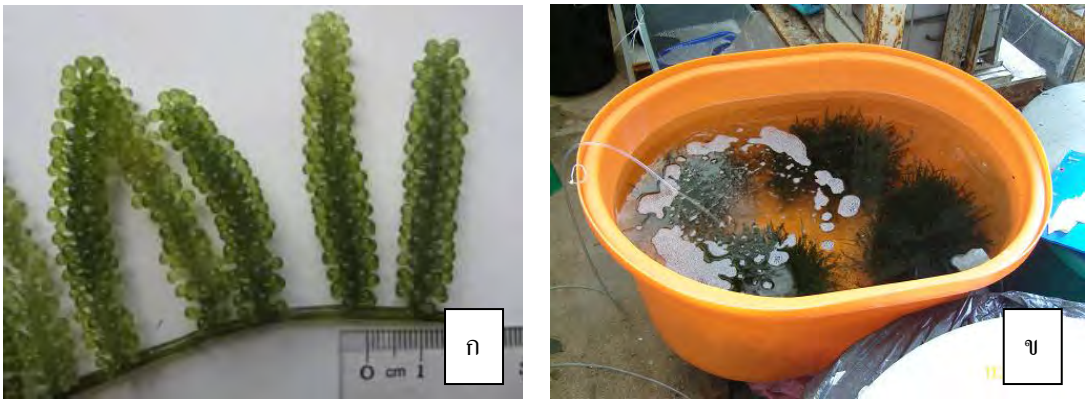
- **3.2.3 สารเคมี**

- Phenol solution (Phenol 20 g ใน 95 % V/V ethyl alcohol)
- Sodium nitropusside solution ($Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$)
- Oxidizing solution (Sodium citrate 100 g และ NaOH 5 g ในน้ำ DI 500 ml)
- Sodium hypochlorite (NaOCl)
    - Sodium nitrite ($NaNO_2$)
- Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$)
    - Sodium hydroxide (NaOH)
    - Ammonium chloride (NH_4Cl)
    - Sulphanilamide (Sulphanilamide 5 g และ HCl 50 ml)
    - NNED solution (N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride)
    - Sulfuric acid (H_2SO_4)
    - Purified potassium peroxdisulphate ($K_2S_2O_8$)
    - Boric acid (H_3BO_3)
    - Chlorine
    - 90% Acetone
    - De-ionized water (DI water)

3.3 การเตรียมระบบการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสาหร่าย

สาหร่ายที่ใช้ในการทดลองเป็นสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) (รูปที่ 3.3) โดยนำมาจากบ่อดินที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำจากบรรจงฟาร์ม อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยทำการเก็บรักษาสาหร่ายเพื่อใช้ในการทดลองในถังพลาสติกโปร่งแสงที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 25 พีพีที ให้ได้รับแสงและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามธรรมชาติ ภายใต้สภาวะที่มีการเติมอาหารปลาเพื่อเป็นแหล่งของสารอาหารให้กับสาหร่าย



รูปที่ 3.3 (ก) ลักษณะของสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) ที่ใช้ในการทดลอง และ (ข) การเก็บรักษาสาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อใช้ในการทดลอง

3.3.2 การเตรียมสัตว์น้ำ

ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) ที่ใช้ในการทดลองเป็นปลากะพงขาวที่ผ่านการปรับสภาพให้คุ้นเคยกับการกินอาหารเม็ดสำเร็จรูปได้ โดยคัดเลือกลูกพันธุ์ปลากะพงขาวที่มีขนาด 1.5 – 2 นิ้ว อายุประมาณ 2 เดือน (รูปที่ 3.4) จากแหล่งจำหน่ายพันธุ์ปลาในอำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา ทำการปรับสภาพปลากะพงขาวให้คุ้นเคยกับสภาพการเลี้ยงในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีค่าความเค็มใกล้เคียงกับบ่อเลี้ยงของฟาร์มเพาะเลี้ยงคือ 20 พีพีที ในถังขนาด 800 ลิตร เป็นเวลา 2-3 วัน จากนั้นเมื่อปลาสามารถปรับตัวได้จึงทำการปรับค่าความเค็มของน้ำสูงขึ้นเป็น 25 พีพีที เพื่อใช้สำหรับการทดลองต่อไป

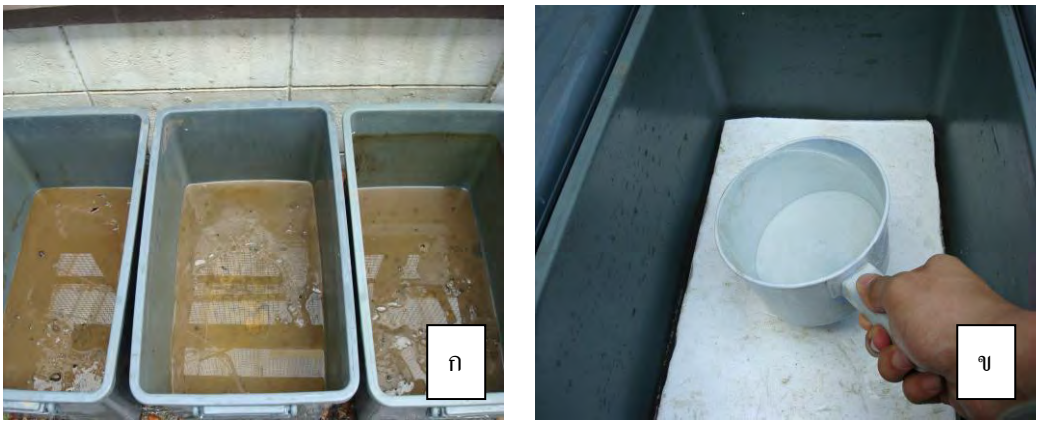
รูปที่ 3.4 ลูกปลากะพงขาวขนาดประมาณ 2 นิ้ว ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.3 การเตรียมถังทดลอง

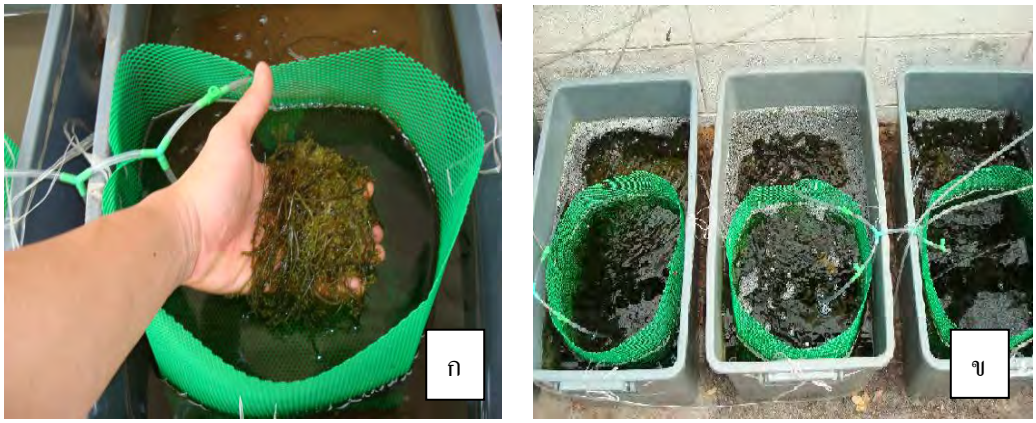
เตรียมถังทดลองโดยใช้ถังพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30x47x27 ซม. จำนวน 24 ถัง เพื่อทำการทดลองที่สภาวะแตกต่างกันดังนี้

- ถังควบคุม (6 ถัง)
- ถังทดลองไร้ดิน (6 ถัง)
- ถังทดลองที่บรรจุดิน (12 ถัง)

สำหรับถังที่เป็นตัวแทนของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควบคุมและบ่อชนิดไม่มีดิน ทำการบรรจุน้ำทะเลความเค็ม 25 พีพีที ปริมาตร 25 ลิตร และกระชังตาข่ายพลาสติกขนาด 30x47x27 ซม. ลงไปกลางถังเพื่อบรรจุสาหร่ายช่อพริกไทย ส่วนถังที่เป็นตัวแทนของรูปแบบบ่อดินจะบรรจุชั้นดินที่เก็บตัวอย่างจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีความสูงของชั้นดินจากก้นถัง 5 ซม. (รูปที่ 3.5 ก) บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 25 พีพีที ลงไปเพื่อให้ชั้นดินอัดแน่น ทำการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียไนไทรต์ และไนเทรตในน้ำ จนกระทั่งปริมาณไนเทรตคงที่ และไม่สามารถตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์ในน้ำได้ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 20 วัน เพื่อยืนยันว่ากระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในชั้นดินเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ โดยก่อนการทดลองจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (รูปที่ 3.5 ข) และใส่กระชังตาข่ายพลาสติกลงไปกลางถังในชุดการทดลองเพื่อบรรจุสาหร่ายช่อพริกไทยและใช้ในการทดลองต่อไป (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.5 การเตรียมชั้นดินในถังทดลอง (ก) และการเปลี่ยนถ่ายน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง (ข)



รูปที่ 3.6 การบรรจุสาหร่ายช่อพริกไทยในตาข่ายพลาสติกภายในถังทดลอง (ก)
และตัวอย่างถังทดลองที่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติก (ข)

3.4 การดำเนินการทดลอง

<u>การทดลองช่วงที่ 1</u> : การศึกษาบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ

โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังทดลองพลาสติกที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา ซึ่งจัดเป็นการจำลองสภาพของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ การทดลองจะเป็นแบบแบทช์ และเป็นการวิจัยในระดับทดลอง แหล่งของสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่เติมลงในถังคืออาหารปลาชนิดเม็ดสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 30% โดยทำการเติมอาหารปลาบดละเอียดทุกวันในเวลาเช้าและเวลาเย็นน้ำหนัก 0.23 กรัม /ถัง/วัน ซึ่งเทียบเท่ากับมีปลาที่ความหนาแน่นเท่ากับ 0.16 กก./

ลบ.ม. เพื่อเป็นการจำลองสภาวะของการเลี้ยงปลาความหนาแน่นต่ำ ดำเนินการทดลองอย่างน้อยเป็นเวลา 2 เดือน โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็นดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 : ถังไร้ดินที่ไม่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะกลางแจ้ง (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 : ถังไร้ดินที่ไม่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะแสงน้อย ในโรงเรือน (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 3 : ถังไร้ดินที่ใส่สาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะกลางแจ้ง

ชุดการทดลองที่ 4 : ถังไร้ดินที่ใส่สาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน

ชุดการทดลองที่ 5 : ถังที่มีดินที่ใส่สาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะกลางแจ้ง

ชุดการทดลองที่ 6 : ถังที่มีดินที่ใส่สาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน

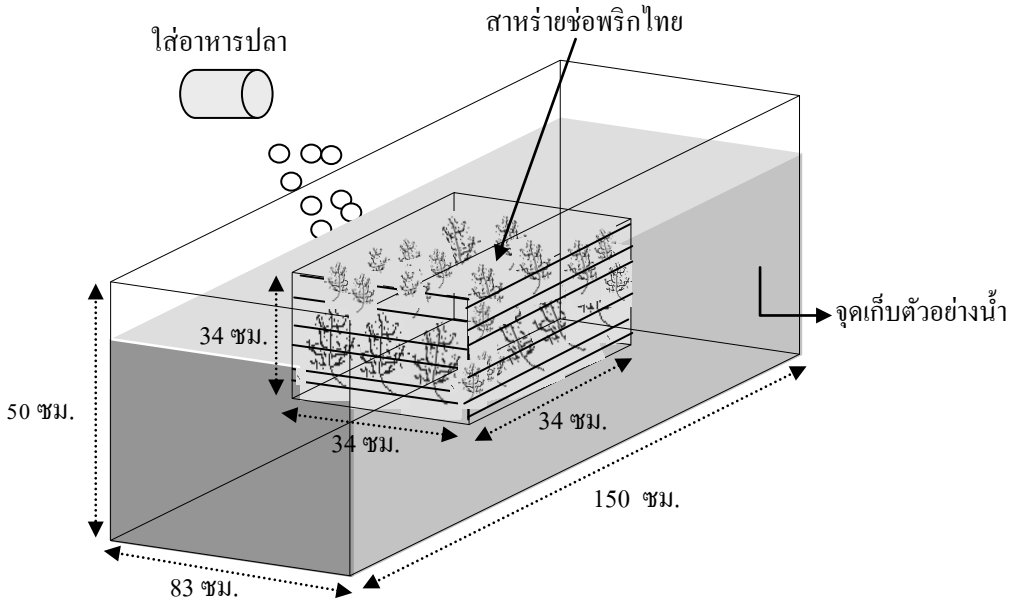
ชุดการทดลองที่ 7 : ถังที่มีดินที่ไม่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะไว้กลางแจ้ง

ชุดการทดลองที่ 8 : ถังที่มีดินที่ไม่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติก สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน

รูปแบบการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3 โดยแต่ละชุดจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ คิดเป็นจำนวนทั้งสิ้น 24 ถังการทดลอง เริ่มต้นการทดลองโดยทำการเตรียมถังทดลองตามสภาวะต่างๆ ที่กำหนดและใส่สาหร่ายช่อพริกไทยน้ำหนักเปียกประมาณ 36 กรัม ลงในกระชังพลาสติกของชุดการทดลองที่มีสาหร่าย เติมอาหารปลาลงไปเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ ติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต) ในน้ำตลอดช่วงระยะการทดลอง ภายใต้สภาวะการเดินระบบที่มีการเติมอากาศด้วยหัวทรายอย่างเพียงพอ และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่จะมีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำที่ออกจากระบบเพื่อรักษาปริมาณน้ำให้คงที่ โดยรูปที่ 3.7 แสดงรายละเอียดระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1

ตารางที่ 3.3 สรุปชุดการทดลองทั้งหมดที่ทำการศึกษา

สภาวะ การทดลอง	**ชุดการทดลอง**			
	ถังไม่มีสาหร่าย (ชุดควบคุม)	ถังไร้ดิน มีสาหร่าย	ถังที่มีดิน มีสาหร่าย	ถังที่มีดิน ไม่มีสาหร่าย
สภาวะกลางแจ้ง (ตั้งไว้กลางแจ้ง)	(ชุดการทดลองที่ 1)	(ชุดการทดลองที่ 3)	(ชุดการทดลองที่ 5)	(ชุดการทดลองที่ 7)
สภาวะแสงน้อย (ตั้งอยู่ในโรงเรือน)	(ชุดการทดลองที่ 2)	(ชุดการทดลองที่ 4)	(ชุดการทดลองที่ 6)	(ชุดการทดลองที่ 8)



รูปที่ 3.7 ระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1 (ตัวอย่างถังทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทยในตาข่ายพลาสติก และไม่มีดิน)

สำหรับชุดการทดลองที่ได้รับแสงจะตั้งอยู่กลางแจ้งให้มีแสงแดดส่องถึง มีอากาศถ่ายเท และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามธรรมชาติ (รูปที่ 3.8 ก) ส่วนชุดการทดลองที่ไม่ได้รับแสงหรือได้รับแสงน้อยจะตั้งอยู่ในโรงเรือนให้ได้รับแสงรำไรแต่มีอากาศถ่ายเท และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามธรรมชาติเช่นกัน (รูปที่ 3.8 ข) ทำการวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิเพื่อเก็บข้อมูลตลอดระยะเวลาการทดลอง

รูปที่ 3.8 (ก) ชุดการทดลองที่ตั้งอยู่กลางแจ้งและ (ข) ชุดการทดลองในโรงเรือน

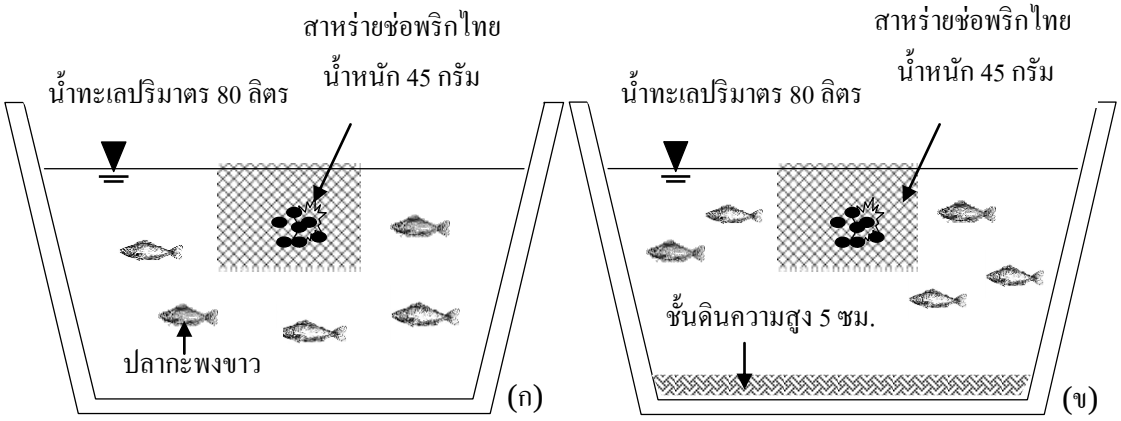
การเก็บตัวอย่างน้ำและพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์สำหรับการทดลองช่วงที่ 1

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นประจำทุกวัน วิเคราะห์และติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำในรูปแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอาหารตามธรรมชาติของแบคทีเรียในระบบ รวมทั้งติดตามการเปลี่ยนแปลงฟอสเฟต ของแข็งทั้งหมด และเก็บข้อมูลเบื้องต้น เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง และความเค็ม ทำการชั่งน้ำหนักสาหร่ายเพื่อประเมินการเจริญเติบโตโดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองในระบบการทดลองแต่ละรูปแบบ โดยรายละเอียดการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

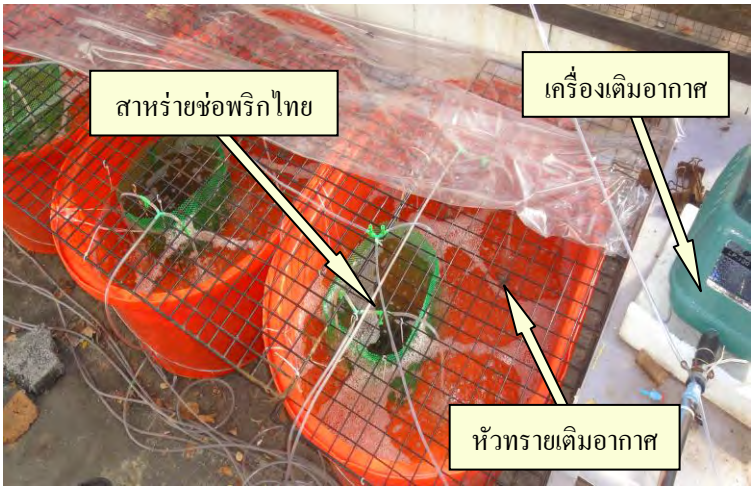
1. การตรวจวัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในน้ำจากชุดการทดลอง ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำทะเลของ Strickland และ Parsons (1972) เพื่อวิเคราะห์และติดตามการเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์ไนโตรเจน และสารประกอบฟอสเฟตโดยเปรียบเทียบในแต่ละชุดทดลองที่มีการจำลองสภาพของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแตกต่างกัน 3 รูปแบบ
2. การตรวจวัดปริมาณอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยโดยการกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มม. และอบภายใต้อุณหภูมิ 103 ถึง 105 °ซ เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นจึงทำการชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งเพื่อตรวจหาน้ำหนักของของแข็งบนกระดาษกรอง
3. การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่มีในจุลสาหร่ายทุกชนิดและเป็นตัวแทนของจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยง จะใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย วิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำทะเลของ Strickland และ Parsons (1972) โดยเก็บข้อมูลวันเริ่มต้นเปรียบเทียบกับวันสิ้นสุดการทดลอง
4. การตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทยจะใช้วิธีการชั่งน้ำหนัก โดยทำการชั่งน้ำหนักสาหร่ายเพื่อประเมินการเจริญเติบโตเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

<u>การทดลองช่วงที่ 2</u> : การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อทำการทดลองร่วมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในถังเพาะเลี้ยง 3 รูปแบบ

เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน ทำการทดลองเลี้ยงร่วมกับปลากะพงขาวในระบบบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ โดยวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ชุดการทดลอง และการเตรียมระบบเพื่อใช้ในการทดลองจะดำเนินการเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 แตกต่างกันเพียงมีการนำปลากะพงขาวมาเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทยในทุกชุดการทดลอง เริ่มต้นการทดลองโดยปล่อยลูกพันธุ์ปลากะพงขาวที่มีขนาด 1.5 – 2 นิ้ว อายุประมาณ 2 เดือน ที่ผ่านการปรับสภาพให้สามารถเติบโตได้ในน้ำทะเลความเค็ม 25 พีพีที ลงในถังการทดลองที่อัตราความหนาแน่นเท่ากับ 0.3 กก./ลบ.ม. ในถังพลาสติกขนาด 130 ลิตร ที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 25 พีพีที ปริมาตร 80 ลิตร จำนวน 24 ถัง (สำหรับ 8 ชุดการทดลองและแต่ละชุดการทดลองทำ 3 ถัง) ตั้งไว้บริเวณกลางแจ้งให้มีอากาศถ่ายเทและมีแสงแดดส่องถึง เปรียบเทียบกับถังทดลองที่ตั้งไว้ในบริเวณที่มีแสงน้อยหรือภายในโรงเรือน โดยภายในถังจะมีการให้อากาศอย่างเพียงพอตลอดเวลาด้วยเครื่องเติมอากาศ (RESUN® LP-100) ตลอดการทดลอง ซึ่งในแต่ละถังจะมีหัวทรายเติมอากาศจำนวนถังละ 8 หัว กระจายอยู่ทั่วถังเพาะเลี้ยง รูปที่ 3.9 แสดงรายละเอียดของระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 และรูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างของระบบที่พร้อมสำหรับดำเนินการทดลองในช่วงที่ 2

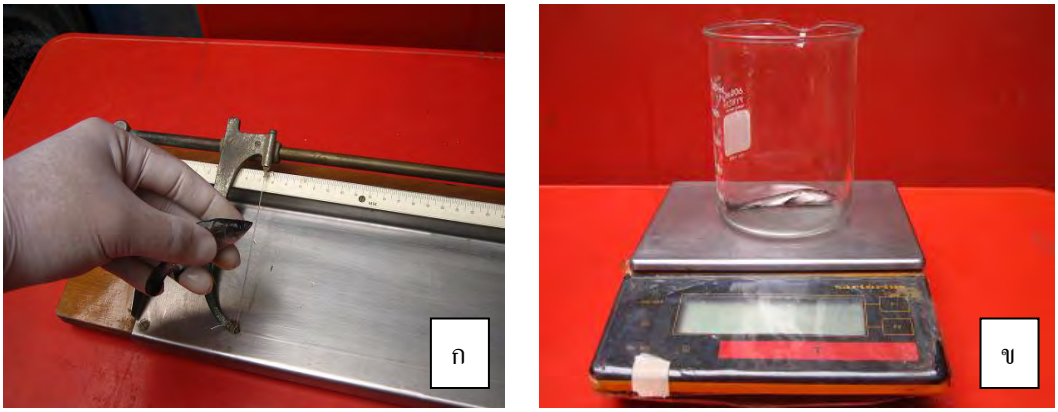


รูปที่ 3.9 (ก) ระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 (ตัวอย่างถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีสาหร่ายในตาข่าพลาสติก และไม่มีดิน) และ (ข) ระบบที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 (ตัวอย่างถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติก และมีชั้นดิน)



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2

สำหรับชุดการทดลองที่มีสาหร่ายจะทำการชั่งน้ำหนักสาหร่ายช่อพริกไทยเริ่มต้นและบรรจุสาหร่ายช่อพริกไทยน้ำหนักเปียกประมาณ 45 กรัม ลงในกระชังพลาสติกของชุดทดลอง ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและและวัดความยาวของปลากะพงขาวทุกตัวในถังทุกชุดการทดลองด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่งและอุปกรณ์วัดความยาว (รูปที่ 3.11) สำหรับอาหารปลากะพงขาวจะใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ใส่อาหารน้ำหนักประมาณ 1.3 กรัม/ถัง/วัน โดยคำนวณปริมาณอาหารที่ให้จาก 5 % ของน้ำหนักปลาในถังเพาะเลี้ยง และปรับปริมาณให้มากขึ้นหรือน้อยลงเมื่อปลามีการเจริญเติบโตหรือมีการตายเกิดขึ้น แบ่งการให้อาหารแบ่งให้ 2 ช่วงเวลา คือ ในเวลาตอนเช้าและตอนเย็น ทำการทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 2 เดือน โดยวันเริ่มต้นการทดลองนับจากวันที่เริ่มปล่อยปลากะพงขาวลงในถังเพาะเลี้ยง ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ และติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำตลอดการทดลองโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ยกเว้นการเติมน้ำเพื่อชดเชยความเค็มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการระเหย



รูปที่ 3.11 (ก) อุปกรณ์ที่ใช้วัดความยาวปลากะพงขาว
(ข) การชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

การเก็บตัวอย่างน้ำและพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์สำหรับการทดลองช่วงที่ 2

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นประจำทุกวัน วิเคราะห์และติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำในรูปแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต รวมทั้งติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตและของแข็งทั้งหมด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดลองช่วงที่ 1 เก็บข้อมูลเบื้องต้นต่างๆ ของสภาวะการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มแสง ปริมาณออกซิเจนละลาย และความเค็ม ทำการชั่งน้ำหนักสาหร่ายและน้ำหนักปลากะพงขาวเพื่อประเมินการเจริญเติบโตตลอดระยะเวลาการทดลอง

ทำการประเมินอัตราการเติบโตของปลากะพงขาวโดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลากะพงขาวทุกตัวในถังเพาะเลี้ยง เพื่อใช้คำนวณน้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของปลากะพงขาวในแต่ละถัง ตลอดจนใช้ในการคำนวณอัตราการเติบโตของปลากะพงต่อวัน (Daily weight gain) เปอร์เซ็นต์อัตราการรอดของปลากะพงขาว (Survival rate of fish) อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio) และผลผลิตของปลากะพงขาว (Production of fish) จากสูตรต่างๆ ดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราการเติบโตต่อวัน (กรัม/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย – น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง (วัน)}}$$

$$\text{อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนปลากะพงขาวที่เหลือ x 100}}{\text{จำนวนปลากะพงขาวที่ปล่อยทั้งหมด}}$$

$$\text{อัตราการแลกเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้ปลากะพงขาวทั้งหมด (กก.)}}{\text{น้ำหนักรวมของปลากะพงขาวที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด (กก.)}}$$

$$\text{ผลผลิต (กก./ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของปลากะพงขาวทั้งหมด (กก.)}}{\text{พื้นที่บ่อ (ไร่)}}$$

ทำการประเมินสมดุลไนโตรเจนในระบบตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษาเพื่อระบุประสิทธิภาพการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยสาหร่ายช่อพริกไทย ด้วยการตรวจวัดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบ ซึ่งแหล่งของสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบได้แก่ ไนโตรเจนในอาหารปลากะพงขาว ไนโตรเจนที่อยู่ในสาหร่ายช่อพริกไทย และไนโตรเจนในน้ำและในดินก่อนที่จะดำเนินการทดลอง ส่วนสารประกอบไนโตรเจนที่ออกจากระบบ ได้แก่ ไนโตรเจนที่ปลากะพงขาวและสาหร่ายช่อพริกไทยนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ไนโตรเจนในน้ำและชั้นดินที่เหลืออยู่ในระบบ โดยไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบเพาะเลี้ยงจะถูกนำมาใช้ในการหาสัดส่วนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนในระบบ

ทั้งหมด เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งรายละเอียดการประเมินสมดุลไนโตรเจนของระบบแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินสมดุลไนโตรเจนในการทดลองช่วงที่ 2

สมดุลไนโตรเจน	**ชนิดของตัวอย่าง**	**ปริมาณไนโตรเจน (กรัม -ไนโตรเจน/ถัง)**
ไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ	อาหารปลานิล	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในอาหารปลานิล
	ปลา	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในปลา
	น้ำ	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในน้ำ
	ดิน	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในดิน
	สาหร่าย	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในสาหร่าย
ไนโตรเจนเมื่อ สิ้นสุดการทดลอง	ปลา	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในปลา
	น้ำ	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในน้ำ
	ดิน	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในดิน
	สาหร่าย	กรัม-ไนโตรเจน/ถัง ในสาหร่าย

สำหรับพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ความถี่ และวิธีการวิเคราะห์ สำหรับการทดลองในช่วงที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ ความถี่ และวิธีการวิเคราะห์สำหรับการตรวจวัดคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว

พารามิเตอร์	ความถี่	วิธีการวิเคราะห์/ เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์
แอมโมเนีย	ทุก 2 วัน	Colorimetric และ Spectophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ไนไทรต์	ทุก 2 วัน	Colorimetric และ Spectophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ไนเทรต	ทุก 2 วัน	Colorimetric และ Spectophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ฟอสเฟต	ทุก 2 วัน	Colorimetric และ Spectophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ไนโตรเจนทั้งหมด	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	Colorimetric และ Spectophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ	ทุก 5 วัน	Solvent extraction และ Spectophotometric	Strickland และ Parsons (1972)
ของแข็งแขวนลอย	ทุก 5 วัน	กรองบนกระดาษกรอง GF/C และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Standard Method (1998)
ปริมาณออกซิเจนละลาย	ทุก 7 วัน	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลาย	DO meter
อุณหภูมิ	ทุก 7 วัน	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	Thermometer
ความเค็ม	ทุก 7 วัน	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเค็ม	Refractometer
ความเข้มแสง	ทุก 7 วัน	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดแสง	Lux meter
อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย	ทุก 1 เดือน	ชั่งน้ำหนักของสาหร่ายช่อพริกไทย	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
อัตราการรอดของปลากะพงขาว	ทุก 1 เดือน	นับจำนวนปลากะพงขาวที่เหลือในบ่อเพาะเลี้ยง	
อัตราการเติบโตของปลากะพงขาว	ทุก 1 เดือน	ชั่งน้ำหนักปลากะพงขาวและวัดความยาว	

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 บทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ

การทดลองในช่วงนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังพลาสติกที่จำลองสภาพของบ่อที่ยังไม่มีการเลี้ยงปลาในถัง 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบบ่อดิน ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง และระบบบ่อในโรงเรือนที่ไม่มีดิน ภายใต้สภาวะการทดลองที่จำลองให้แตกต่างกันจำนวน 8 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 3.3) โดยเปรียบเทียบระหว่างถังทดลองที่ตั้งไว้ในบริเวณที่มีแสงแดดส่องถึงในสภาวะกลางแจ้งและสภาวะแสงน้อยที่ตั้งอยู่ในโรงเรือน นอกจากนั้นยังเปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่มีชั้นดินที่ก้นถังและไม่มีชั้นดิน ระบบที่ใช้ในการทดลองเป็นถังพลาสติกที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 25 พีเอสยู ปริมาตรน้ำ 25 ลิตร ทุกชุดทดลองมีการเติมอากาศตลอดเวลา โดยแหล่งของสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่เติมลงในถังคืออาหารปลาบดละเอียดที่มีโปรตีน 30% น้ำหนัก 0.23 กรัม ทุกวันตลอดการทดลอง

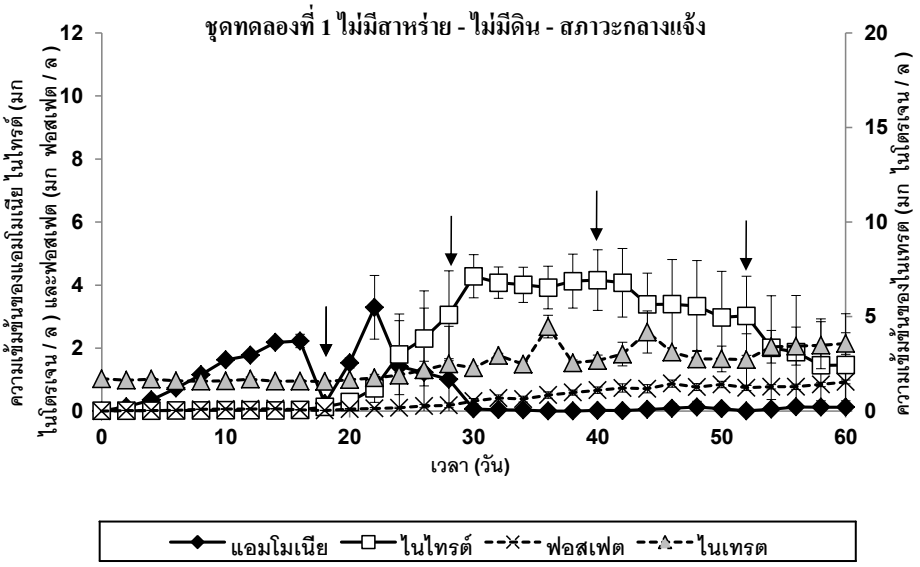
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ

จากการวิเคราะห์และติดตามสารประกอบไนโตรเจนตลอดจนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำของระบบการทดลองทั้ง 8 ชุด ตลอดระยะเวลา 61 วัน พบว่ามีรายละเอียดดังนี้

<u>ชุดการทดลองที่ 1</u> (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และตั้งอยู่กลางแจ้ง โดยผลการทดลองในช่วงแรกแสดงให้เห็นว่าจะพบการเพิ่มของแอมโมเนียในน้ำ โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในช่วงวันที่ 16 เท่ากับ 2.2 มก.ไนโตรเจน/ลิตร เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติในถังจะปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาตามกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะการปลดปล่อยแอมโมเนียในลักษณะเดียวกันกับที่พบในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป (Jangrassa และคณะ, 2007) แอมโมเนียดังกล่าวเป็นผลมาจากการย่อยสลายโปรตีนในอาหารปลา โดยแอมโมเนียจะลดลงหลังจาก 16 วัน จากนั้นปริมาณแอมโมเนียจะลดลงและคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากแอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนไทรต์จากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria) ในขั้นตอนแรก

ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยพบการเพิ่มขึ้นของไนไทรต์ในความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 4.2 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 54 ของการทดลอง และไนไทรต์จะลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเทรตโดยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria) ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน อย่างไรก็ตามพบว่าไนไทรต์ยังคงมีการสะสมอยู่ในปริมาณมากโดยที่ไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเทรต ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะพบได้ทั่วไปในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีดิน (Jangrassa และคณะ, 2007) โดยมีการสะสมของไนเทรตเกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 36 โดยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 8.3 มก.ไมโตรเจน/ล. นอกจากนี้ยังพบการสะสมของฟอสเฟตในถังในช่วงท้ายของการทดลองตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตได้เท่ากับ 1.5 มก.ฟอสเฟต/ลิตร ในวันที่ 60 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของไนเทรตและฟอสเฟตในช่วงท้ายของการทดลองมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 40 เนื่องจากสีน้ำเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียว เนื่องจากมีแพลงก์ตอนพืชซึ่งจะสามารถนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้บางส่วน

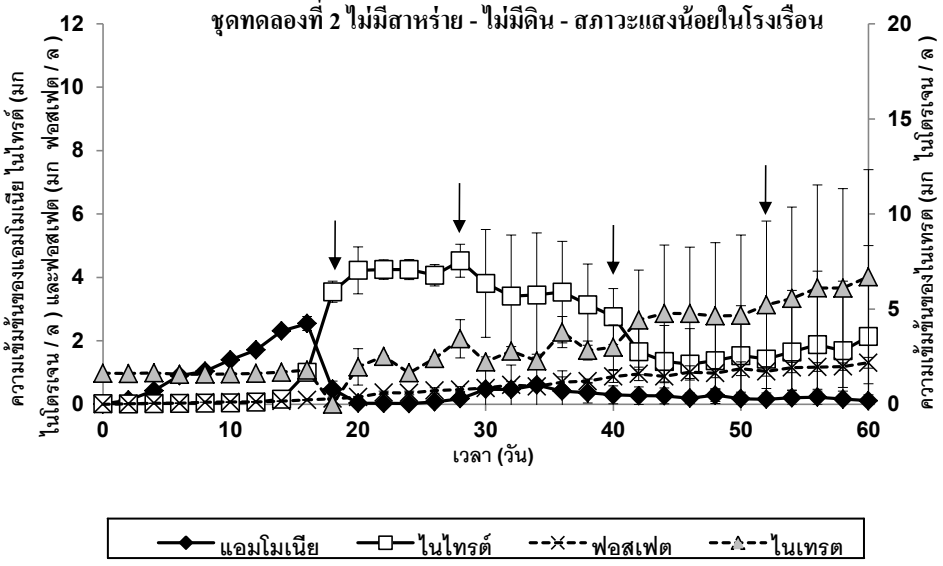


รูปที่ 4.1 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 1 (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 2</u> (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และตั้งไว้ในโรงเรือนซึ่งได้รับแสงน้อย โดยผลการทดลองในช่วงแรกแสดงให้เห็นว่าจะพบการเพิ่มของแอมโมเนียในน้ำ โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในช่วงวันที่ 16 เท่ากับ 2.5 มก. ไนโตรเจน/ลิตร และแอมโมเนียจะลดลงหลังจาก 16 วัน จากนั้นปริมาณแอมโมเนียจะลดลงและคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากแอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนไทรต์จากการทำงานของ

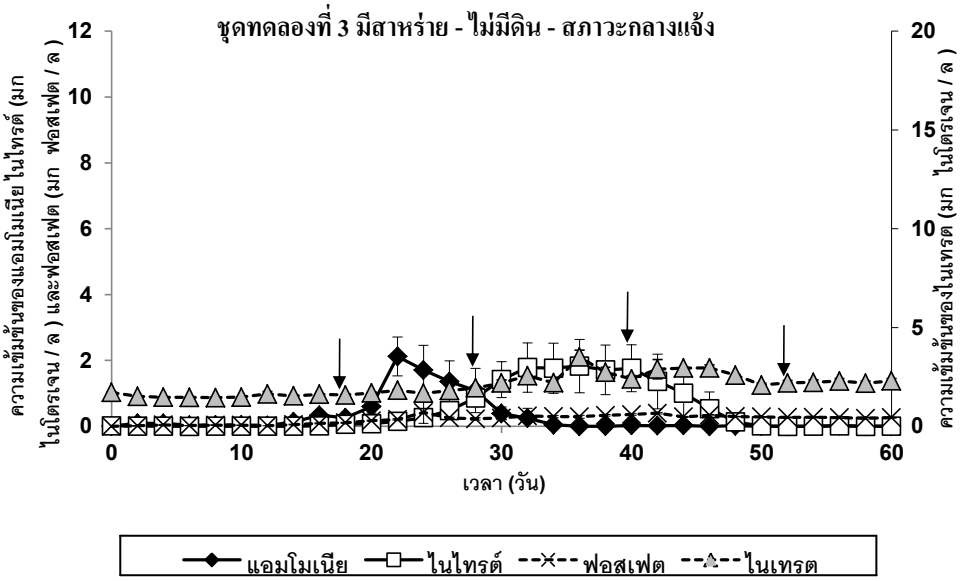
แบคทีเรียกลุ่ม AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria) หลังจากนั้นพบการเพิ่มขึ้นของไนไทรต์ในความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 4.5 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 28 ของการทดลอง และไนไทรต์จะลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเทรตโดยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria) ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยพบการสะสมของไนเทรตจะเกิดขึ้นในวันที่ 38 จนสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 60 ซึ่งวัดปริมาณไนเทรตได้เท่ากับ 8.8 มก.ไนโตรเจน/ลิตร นอกจากนี้ยังพบการสะสมของฟอสเฟตในช่วงท้ายของการทดลอง โดยวัดปริมาณฟอสเฟตได้ในวันที่ 60 เท่ากับ 2.1 มก.ฟอสเฟต/ลิตร



รูปที่ 4.2 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 2 (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 3</u> (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

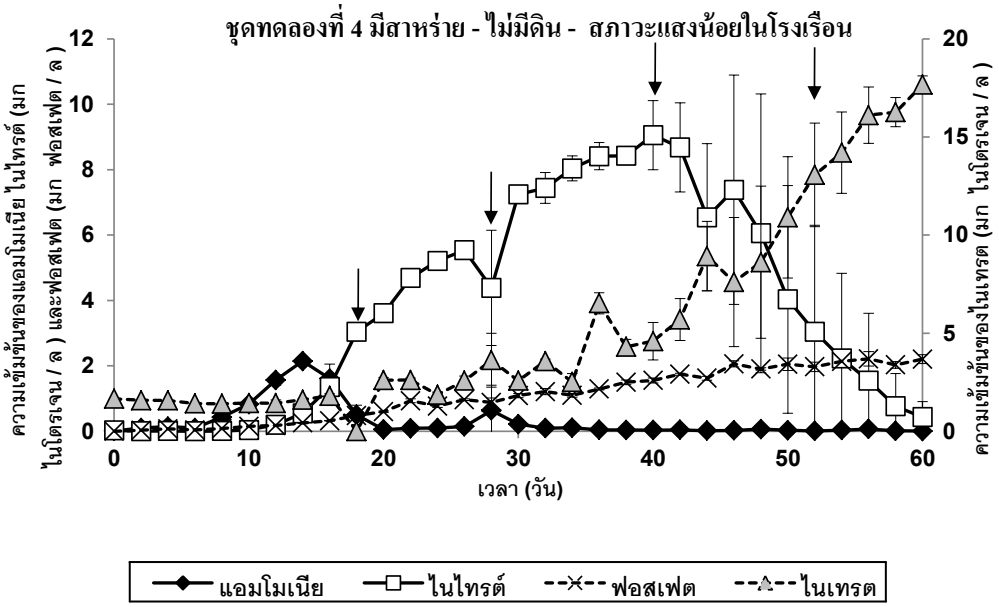
การมีสาหร่ายอยู่ในถังที่ไม่มีดินจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำที่แตกต่างจากชุดทดลองที่ 1 และ 2 อย่างชัดเจน (รูปที่ 4.3) โดยการที่มีสาหร่ายในถังไร้ดินที่ตั้งไว้กลางแจ้งในสภาวะที่มีแสงมาก จะพบการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไทรต์เพียงเล็กน้อย โดยมีปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 2.1 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 22 และพบไนไทรต์ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 4.5 ในวันที่ 28 จากนั้นไนไทรต์จะเริ่มลดลงในวันที่ 40 ในช่วงท้ายของการทดลองไม่พบการสะสมของไนเทรต โดยปริมาณไนเทรตในวันสุดท้ายที่วัดได้เท่ากับ 2.3 มก.ไนโตรเจน/ลิตร นอกจากนั้นยังไม่พบการสะสมของฟอสเฟตอีกด้วย



รูปที่ 4.3 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 3 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 4</u> (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

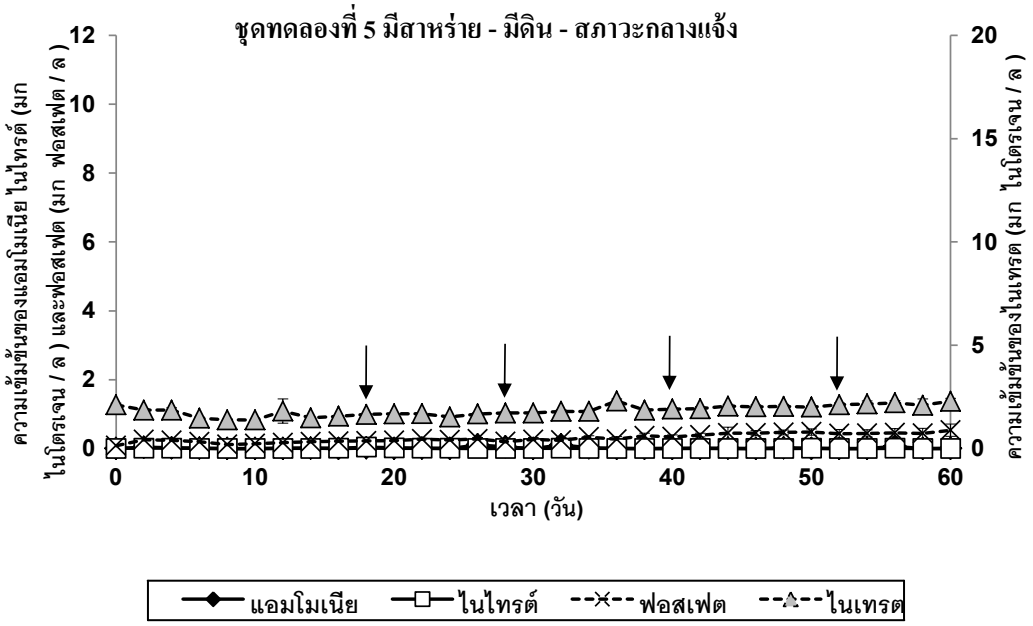
ผลการทดลองของชุดที่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และตั้งไว้ในโรงเรือนให้ได้รับแสงน้อย โดยผลการทดลองพบว่าการมีสาหร่ายในถังสาหร่ายแทบจะไม่มีการเติบโตขึ้นเลย (รูปที่ 4.4) โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในช่วงวันที่ 14 เท่ากับ 2.1 มก.ไนโตรเจน/ลิตร จากนั้นปริมาณแอมโมเนียจะลดลงและคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากแอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนไทรต์ในขั้นตอนแรกของกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยพบการเพิ่มขึ้นของไนไทรต์ในวันที่ 40 ความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 9.0 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีการสะสมของไนไทรต์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ หลังจากนั้นไนไทรต์จะเริ่มลดลงในวันที่ 42 โดยในวันสุดท้ายของการทดลองไม่พบการสะสมของไนไทรต์ เนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ ทำให้ไนไทรต์ถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเทรต โดยจะพบการสะสมของไนเทรต ปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 17.6 มก.ไนโตรเจน/ล. ในวันที่สุดท้ายของการทดลอง ซึ่งมีการสะสมของไนเทรตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ จึงแสดงให้เห็นว่าการบำบัดไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นหลักแม้ว่าจะมีสาหร่ายอยู่ในน้ำด้วยก็ตาม



รูปที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 4 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 5</u> (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

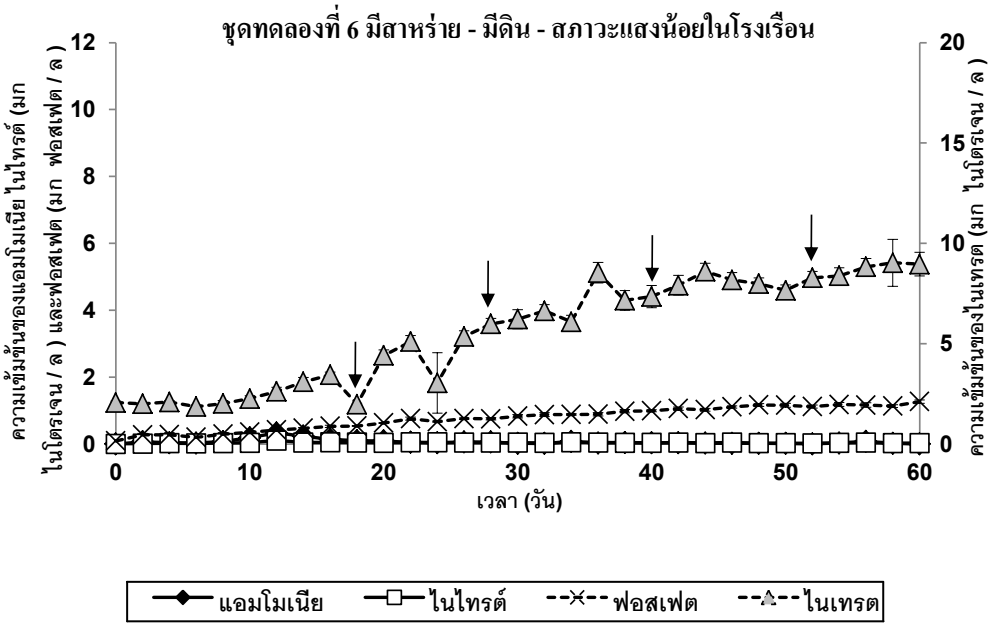
ผลการทดลองของชุดที่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง ซึ่งได้รับแสงเพียงพอ พบว่ามีปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตอยู่ในระดับความเข้มข้นต่ำตลอดการทดลอง (รูปที่ 4.5) โดยแอมโมเนียจะเกิดการบำบัดทั้งจากการดูดซึมแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ และกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นที่ผิวดินก้นถัง ซึ่งดินที่อยู่ที่ก้นถังเป็นดินทรายที่มีความพรุนสามารถเป็นตัวกลางให้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียเติบโต และเกาะอยู่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการบำบัดไนโตรเจนได้ โดยจะเห็นได้ว่ามีการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ และในเวลาเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543) ซึ่งจะพบปริมาณไนเทรตคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณไนเทรตที่วัดได้ในวันสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 2.3 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และการจัดให้มีแสงอย่างเพียงพอทำให้สาหร่ายช่อพริกไทยเกิดการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ โดยการทำงานร่วมกันระหว่างสาหร่ายช่อพริกไทยและกระบวนการบำบัดโดยแบคทีเรียผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันทำให้ชุดทดลองนี้มีการสะสมของแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองลองอื่นๆ



รูปที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 5 (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 6</u> (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

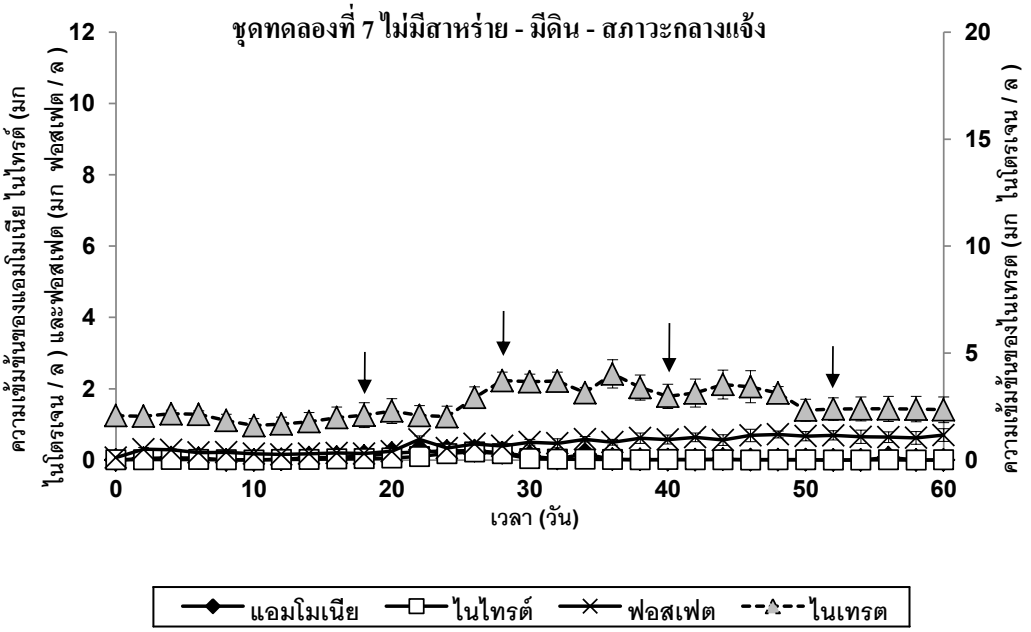
ผลการทดลองพบว่ามีแอมโมเนีย และไนไทรต์ในระดับที่ต่ำ มีการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต โดยเริ่มมีการสะสมของไนเทรตในวันที่ 8 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการบำบัดจะเกิดขึ้นโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ผิวดินก้นถัง ซึ่งดินที่อยู่ที่ก้นถังเป็นดินทรายที่มีความพรุนสามารถเป็นตัวกลางให้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียเติบโต และเกาะอยู่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการบำบัดไนโตรเจนได้ โดยแม้ว่าจะมีสาหร่ายช่อพริกไทยในตาข่ายพลาสติกแต่ก็ไม่สามารถสังเคราะห์แสงดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ได้ เนื่องจากอยู่ในสภาวะได้รับแสงน้อย ชุดการทดลองที่ตั้งไว้ในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือนนั้นจะพบการสะสมของไนเทรตอย่างชัดเจน โดยแอมโมเนียจะเปลี่ยนเป็นไนไทรต์และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นไนเทรตในกระบวนการไนตริฟิเคชันที่บริเวณชั้นดินและสภาวะที่ได้รับแสงน้อยแพลงก์ตอนพืชจะไม่สามารถเติบโตได้จึงพบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต การสะสมของไนเทรตจะเพิ่มมากขึ้นจนสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 60 โดยวัดปริมาณไนเทรตได้เท่ากับ 8.9 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ส่วนการสะสมของฟอสเฟตในวันสิ้นสุดการทดลองเพิ่มสูงสุดเท่ากับ 1.2 มก.ฟอสเฟต/ลิตร ในวันสิ้นสุดของการทดลอง



รูปที่ 4.6 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 6 (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 7</u> (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

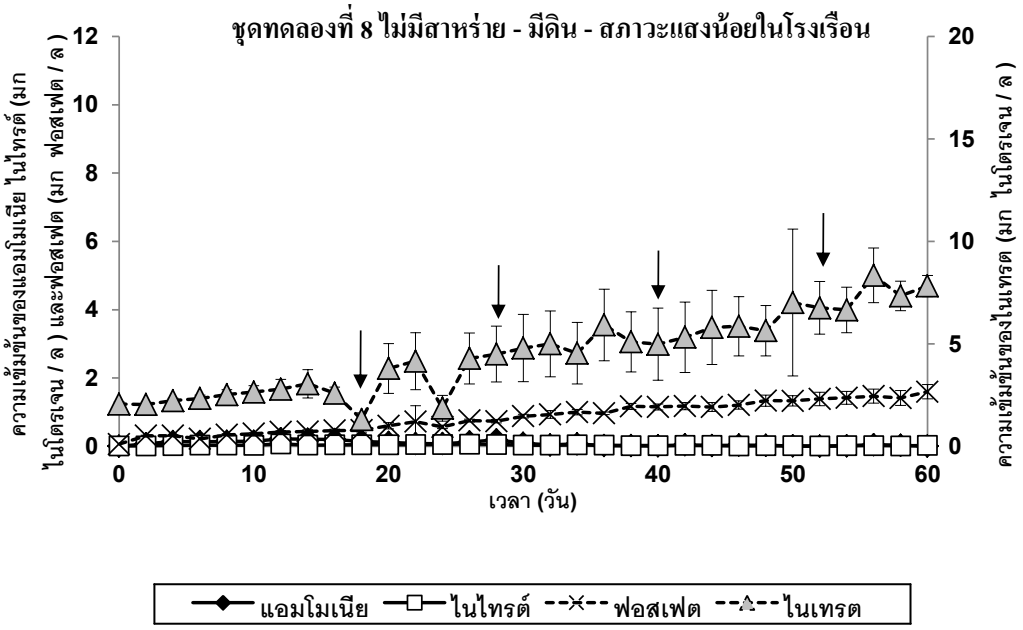
สำหรับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในถังทดลองที่มีดินไม่มีสาหร่ายในตาข่ายพลาสติกและอยู่ในสภาวะกลางแจ้งได้รับแสงมาก พบว่าชั้นดินที่ก้นถังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ มีปริมาณแอมโมเนีย และไนไทรต์ในระดับต่ำ เนื่องจากเกิดการบำบัดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ผิวของชั้นดิน ส่วนในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน ไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน มีการสะสมของไนเทรตในช่วงวันที่ 28-50 และมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 46 จนถึงวันสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากในสภาวะกลางแจ้งการจัดให้ได้รับแสงอย่างเพียงพอจะทำให้แพลงก์ตอนพืชสามารถเติบโตได้ โดยแพลงก์ตอนพืชจะมีส่วนในการนำสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ จึงทำให้พบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟตในน้ำลดลงในวันที่ 50 จนสิ้นสุดของการทดลอง โดยมีปริมาณการสะสมของไนเทรตในวันสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 2.3 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และมีปริมาณของฟอสเฟตสะสมเท่ากับ 0.7 มก.ไนโตรเจน/ลิตร



รูปที่ 4.7 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 7 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 8</u> (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในถังทดลองที่ไม่มีสาหร่าย มีดินและตั้งอยู่ในสภาวะแสงน้อยโรงเรือน ภายในถังจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งดินที่อยู่ที่ก้นถังสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการบำบัดไนโตรเจนได้ โดยแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไทรต์และไนเทรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเกิดที่บริเวณผิวดินที่มีปริมาณออกซิเจนสูง และในขณะเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน โดยจะพบการสะสมของไนเทรตในวันสิ้นสุดการทดลองเพิ่มสูงสุดเท่ากับ 7.8 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งภาวะเช่นนี้จะพบได้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป (Jangrassa และคณะ, 2007 ; Kutako และคณะ, 2009) สำหรับชุดการทดลองที่ตั้งไว้ในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน นั้นจะพบการสะสมของไนเทรตอย่างชัดเจน เนื่องมาจากการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่บริเวณชั้นดิน และด้วยการจัดให้อยู่ในสภาวะแสงน้อยจึงทำให้แพลงก์ตอนพืชไม่สามารถเติบโตได้จึงพบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟตในถังตลอดการทดลอง โดยมีปริมาณการสะสมของไนเทรตในวันสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 7.8 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และมีปริมาณของฟอสเฟตสะสมเท่ากับ 1.5 มก.ไนโตรเจน/ลิตร

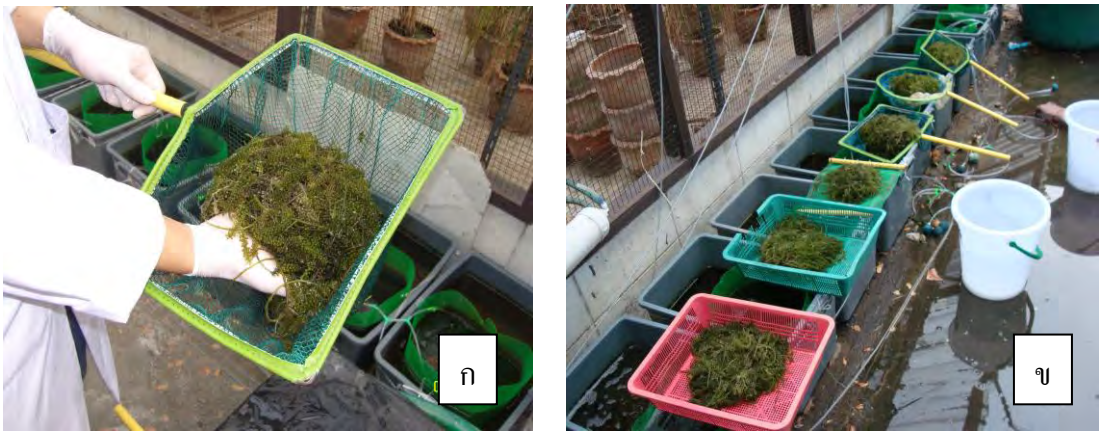


รูปที่ 4.8 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 8 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

4.1.2 การเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย

การเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายช่อไทยไทย (รูปที่ 4.9) ผลการตรวจวัดการเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทยในถังทดลองที่มีการใส่สาหร่ายในกระชังพลาสติก ได้แก่ ถังที่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 3) ถังที่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 4) ถังที่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 5) ถังที่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 6) ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก พบว่าชุดการทดลองที่จัดให้อยู่กลางแจ้งในสภาวะที่ได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอ (ชุดการทดลองที่ 3 และ 5) พบว่ามีการเติบโตเท่ากับ 6.42±1.42 กรัม/วัน และ 9.30±1.58 กรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 165.07±43.30 และ 217.18±35.54 ของน้ำหนักเริ่มต้น ส่วนในชุดการทดลองที่ตั้งอยู่สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 4 และ 6 เมื่อสิ้นสุดการทดลองสาหร่ายช่อพริกไทยมีเติบโตเท่ากับ 0.14±0.13กรัม/วัน และ 0.44±0.08 กรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 16.18±2.70 และ 22.85±2.00 ของน้ำหนักเริ่มต้น โดยผลการตรวจวัดการเติบโตของสาหร่ายแสดงดังตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแสงมีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย โดยมีอัตราการเติบโตของสาหร่ายสูงมากเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่อยู่ในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน ซึ่งชุดการทดลองที่ 5 สาหร่ายช่อพริกไทยสามารถช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในถังทดลองทำให้ไม่พบการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตตลอดระยะเวลาการทดลอง ส่วนในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าสาหร่ายเติบโตได้ดีเช่นกันและพบการ

เพิ่มขึ้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์เพียงเล็กน้อยและไม่พบการสะสมของไนเทรต แตกต่างกับถังที่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และตั้งไว้ในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 4) พบว่าสาหร่ายมีอัตราการเติบโตน้อยมากและพบการสะสมของแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรตและฟอสเฟตปริมาณสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกชุดการทดลอง ส่วนในถังที่มีสาหร่ายมีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 6) สาหร่ายช่อพริกไทยเติบได้น้อยและไม่มีส่วนช่วยในการควบคุมคุณภาพน้ำแต่ในระบบนี้จะไม่พบการสะสมของแอมโมเนีย และไนไทรต์ เนื่องจากเกิดกระบวนการบำบัดในชั้นดิน



รูปที่ 4.9 (ก) การเก็บเกี่ยวสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก และ (ข) ผลผลิตสาหร่ายช่อพริกไทยในชุดการทดลองที่ได้รับแสง

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดการเติบโตสาหร่ายโดยวิธีชั่งน้ำหนัก (กรัม/ถัง) ระยะเวลาการทดลอง 61 วัน

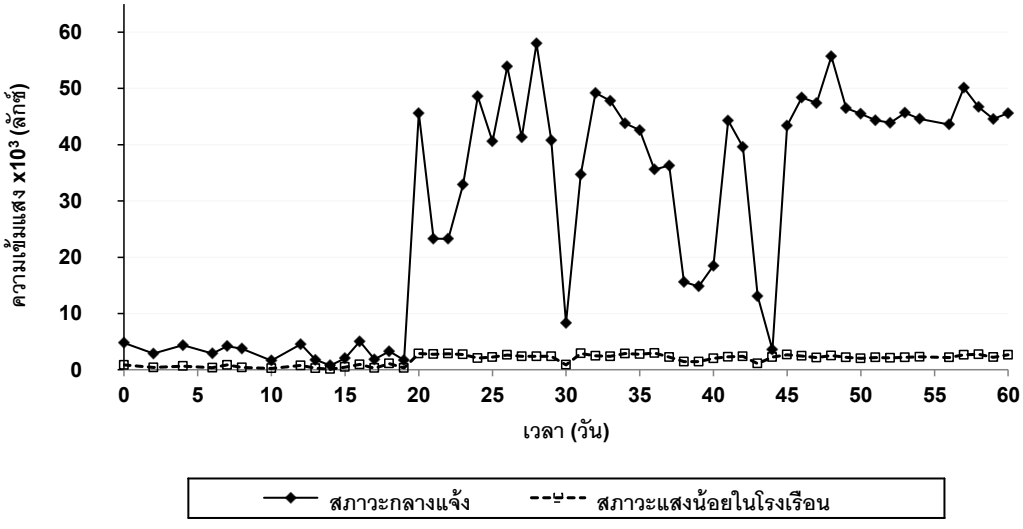
สภาพแสง	ชุดที่	สภาวะทดลอง	น้ำหนักเปียกของสาหร่ายช่อพริกไทย (กรัม/ถัง)			
			ก่อนทดลอง (กรัม/ถัง)	สิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ถัง)	อัตราการเติบโต (กรัม/วัน)	ร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
สภาวะกลางแจ้ง	3	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	37.96±4.03	429.70±78^{b}	6.42±1.42	165.07±43.30
(ตั้งไว้กลางแจ้ง)	5	มีสาหร่าย มีดิน	36.00±0.15	603.05±79.6^{c}	9.30±1.58	217.18±35.54
สภาวะแสงน้อย	4	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	36.29±0.25	44.60±7.60^{a}	0.14±0.13	16.18±2.70
(ตั้งไว้ในโรงเรือน)	6	มีสาหร่าย มีดิน	36.26±0.30	63.00±5.06^{a}	0.44±0.08	22.85±2.00

หมายเหตุ : $^{a-c}$ คือ ตัวอักษร แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยความแปรปรวน (ANOVA)

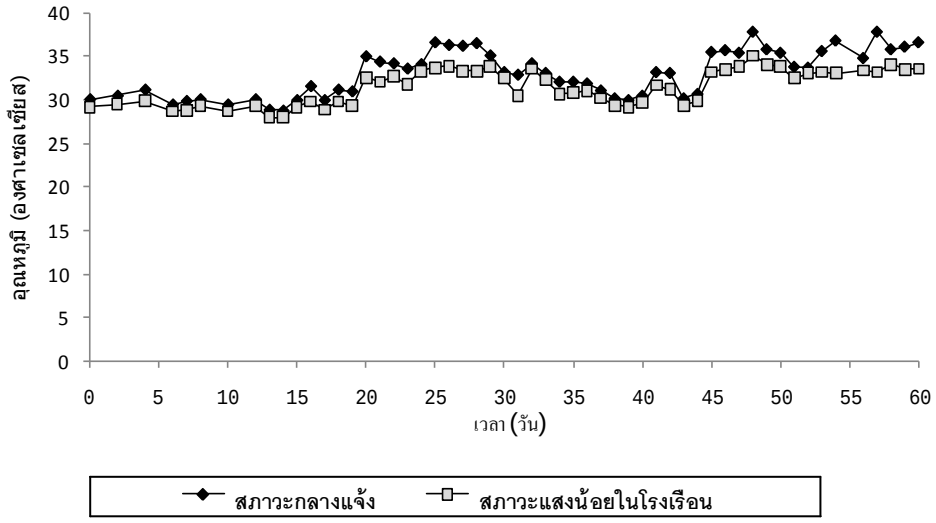
4.1.3 สภาพแวดล้อมในการทดลอง

ความเข้มแสงและอุณหภูมิ

จากการเก็บข้อมูลผลการตรวจวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย โดยตรวจวัดในช่วงเวลาแดดจัด (13.00 น.) ของทุกวันตลอดการทดลอง(รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มแสงในช่วง 20 วันแรกของการทดลองของถังที่ตั้งไว้กลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 1 3 5 และ 7) และถังที่ตั้งไว้ในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 2 4 6 และ 8) มีค่าความเข้มแสงไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากสภาพอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวมีฝนตกและมีเมฆมาก ทำให้มีผลกระทบโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทยในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายในกระชังพลาสติก โดยปริมาณแสงที่ได้รับไม่เพียงพอที่จะทำให้การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตด้วยการดูดซึมเข้าสู่เซลล์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ แต่เมื่อผ่านเวลาดังกล่าวพบว่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ในเวลากลางวันของถังที่ตั้งไว้กลางแจ้งตลอดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 803 - 58,000 ลักซ์ ในขณะที่ความเข้มแสงของถังที่ตั้งไว้ในโรงเรือนมีค่าอยู่ระหว่าง 125 - 2,900 ลักซ์ ซึ่งเป็นปริมาณที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยจากการศึกษาของอลิสา (2543) ได้แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงเพียง 15,000 ลักซ์ ก็เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย และการศึกษาของธีรพงษ์ (2545) ระบุว่าความเข้มแสงระหว่าง 3,700-18,000 ลักซ์ มีผลทำให้สาหร่ายช่อพริกไทยสามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.10 ปริมาณความเข้มแสงที่แตกต่างกันที่เวลา 13.00 น. ในแต่ละวันตลอดการทดลองเปรียบเทียบระหว่างสภาวะกลางแจ้ง และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน



รูปที่ 4.11 อุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยตรวจวัดที่เวลา 13.00 น. ในแต่ละวันตลอดการทดลอง เปรียบเทียบระหว่างสภาวะกลางแจ้ง และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน

สำหรับผลการวัดอุณหภูมิอากาศซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและมีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย ผลการตรวจวัดพบว่าในชุดการทดลองที่อยู่ในสภาวะกลางแจ้งจะมีอุณหภูมิสูงกว่าชุดการทดลองที่อยู่ในสภาวะแสงน้อยที่ตั้งอยู่ภายในโรงเรือนตลอดระยะเวลาการทดลอง 61 วัน โดยมีอุณหภูมิอากาศในสภาวะกลางแจ้งสูงที่สุดถึง 37.8 องศาเซลเซียส ในวันที่ 57 และในสภาวะแสงน้อยอุณหภูมิสูงสุดที่สุดเท่ากับ 33.9 องศาเซลเซียส ในวันที่ 26 โดยอุณหภูมิที่สูงในช่วงเวลาแดดจัดจะทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังสูงขึ้นและทำให้น้ำเกิดการระเหยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเค็ม โดยพบว่าความเค็มเริ่มต้นจาก 25 พีเอสยู เพิ่มขึ้นสูงถึง 32 พีพีที จึงต้องมีการเติมน้ำจืดชดเชยน้ำที่ระเหยออกไป

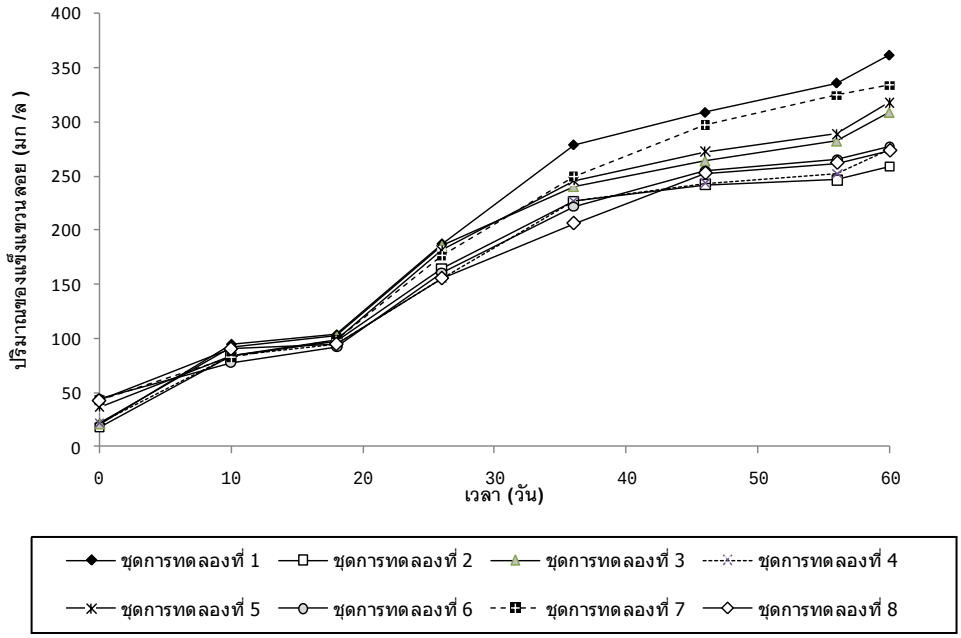
ปริมาณของแข็งแขวนลอย

ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยแสดงดังตารางที่ 4.2 และผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยเมื่อเปรียบเทียบทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลา 61 วัน แสดงดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในทุกถังทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อถึงวันสุดท้ายของการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังที่ไม่มีสาหร่ายช่อพริกไทย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 1) ซึ่งเป็นถังควบคุมได้รับแสงเพียงพอมีค่าสูงสุดจากการสังเกตพบว่าน้ำในถังทดลองเริ่มมีสีเขียวอย่างชัดเจนในวันที่ 40 โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตรวจวัดอยู่ในช่วง 21.00-361.58 มก./ลิตร โดยสังเกตเห็นแพลงก์ตอนพืชบางส่วนสามารถยึดเกาะบริเวณผิวของถังและกระชังพลาสติกที่ไว้ใส่สาหร่าย (รูปที่ 4.13 ก และ ข) ในชุด

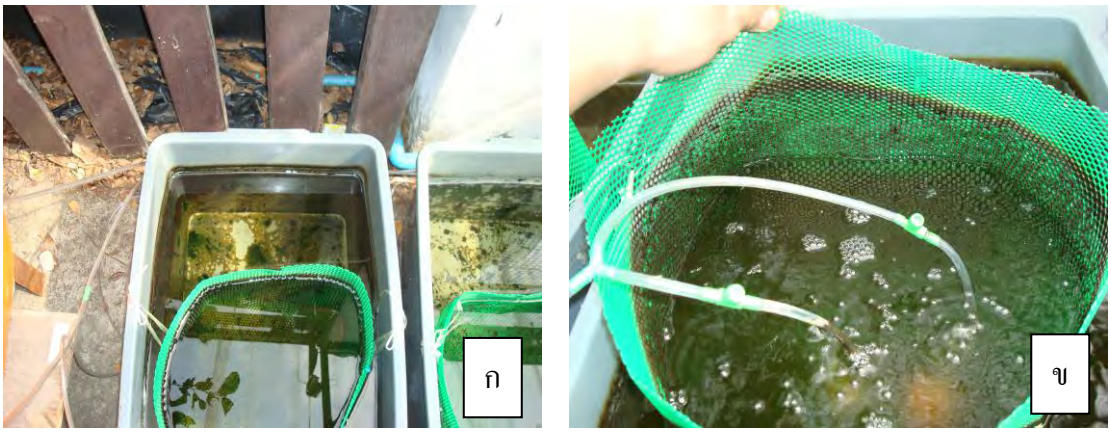
การทดลองที่อยู่ในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 2 4 6 และ 8) พบว่ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จากการสังเกตสีน้ำตลอดการทดลองพบว่าน้ำในถังไม่มีสีเขียว ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นอาจมาจากเซลล์ของแบคทีเรียที่เติบโตขึ้นในน้ำหรือตะกอนเศษอาหารปลาบดที่ถูกย่อยสลายไม่หมดโดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) ระยะเวลาการทดลอง 61 วัน

สภาพแสง	**ชุดการทดลองที่**	**สภาวะทดลอง**	**ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย (มก./ล.) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)**
สภาวะกลางแจ้ง (ตั้งไว้กลางแจ้ง)	1	ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน	211.44±127.72 (21.00-361.58)
	3	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	187.24±104.57 (21.33-309.08)
	5	มีสาหร่าย มีดิน	190.65±106.21 (36.67-317.75)
	7	ไม่มีสาหร่าย มีดิน	200.53±116.20 (43.00-333.58)
สภาวะแสงน้อย (ตั้งไว้ในโรงเรือน)	2	ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน	167.07± 90.95 (17.67-258.75)
	4	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	169.07±93.78 (21.67-274.58)
	6	มีสาหร่าย มีดิน	174.02±93.12 (44.00-277.25)
	8	ไม่มีสาหร่าย มีดิน	172.03±89.03 (42.67-273.00)



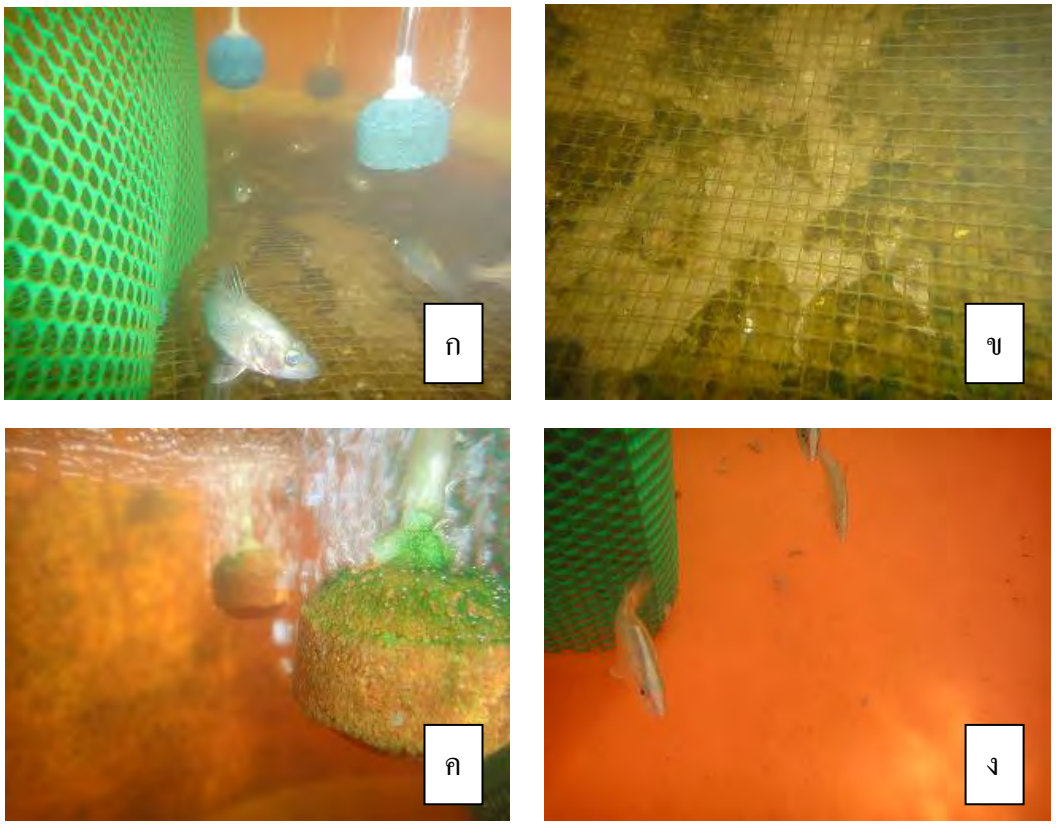
รูปที่ 4.12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 1 3 5 และ 7) และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 2 4 6 และ 8)



รูปที่ 4.13 แพลงก์ตอนพืชที่ยึดเกาะบริเวณขอบผิวของถัง (ก) และแพลงก์ตอนพืชที่ยึดเกาะกับตาข่ายพลาสติกในชุดการทดลองที่ได้รับแสง (ข)

4.2 : การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อทำการทดลองเลี้ยงร่วมกับปลากะพงขาวในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ

ทำการศึกษาการประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนโดยสาหร่ายช่อพริกไทยในถังพลาสติกที่เพาะเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบบ่อดิน ระบบบ่อไร้ดินกลางแจ้ง และระบบบ่อในโรงเรือนที่ไม่มีดิน ภายใต้สภาวะการทดลองที่จำลองให้แตกต่างกันจำนวน 8 ชุดการทดลอง โดยเตรียมระบบการทดลองเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 แตกต่างกันเพียงมีการนำปลากะพงขาวมาเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทยในทุกชุดการทดลอง โดยปล่อยปลากะพงขาวลงเลี้ยงในชุดการทดลองใช้ลูกพันธุ์ปลากะพงขาวที่มีขนาด 1.5 – 2 นิ้ว อัตราการปล่อยลูกปลากะพงขาวลงถังคือ 0.3 กก./ลบ.ม. จำนวน 24 ถัง (สำหรับ 8 ชุดการทดลองและแต่ละชุดการทดลองทำ 3 ถัง) โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะกลางแจ้งและสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน นอกจากนั้นยังเปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่มีชั้นดินที่ก้นถังและไม่มีชั้นดิน ระบบที่ใช้ในการทดลองเป็นถังพลาสติกที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 25 พีเอสยู ปริมาตรน้ำ 80 ลิตร ที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา ชุดการทดลองที่มีสาหร่ายจะทำการชั่งน้ำหนักสาหร่ายช่อพริกไทยเริ่มต้นน้ำหนักเปียกประมาณ 45 กรัม ลงในกระชังพลาสติก จากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและและวัดความยาวของปลากะพงขาวทุกตัวด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่งและอุปกรณ์วัดความยาว สำหรับอาหารจะใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป โดยคำนวณปริมาณอาหารจาก 5 % ของน้ำหนักปลาในถังเพาะเลี้ยง และปรับปริมาณให้มากขึ้นหรือน้อยลงเมื่อปลามีการเจริญเติบโตหรือมีการตายเกิดขึ้น ทำการทดลองต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 2 เดือน ซึ่งภาพถ่ายภายในระบบระหว่างการดำเนินการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.14 และ 4.15



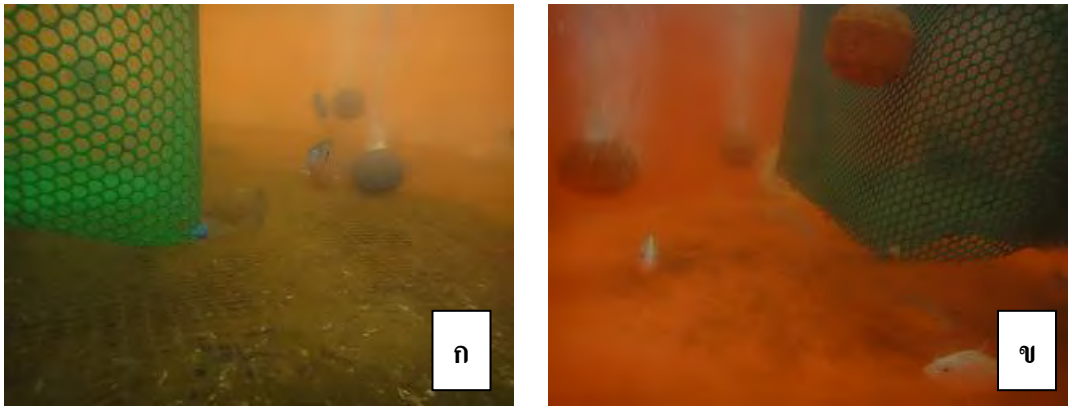
รูปที่ 4.14 ภายถ่ายภายในถังของชุดการทดลองที่มีสภาวะกลางแจ้ง

(ก) ระบบการทดลองในชุดการทดลองที่มีดิน

(ข) แพลงก์ตอนพืชที่เน่าเปื่อยตรงบริเวณผิวหน้าของชั้นดิน

(ค) แพลงก์ตอนพืชสีเขียวที่ยึดเกาะผิวถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

(ง) ลักษณะของตะกอนที่พบในถังที่ไม่มีดิน



รูปที่ 4.15 ภายถ่ายภายในถังของชุดการทดลองที่มีสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน

(ก) ระบบการทดลองภายในถังที่มีดิน ไม่มีสาหร่าย และสภาวะแสงน้อยโรงเรือน

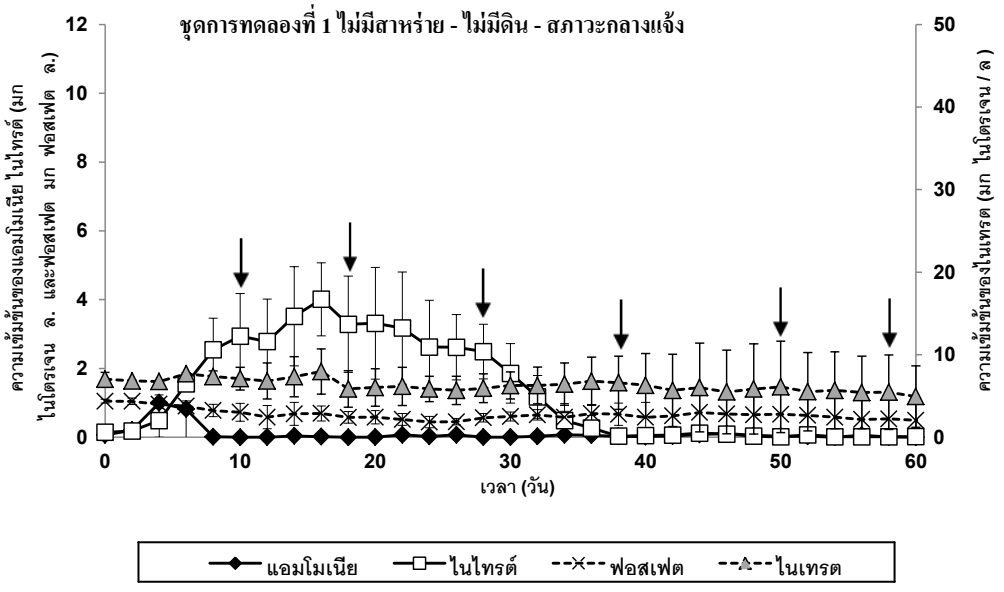
(ข) ตะกอนที่เกิดขึ้นภายในถังที่ไม่มีดิน

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์และติดตามสารประกอบไนโตรเจนตลอดจนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางคุณภาพน้ำของระบบการทดลองทั้ง 8 ชุด เมื่อทำการเลี้ยงร่วมกับปลากะพงขาว มีรายละเอียดดังนี้

<u>ชุดการทดลองที่ 1</u> (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

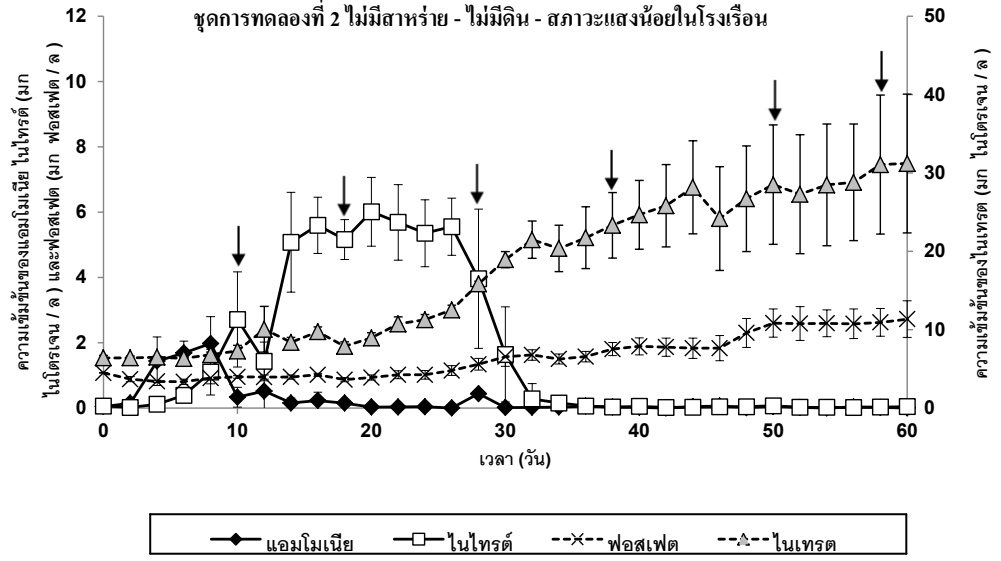
ผลการทดลองในช่วงแรกแสดงให้เห็นว่าจะพบการเพิ่มของแอมโมเนียในน้ำตามกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในวันที่ 4 เท่ากับ 1 มก.ไนโตรเจน/ลิตร โดยระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมอิออนต่ำสุดในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกณฑ์ยอมรับได้ ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 มก.ไนโตรเจน/ลิตร (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนียจะลดลงและคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากแอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนไทรต์โดยแบคทีเรียกลุ่ม AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria) ในขั้นตอนแรกของกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยพบการเพิ่มขึ้นของไนไทรต์ในความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 16 เท่ากับ 4.0 มก.ไนโตรเจน/ลิตร จากนั้นไนไทรต์จะลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเทรตโดยแบคทีเรียกลุ่ม NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria) ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยไนไทรต์มีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 18 และเริ่มพบการสะสมของไนเทรตแต่พบอยู่ระดับต่ำจนสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 4.16)



รูปที่ 4.16 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 1 (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 2</u> (ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

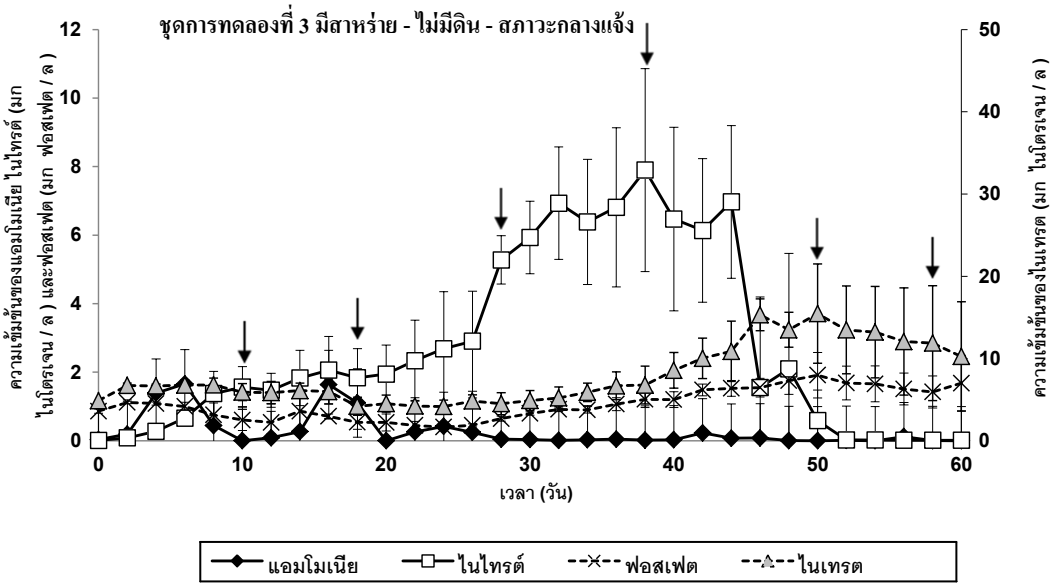
สำหรับผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 2 (รูปที่ 4.17) ปริมาณแอมโมเนียได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในวันที่ 8 เท่ากับ 1.9 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ปริมาณแอมโมเนียจะลดลงในวันที่ 10 และคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง จากนั้นแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไทรต์โดยแบคทีเรียกลุ่ม AOB ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทำให้มีไนไทรต์สะสมเพิ่มขึ้นโดยมีความเข้มข้นสูงที่สุดในวันที่ 20 เท่ากับ 6.0 มก.ไนโตรเจน/ลิตร จากนั้นไนไทรต์จะเริ่มลดลงในวันที่ 28 เนื่องจากถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเทรตโดยแบคทีเรียกลุ่ม NOB ทำให้การสะสมของไนเทรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง จนสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 31.2 มก.ไนโตรเจน/ลิตร นอกจากนี้ในวันสิ้นสุดการทดลองยังพบการสะสมของฟอสเฟตมีความเข้มข้นเท่ากับ 2.7 มก.ฟอสเฟต/ลิตร



รูปที่ 4.17 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 2 (ไม่มีสาหร่ายไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 3</u> (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

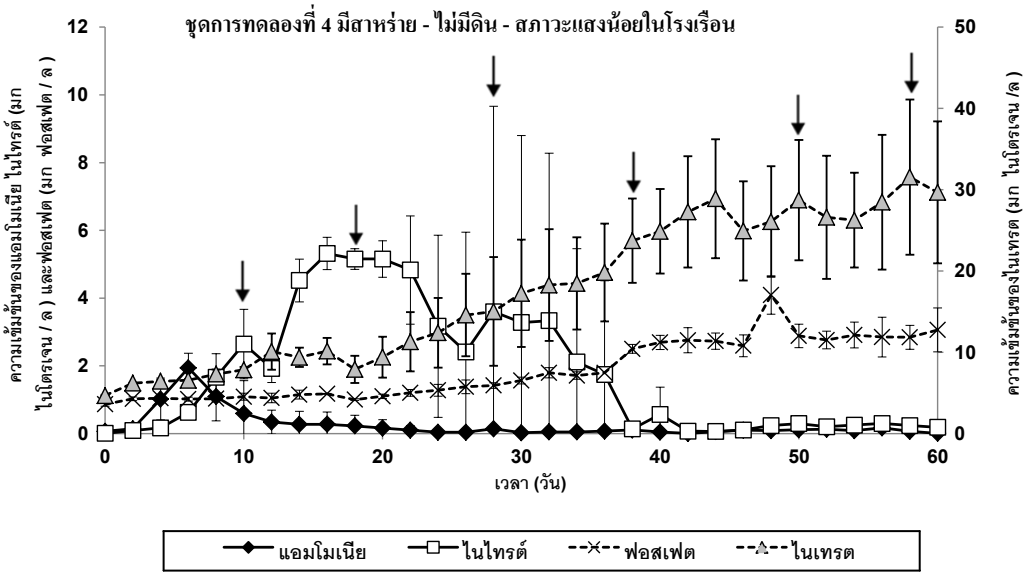
การที่มีสาหร่ายอยู่ในถังที่ไม่มีดินแสดงในรูปที่ 4.18 โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในช่วงแรกเป็นไปในลักษณะเดียวกับชุดทดลองที่ 1 และ 2 การที่มีสาหร่ายในสภาวะกลางแจ้งทำให้เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสาหร่ายช่อพริกไทยและแพลงก์ตอนพืช ผลวิเคราะห์ทางคุณภาพน้ำพบว่ามีปริมาณแอมเนียเพิ่มขึ้นสองช่วงคือในวันที่ 6 และในวันที่ 16 โดยมีปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 1.6 มก.ไนโตรเจน/ล. และจะคงที่หลังวันที่ 20 หลังจากนั้นจะพบการสะสมของไนไทรต์เพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยมีปริมาณไนไทรต์สะสมสูงที่สุดในวันที่ 38 เท่ากับ 7.9 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และมีปริมาณไนไทรต์สูงสุดเมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลอง ปริมาณไนไทรต์ที่สะสมจะเริ่มลดลงในวันที่ 48 ส่วนปริมาณไนเทรตสะสมที่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันมีการสะสมเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 44 เท่ากับ 17.8 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 46 ตรวจวัดความเข้มข้นของไนเทรตในวันสิ้นสุดการทดลองได้เท่ากับ 10.1 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตที่วัดได้ในวันสิ้นสุดการทดลองมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.6 มก.ฟอสเฟต/ลิตร



รูปที่ 4.18 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 3 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 4</u> (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

ชุดการทดลองที่ 4 (รูปที่ 4.19) การที่มีสาหร่ายในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือนนั้น พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยมีการเติบโตน้อย โดยผลการทดลองเป็นไปในลักษณะเดียวกับชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นในถังไร้ดิน ระบบจะเข้าสู่กระบวนการไนตริฟิเคชันหลังจากวันที่ 10 โดยพบไนไทรต์สะสมปริมาณสูงสุดในวันที่ 16 เท่ากับ 5.3 มก.ไนโตรเจน/ลิตร หลังจากนั้นจะพบการสะสมของไนเทรตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียไนไทรต์ และไนเทรต ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยปริมาณการสะสมของไนเทรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ผลการตรวจวัดไนเทรตในวันสิ้นสุดการทดลองมีความเข้มข้นเท่ากับ 30.4 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และปริมาณฟอสเฟตที่สะสมมีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 3.0 มก.ไนโตรเจน/ลิตร

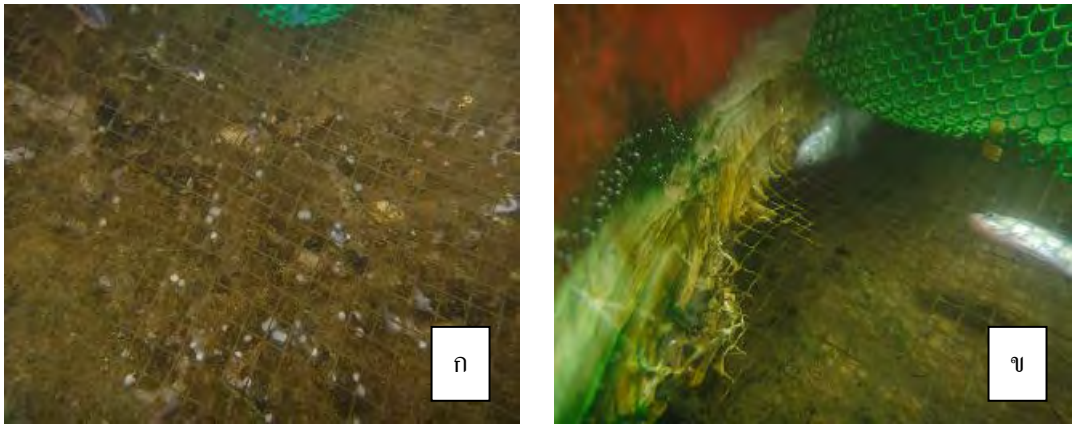


รูปที่ 4.19 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 4 (มีสาหร่าย ไม่มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 5</u> (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

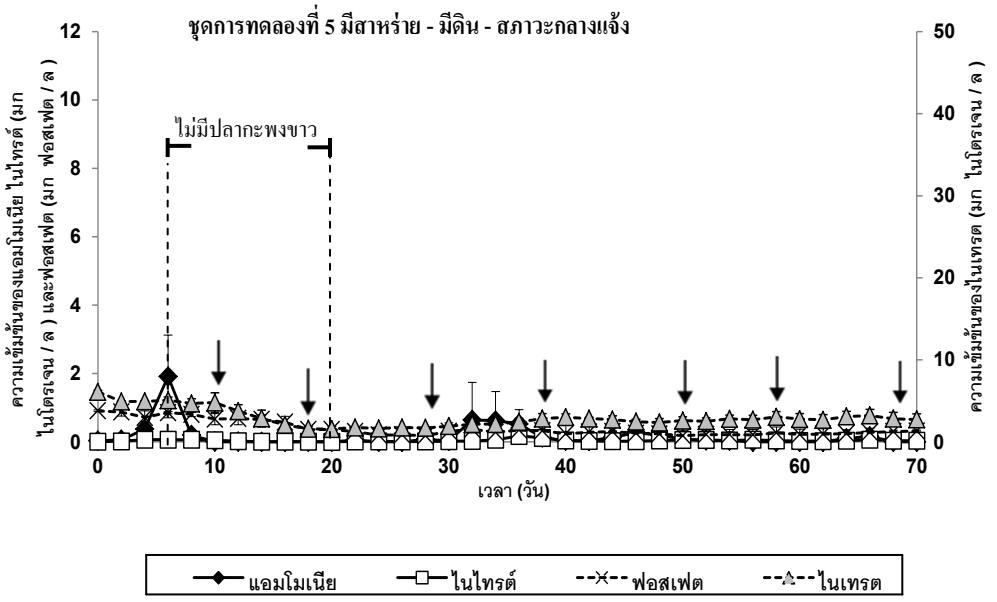
การดำเนินการทดลองในชุดทดลองที่เป็นถังบรรจุดิน (ชุดทดลองที่ 5 - 8) พบว่าเมื่อให้อาหารใส่ลงไปปลากะพงขาวกินอาหารไม่หมดเนื่องจากอาหารสำเร็จรูปมีคุณสมบัติจมน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้อาหารจะตกและสะสมอยู่บนชั้นดินเกิดการเน่าเสียที่บริเวณผิวหน้าชั้นดินและมีเกิดกลิ่นของก๊าซก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สังเกตได้จากการเกิดฟองอากาศบริเวณผิวหน้าของชั้นดิน (รูปที่ 4.20 ก และ ข) เนื่องจากอนุภาคของดินมีขนาดเล็กเกิดเป็นชั้นดินที่อัดแน่นทำให้เกิดสภาวะขาด

ออกซิเจนได้ง่าย โดยสภาวะไร้ออกซิเจนแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรปจะเจริญเติบโตได้ดีโดยใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในดินเป็นแหล่งอาหารและใช้ออกซิเจนจากปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตเป็นผลให้เกิดไอออนของซัลไฟด์เกิดขึ้น และทำปฏิกิริยากับไอออนของไฮโดรเจนในน้ำเกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Di Toro และคณะ, 1996) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและทำให้ระบบล้มเหลวได้ ส่งผลให้ชุดการทดลองที่ 5 6 7 และ 8 มีปลากะพงขาวตายเมื่อเพาะเลี้ยงได้เพียงวันที่ 6 จึงต้องหยุดดำเนินการทดลองเพื่อทำความสะอาดบริเวณผิวหน้าของชั้นดินโดยดูดเศษอาหารที่เน่าเสียทิ้ง โดยปล่อยปลากะพงขาวลงใหม่เริ่มดำเนินการทดลองชุดถังที่มีดินอีกครั้งในวันที่ 20 ซึ่งทุกชุดการทดลองจะใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติลอยน้ำและปรับลดปริมาณอาหารลดลงเป็นร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลาในถัง



รูปที่ 4.20 (ก) เศษอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เน่าเสียจมอยู่ที่หน้าชั้นดิน และ
(ข) ปลากะพงขาวที่ตายอยู่ก้นถังในถังที่มีดิน

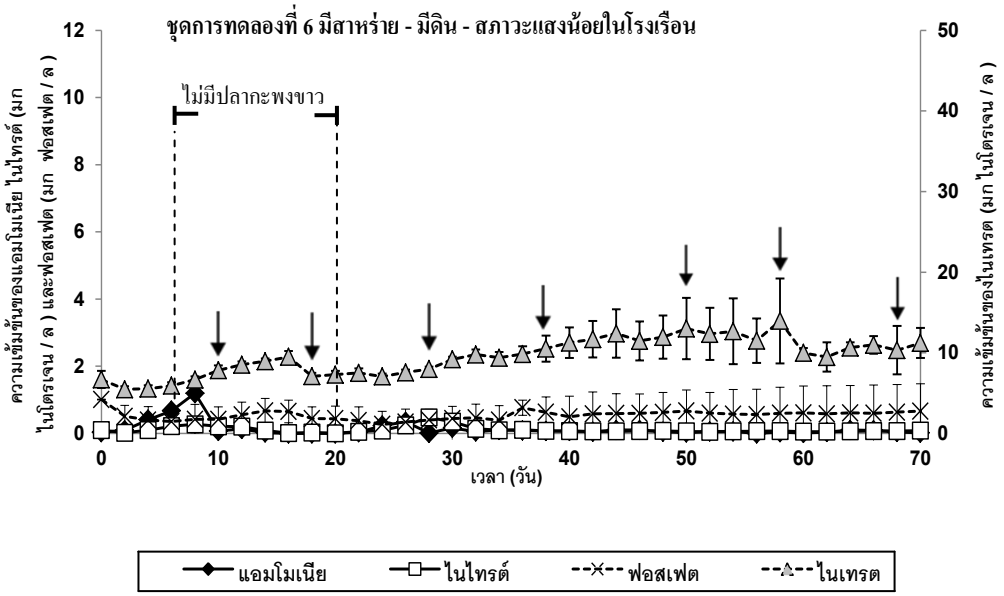
เมื่อทำการเริ่มเดินระบบใหม่อีกครั้งในวันที่ 20 ผลการทดลองในชุดการทดลองที่มีทั้งสาหร่ายและดินในสภาวะกลางแจ้ง (รูปที่ 4.21) พบว่ามีปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตต่ำมากโดยตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง พบการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียเพียงช่วงเวลาสั้นในวันที่ 6 วัดได้เท่ากับ 1.9 มก.ไนโตรเจน/ลิตร หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการไนตริฟิเคชัน นอกจากนั้นการที่จัดให้มีแสงอย่างเพียงพอในส่งผลให้เกิดการบำบัดได้อย่างสมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าการบำบัดจะเกิดขึ้นจากการนำแอมโมเนียเข้าสู่สาหร่ายร่วมกับการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นที่ผิวดินที่อยู่ก้นถัง และในเวลาเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน



รูปที่ 4.21 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 5 (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 6</u> (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

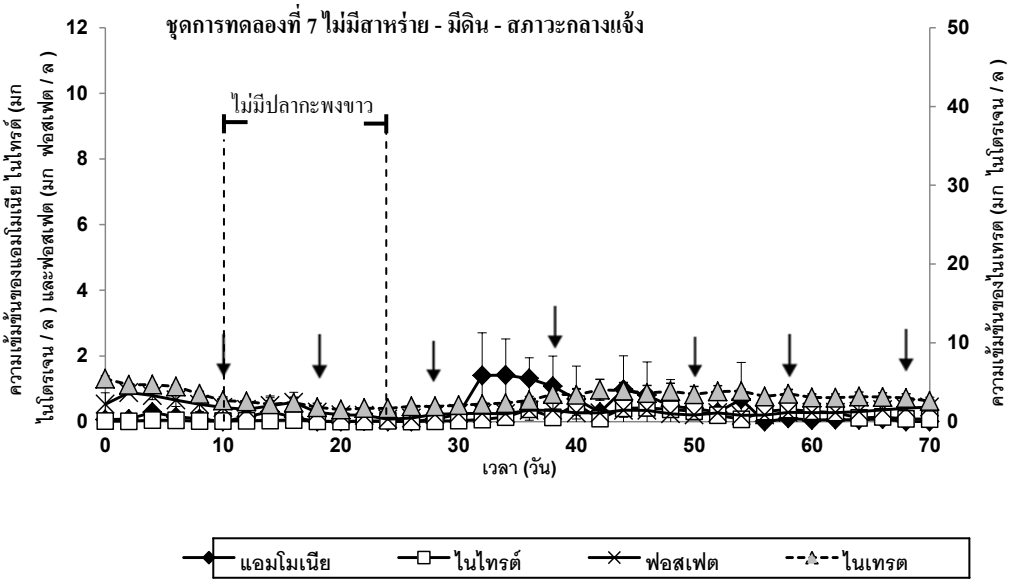
การทดลองในที่สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน ซึ่งเป็นภาวะที่จำกัดการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะพบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายช่อพริกไทยที่ได้รับแสงไม่เพียงพอจะนำสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้น้อย แต่ดินในถังก็มีบทบาทเพราะหากไม่มีดินจะทำให้เกิดการสะสมของ ไนไทรต์ในความเข้มข้นสูงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่เป็นถังไร้ดิน (ชุดการทดลองที่ 1 2 3 และ 4) ผลการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ชั้นดินทำให้มีการสะสมของไนเทรตตลอดการทดลอง และในขณะเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน ทำให้น้ำภายในถังมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์เหลืออยู่น้อย แต่จะพบการสะสมของไนเทรต โดยปริมาณของไนเทรตที่วัดได้มีความเข้มข้นเท่ากับ 11.6 มก.ไนโตรเจน/ล. ในวันสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.22 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 6 (มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ

<u>ชุดการทดลองที่ 7</u> (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง)

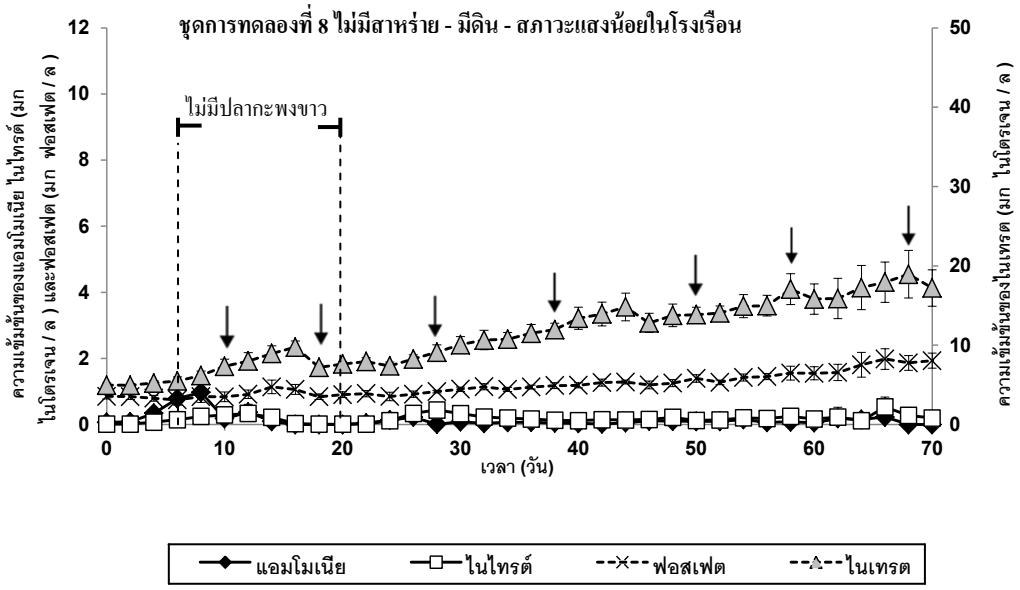
การไม่มีสาหร่ายช่อพริกไทย แต่มีชั้นดินในสภาวะกลางแจ้ง (รูปที่ 4.23) พบว่ามีปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตต่ำมากโดยตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากเกิดการบำบัดในกระบวนการไนตริฟิเคชันในชั้นดิน พบการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียเพียงเล็กน้อยในวันที่ 34 วัดได้เท่ากับ 1.4 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และแอมโมเนียจะเริ่มลดลงในวันที่ 41 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการไนตริฟิเคชัน และในเวลาเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน นอกจากนั้นการที่จัดให้มีแสงจะส่งผลให้เกิดการบำบัดโดยการนำแอมโมเนียเข้าสู่แพลงก์ตอนพืช ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 40 และจากการสังเกตพบว่าสีน้ำในถังเริ่มมีสีเขียวเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 42 ทำให้ในชุดทดลองที่ไม่มีสาหร่าย แต่มีดิน สภาวะกลางแจ้งมีการสะสมของปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตน้อย



รูปที่ 4.23 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 7 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะกลางแจ้ง) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ)

<u>ชุดการทดลองที่ 8</u> (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน)

การทดลองในชุดที่มีดินในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน พบว่าดินที่อยู่ที่ก้นถังทดลองการบำบัดไนโตรเจนโดยแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไทรต์และไนเทรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเกิดที่บริเวณผิวดินที่มีปริมาณออกซิเจนสูง และในขณะเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน (รูปที่ 4.24) ทำให้น้ำภายในถังมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์เหลืออยู่น้อย แต่จะพบการสะสมของไนเทรต โดยปริมาณไนเทรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง นอกจากนั้นยังพบการสะสมของฟอสเฟตที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง โดยการจำกัดแสงในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือนมีผลทำให้ไม่พบแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นทำให้ไม่มีการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนและฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ ส่งผลให้เกิดการสะสมของปริมาณไนเทรตและฟอสเฟตตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.24 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ 8 (ไม่มีสาหร่าย มีดิน สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน) เมื่อทำการทดลองเลี้ยงปลากะพงขาว (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยออกจากระบบ)

4.2.2 การเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย

ผลการตรวจวัดการเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทยในถังทดลองที่มีการใส่สาหร่ายในกระชังพลาสติก ได้แก่ ถังที่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 3) ถังที่มีสาหร่าย ไม่มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 4) ถังที่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 5) ถังที่มีสาหร่าย มีดิน และสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน (ชุดการทดลองที่ 6) ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก พบว่าชุดการทดลองที่จัดให้อยู่กลางแจ้งในสภาวะที่ได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอ ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 3 และ 5 เมื่อสิ้นสุดการทดลองสาหร่ายช่อพริกไทยมีการเติบโตเท่ากับ 1.99±0.27 กรัม/วัน และ 3.55±1.09 กรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 74.97±6.42 และ 121.59±.30.64 ของน้ำหนักเริ่มต้น ส่วนในชุดการทดลองที่ตั้งอยู่สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน ได้แก่ ชุดการทดลอที่ 4 และ 6 เมื่อสิ้นสุดการทดลองสาหร่ายช่อพริกไทยมีเติบโตเท่ากับ 0.40±0.26 กรัม/วัน และ 0.33±0.02 กรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 32.04±7.79 และ 30.31±0.84 ของน้ำหนักเริ่มต้น โดยผลการตรวจวัดการเติบโตของสาหร่ายแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดการเติบโตสาหร่ายช่อพริกไทยโดยวิธีชั่งน้ำหนักเปียก (กรัม/ถัง) ระยะเวลาการทดลอง 62 วัน เมื่อทำการทดลองเลี้ยงร่วมกับปลากะพงขาว

สภาพแสง	ชุดการทดลองที่	สภาวะทดลอง	น้ำหนักเปียกของสาหร่ายช่อพริกไทย (กรัม/ถัง)						
			วันเริ่มต้นก่อนทดลอง (กรัม/ถัง)	วันที่ 30 (กรัม/ถัง)	วันที่ 62 (กรัม/ถัง)	อัตราการเติบโตเมื่อผ่านไป 30 วัน(กรัม/วัน)	ร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	อัตราการเติบโตเมื่อผ่านไป 62 วัน(กรัม/วัน)	ร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
สภาวะกลางแจ้ง	3	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	44.60±0.72	70.43±17.21	168.23±16.26	0.86±0.59	31.35±7.32	1.99±0.27	74.97±6.42
(ตั้งไว้กลางแจ้ง)	5	มีสาหร่าย มีดิน	45.80±1.57	125.33±6.83	265±67.69	2.65±0.21	57.44±.52	3.55±1.09	121.59±.30.64
สภาวะแสงน้อย	4	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	45.60±0.50	56.87±7.29	70.14±16.33	0.38±0.23	25.95±23.50	0.40±0.26	32.04±7.79
(ตั้งไว้ในโรงเรือน)	6	มีสาหร่าย มีดิน	45.73±0.23	48.47±0.40	66.27±1.50	0.09±0.02	22.16±0.12	0.33±0.02	30.31±0.84

4.2.3 สภาพแวดล้อมในการทดลอง

ความเข้มแสง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ผลการเก็บข้อมูลความเข้มแสง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่ใช้ในการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย และยังเป็นปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเติบโตของปลากะพงขาว มีผลการตรวจวัดสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 โดยวัดที่เวลาแดดจัด (13.00 น.) ของทุกวันตลอดการทดลอง พบว่าในสภาวะกลางแจ้งมีความเข้มแสงอยู่ในช่วง 3,444.00-143,289.00 ลักซ์ และ ในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือนมีความเข้มแสงอยู่ในช่วง 464-4,650 ลักซ์ โดยในสภาวะกลางแจ้งจะได้รับแสงมากกว่าและทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังมากกว่าชุดการทดลองในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน ทำให้มีผลต่อการเกิดแพลงก์ตอนพืชและยังทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มซึ่งจะส่งผลต่อการเติบโตของสาหร่ายและปลากะพงขาว สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะกลางแจ้งเท่ากับ 27.43±0.14 องศาเซลเซียส และในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือนมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.11±0.27 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ทำการตรวจวัดในเวลา (13.00 น.) พบว่าในทุกชุดการทดลองมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่ควรต่ำกว่า 4 มก./ล. (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยและคลอโรฟิลล์เอ

ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยแสดงดังตารางที่ 4.5 ผลการพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในสภาวะกลางแจ้งมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากกว่าชุดการทดลองที่อยู่ในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือน ในทุกชุดทดลองในสภาวะกลางแจ้งยังมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอมากกว่าในสภาวะแสงน้อยในโรงเรือนอย่างชัดเจน ในถังที่ไม่มีสาหร่ายช่อพริกไทย ไม่มีดิน และสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 1) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงสุด ซึ่งมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 410.17±138.11 มก./ลิตร และมีค่าคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยเท่ากับ 50.87±62.56 มก./ลบ.ม. สำหรับในชุดทดลองที่ 3 และ 5 ซึ่งเป็นชุดทดลองที่ใส่สาหร่ายช่อพริกไทยพบว่ามีคลอโรฟิลล์เอในน้ำมากกว่าในชุดทดลองที่ไม่มีสาหร่ายเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชจะเติบโตเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วเพื่อแย่งชิงสารอาหารกับสาหร่ายช่อพริกไทยที่เติบโตช้ากว่า และเมื่อสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถเติบโตเพิ่มน้ำหนักมากขึ้นปริมาณของแพลงก์ตอนก็จะลดลง การเกิดแพลงก์ตอนพืชที่สูงในชุดการทดลองที่ 3 และ 5 ส่งผลให้สีน้ำขุ่นเขียว ทำให้บดบังการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย และยังทำให้กระบวนดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ทำได้ไม่เต็มที่

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดความเข้มแสง (ลักซ์) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.) ระยะเวลาการทดลอง 62 วัน

สภาพแสง	ค่าเฉลี่ยความเข้มแสง (ลักซ์) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	ชุดการทดลองที่	สภาวะทดลอง	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ลบ.ม.) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)
สภาวะกลางแจ้ง (ตั้งไว้กลางแจ้ง) ที่เวลา 13.00 น.	52,456.00±43,473.52 (3,444.00-143,289.00)	1 3 5 7	ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน มีสาหร่าย ไม่มีดิน มีสาหร่าย มีดิน ไม่มีสาหร่าย มีดิน	27.23±1.33 (25.60-29.10) 27.56±1.24 (26.37-29.27) 27.48±1.28 (26.13-29.23) 27.47±1.56 (25.00-29.23)	6.20±0.47 (5.40-6.73) 6.18±0.41 (5.30-6.53) 6.16±0.50 (5.00-6.67) 6.30±0.49 (5.20-6.80)
สภาวะแสงน้อย (ตั้งไว้ในโรงเรือน) ที่เวลา 13.00 น.	2,126.65± 1,504.99 (464-4,650)	2 4 6 8	ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน มีสาหร่าย ไม่มีดิน มีสาหร่าย มีดิน ไม่มีสาหร่าย มีดิน	26.49±1.43 (24.50-28.23) 26.11±1.50 (24.40-28.00) 25.86±1.62 (23.93-27.80) 25.09±1.52 (24.03-28.00)	6.12±0.05(5.43-6.83) 6.21±0.57 (5.37-6.83) 6.31±0.65(5.17-7.13) 6.27±0.63 (5.37-7.13)

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ระยะเวลาการทดลอง 62 วัน

สภาพแสง	ชุดการทดลองที่	สภาวะทดลอง	ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)
สภาวะกลางแจ้ง (ตั้งไว้กลางแจ้ง)	1	ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน	410.17±138.11 (214.00-615.33)	50.87±62.56 (0.00-120.73)
	3	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	245.67±137.90 (64.67-420.00)	72.88±94.01 (0.00-178.99)
	5	มีสาหร่าย มีดิน	184.00±47.77 (122.67-263.33)	190.51±145.38 (0.00-402.72)
	7	ไม่มีสาหร่าย มีดิน	203.71±54.49 (119.33-271.33)	101.00±75.47 (0.00-211.41)
สภาวะแสงน้อย (ตั้งไว้ในโรงเรือน)	2	ไม่มีสาหร่าย ไม่มีดิน	249.89± 104.18 (148.00-370.00)	4.83±8.36(0.00-14.49)
	4	มีสาหร่าย ไม่มีดิน	162.56±71.10 (75.33-266.67)	5.12±4.43 (0.00-7.69)
	6	มีสาหร่าย มีดิน	169.05±26.01 (121.33-198.00)	22.25±17.83 (0.00-49.34)
	8	ไม่มีสาหร่าย มีดิน	212.52±44.41 (133.33-256.00)	8.96±5.78 (0.00-14.19)

4.2.4 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลากะพงขาว

ผลการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวในถังทดลองที่จำลองรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 3 รูปแบบ โดยจำลองสภาวะต่างๆ แบ่งออกได้เป็น 8 ชุดการทดลอง ทำการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว ความหนาแน่น 0.3 กก./ลบ.ม. และทำการตรวจวัดจำนวนปลากะพงขาว น้ำหนัก และความยาวทุกชุดการทดลอง ซึ่งผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.6 พบว่าปลากะพงขาวมีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างชัดเจนในชุดการทดลองที่ 1 4 5 6 และ 7 จากน้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยที่วัดได้ในวันสุดท้ายของการทดลอง ส่วนในชุดการทดลองที่ 2 3 และ 8 ไม่สามารถชั่งน้ำหนักเฉลี่ยและวัดความยาวเฉลี่ยได้ในวันสุดท้ายเนื่องจากปลากะพงขาวตายก่อนสิ้นสุดการทดลอง นอกจากนี้ผลการทดลองในตารางที่ 4.6 ยังแสดงให้เห็นว่าในชุดการทดลองที่มีดิน ในสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 5 และ 7) มีอัตราการรอดสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ ส่วนในชุดการทดลองที่ไม่มีดินจะพบการสะสมของไนไทรต์ซึ่งมีปริมาณสูงมากในชุดทดลองที่ 2 และ 3 ส่งผลทำให้ปลากะพงขาวตายก่อนสิ้นสุดการทดลอง แตกต่างกับชุดการทดลองที่มีชั้นดิน ซึ่งมีกระบวนการบำบัดเกิดที่ผิวชั้นดิน แต่หากมีการสะสมของเศษอาหารและของเสียที่ผิวหน้าชั้นดินก็จะส่งผลต่อปลากะพงขาวดังเกิดขึ้นในชุดการทดลองที่ 8 ที่มีการเน่าเสียของอาหารเกิดขึ้น สำหรับชุดการทดลองอยู่ในสภาวะกลางแจ้งได้รับแสงเพียงพอจะมีแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นสิ่งมีส่วนช่วยในการดูดซึมสารอาหารและควบคุมคุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเห็นได้ชัดจากชุดการทดลองที่ 3 และ 7

ผลการตรวจวัดความยาวในแต่ละถังเพาะเลี้ยง แสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของปลากะพงขาว โดยเฉพาะในชุดทดลองที่ 5 และ 7 อยู่ที่ 0.51 และ 0.46 กรัม/ตัว-วัน ผลการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดทดลองที่ 5 และ 7 มีอัตรารอดเท่ากัน คือร้อยละ 66.67±57.74 ซึ่งตลอดการทดลองไม่พบการสะสมของแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต จึงทำให้ปลากะพงขาวเจริญเติบโตได้ดี ส่วนในชุดทดลองที่ 1 และ 4 มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากันอยู่ที่ 0.05 กรัม/ตัว-วัน ส่วนการทดลองที่เหลือไม่มีปลากะพงเหลืออยู่เลยจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากในระหว่างดำเนินการทดลองมีการสะสมของแอมโมเนีย และไนไทรต์ปริมาณความเข้มข้นสูงจึงเป็นอันตรายต่อปลากะพงขาว และถึงแม้ว่าจะมีกระบวนการบำบัดโดยเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ก็ไม่สามารถทำให้สัตว์น้ำอดทนต่อการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไทรต์ในช่วงสูงสุดก่อนที่จะถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเทรตได้ สำหรับในชุดทดลองที่ 6 และ 8 แม้ว่าแบคทีเรียที่ผิวชั้นดินจะมีกระบวนการบำบัดไนโตรเจนแต่เนื่องจากการขาดออกซิเจนที่ชั้นดินในสภาวะแสน้อยการไม่มีแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นทำให้ไม่มีการผลิตออกซิเจนให้กับระบบเพื่อช่วยให้กับแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียของสารอินทรีย์ที่ผิวหน้าของชั้นดินส่งผลให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเป็นอันตรายต่อปลากะพงขาว และไม่มีปลาเหลือในวันสุดท้ายของการทดลอง

ตารางที่ 4.6 การเลี้ยงปลากะพงขาวในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 รูปแบบ (8 ชุดการทดลอง)

ผลการเลี้ยงปลากะพงขาว	ชุดทดลองที่ 1	ชุดทดลองที่ 2	ชุดทดลองที่ 3	ชุดทดลองที่ 4	ชุดทดลองที่ 5	ชุดทดลองที่ 6	ชุดทดลองที่ 7	ชุดทดลองที่ 8
ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	45	47	42	44	38	24	50	44
จำนวนปลากะพงขาวเริ่มต้น (ตัว)	15	15	15	15	11	9	9	9
จำนวนปลากะพงขาวในวันสุดท้าย(ตัว)	5	-	-	5	7	3	6	0
ขนาดน้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	1.70±0.07	1.72±0.02	1.68±0.02	1.66±0.01	2.38±0.40	2.30±0.75	2.34±0.82	2.23±0.66
ขนาดความยาวเริ่มต้น (ซม.)	4.72±0.06	4.74±0.13	4.70±0.07	4.76±0.08	5.13±0.47	5.44±0.81	5.26±0.71	5.33±0.67
ขนาดน้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	6.35±1.74	-	-	10.65±1.35	7.67±0.33	5.33±0.64	8.21±0.44	-
ขนาดความยาวสุดท้าย (ซม.)	8.12±0.79	-	-	14.23±0.59	9.00±0.34	7.76±0.19	9.31±0.51	-
น้ำหนักอาหารทั้งหมด (กรัม)	54.34	59.46	53.06	55.92	46.61	29.46	61.58	54.30
น้ำหนักปลากะพงขาวที่ปล่อย (กก./ลบ.ม., กก./ตร.ม.)	0.30,1.52	0.32,1.58	0.32,1.58	0.32,1.59	0.31,1.53	0.31,1.53	0.31,1.54	0.31,1.54
น้ำหนักปลากะพงขาววันสุดท้าย (กก. /ลบ.ม., กก./ตร.ม.)	0.34,1.72	-	-	0.36,1.78	0.64,3.19	0.18,0.89	0.61,3.05	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว-วัน)	0.05	-	-	0.05	0.51	-	0.46	-
ผลผลิต (กก./ไร่)	2,750.33	-	-	2,840.00	5,110.00	1,420.00	4,876.67	-
อัตราการรอดตายวันที่ 30 (เปอร์เซ็นต์)	62.22±57.74	100.00±0.00	100.00±0.00	60.00±52.92	66.67±57.74	33.33±57.74	100.00±0.00	100.00±0.00
อัตราการรอดตายวันที่ 62 (เปอร์เซ็นต์)	30.95±53.61	0.00	0.00	33.33±57.74	66.67±57.74	29.63±51.32	66.67±57.74	0.00

หมายเหตุ : - คือ ไม่มีปลากะพงขาวเหลือในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดทดลองที่ 1 (ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง), ชุดทดลองที่ 2 (ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย), ชุดทดลองที่ 3 (ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง), ชุดทดลองที่ 4 (ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวแสงน้อย), ชุดทดลองที่ 5 (มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง), ชุดทดลองที่ 6 (มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย), ชุดทดลองที่ 7 (มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง), ชุดทดลองที่ 8 (มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย)

4.3 การศึกษาสมดุลไนโตรเจนในการทดลองช่วงที่ 1 และ 2

การประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทยโดยวิเคราะห์สมดุลไนโตรเจนระหว่างไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ และไนโตรเจนขาออก การศึกษาครั้งนี้จากการทดลองช่วงที่ 1 (ตารางที่ 4.7) ชุดควบคุมที่ไม่มีดิน และไม่มีสาหร่าย (ชุดทดลองที่ 1 และ 2) ในสภาวะกลางแจ้งได้รับแสง (ชุดทดลองที่ 1) พบว่ามีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 18.19 และส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 81.81 อาจเกิดจากการนำไนโตรเจนในระบบไปใช้ในกระบวนการบำบัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับมีการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชเนื่องจากอยู่ในสภาวะกลางแจ้ง ส่วนในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 2) พบว่ามีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 31.98 และมีส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 68.02 ซึ่งในระบบเกิดกระบวนการบำบัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในกระบวนการของแบคทีเรีย ในถังที่ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะที่ได้รับแสง (ชุดทดลองที่ 3) พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถเติบโตได้ดีและผลการวิเคราะห์สมดุลไนโตรเจนโดยมีการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในสาหร่ายร้อยละ57.33 พบการหลงเหลือของไนโตรเจนในน้ำเพียงเล็กน้อย และมีส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 34.98 ส่วนในถังที่ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 4) ซึ่งแม้ว่าจะมีสาหร่ายแต่ไม่สามารถดูดซึมไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ได้ เนื่องจากจำกัดการสังเคราะห์แสง แต่ในระบบพบว่ามีกระบวนการบำบัดโดยแบคทีเรียผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยมีไนโตรเจนที่ไม่สามารถระบุได้ถึงร้อยละ 33.44 แต่ยังคงมีไนโตรเจนส่วนใหญ่สะสมอยู่ในน้ำถึงร้อยละ 61.16

ถังที่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 5) พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถเติบโตได้ดีแต่เมื่อวิเคราะห์สมดุลไนโตรเจนพบว่าไนโตรเจนเข้าไปอยู่ในตัวสาหร่ายมากถึงร้อยละ 78.95 เมื่อเทียบกับไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ และมีส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 13.15 ซึ่งอาจเกิดจากการนำไนโตรเจนไปใช้ของแพลงก์ตอนพืชในสภาวะกลางแจ้งและมีการบำบัดไนโตรเจนของแบคทีเรียในกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สามารถเกิดขึ้นได้ รวมทั้งการใช้ไนโตรเจนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินที่ขาดออกซิเจน ส่วนในถังที่มีดิน ไม่มีสาหร่าย และอยู่ในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 6) ในสภาวะที่จำกัดแสงทำให้สาหร่ายดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนได้เพียงร้อยละ 8.00 และพบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 62.00 ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการบำบัดไนโตรเจนของแบคทีเรีย สำหรับชุดทดลองที่ไม่มีสาหร่ายแต่มีชั้นดิน ซึ่งสภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 7) มีไนโตรเจนส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ถึงร้อยละ 91.00 ซึ่งอาจเกิดจากการบำบัดไนโตรเจนโดยแบคทีเรียที่ผิวชั้นดินโดยผลการทดลองพบว่ามีกระบวนการบำบัดในชั้นดินสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ และในสภาวะกลางแจ้งนั้นมีการบำบัดไนโตรเจนของแพลงก์พืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติร่วมด้วย ทำให้มีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำเพียงเล็กน้อยคือร้อยละ 9.00

ส่วนในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 8) มีไนโตรเจนส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ถึงร้อยละ 72.35 และมีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 27.65

การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำร่วมกับการเลี้ยงปลากะพงขาว (ตารางที่ 4.8) ชุดควบคุมที่ไม่มีดิน และไม่มีสาหร่าย (ชุดทดลองที่ 1 และ 2) พบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่เข้าไปอยู่ในตัวปลาถึงร้อยละ 50.40 โดยในสภาวะกลางแจ้งได้รับแสง (ชุดทดลองที่ 1) พบว่าส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 41.90 ซึ่งอาจเกิดจากการนำไนโตรเจนในระบบไปใช้ในกระบวนการบำบัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับมีการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชร่วมด้วยเนื่องจากอยู่ในสภาวะกลางแจ้ง ส่วนในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 2) พบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่เข้าไปอยู่ในตัวปลา 51.46 และยังคงมีไนโตรเจนถึงร้อยละ 46.64 หลงเหลืออยู่ในน้ำ ส่วนในถังที่ไม่มีดิน การมีสาหร่าย ในสภาวะที่ได้รับแสง (ชุดทดลองที่ 3) แม้ว่าสาหร่ายจะเติบโตได้ดีแต่มีไนโตรเจนเพียงร้อยละ 3.49 ที่เข้าไปอยู่ในตัวสาหร่าย โดยไนโตรเจนส่วนใหญ่เข้าไปอยู่ในตัวปลาร้อยละ 58.11 ส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 21.77 ซึ่งอาจเกิดจากการนำไนโตรเจนในระบบไปใช้ในกระบวนการบำบัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับมีการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชเนื่องจากอยู่ในสภาวะกลางแจ้ง สำหรับถังที่ไม่มีดิน การมีสาหร่าย แต่อยู่ในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 4) พบว่ามีไนโตรเจนร้อยละ 50.59 ที่เข้าไปอยู่ในตัวปลา และยังคงไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำถึงร้อยละ 48.47 และการกำจัดแสงทำให้มีไนโตรเจนที่เข้าไปอยู่ในสาหร่ายเพียงร้อยละ 1.38 สำหรับถังที่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 5) พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถเติบโตได้ดีแต่เมื่อวิเคราะห์สมดุลไนโตรเจนพบว่าไนโตรเจนเข้าไปอยู่ในตัวสาหร่ายเพียงร้อยละ 6.42 เท่านั้นเมื่อเทียบกับไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ โดยไนโตรเจนส่วนใหญ่เข้าไปอยู่ในตัวปลา และมีส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 24.96 ซึ่งอาจเกิดจากการนำไนโตรเจนไปใช้ของแพลงก์ตอนพืชในสภาวะกลางแจ้งและมีการบำบัดไนโตรเจนของแบคทีเรียในกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาวะกลางแจ้งและสภาวะแสงน้อย รวมทั้งการใช้ไนโตรเจนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินที่ขาดออกซิเจน ส่วนในถังที่มีดิน ไม่มีสาหร่าย และอยู่ในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 6) พบว่ามีไนโตรเจนเข้าไปอยู่ในตัวปลาเท่ากับ 35.73 นอกจากนั้นยังพบว่ามีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 24.20 โดยในระบบถังที่มีดินพบว่ามีกระบวนการบำบัดโดยแบคทีเรียในชั้นดินซึ่งไนโตรเจนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 38.30 อาจเกิดจากการบำบัดไนโตรเจนโดยแบคทีเรีย สำหรับถังที่มีชั้นดิน ไม่มีสาหร่าย ในสภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 7) ผลการวิเคราะห์สมดุลไนโตรเจนแสดงให้เห็นว่ามีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยไนโตรเจนส่วนใหญ่นอกจากจะเข้าไปอยู่ในปลาร้อยละ 54.73 แล้ว ยังมีส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 41.52 ซึ่งอาจเกิดจากการบำบัดไนโตรเจนของแบคทีเรียที่ชั้นดิน รวมทั้งอยู่ในสภาวะกลางแจ้งซึ่งอาจมีการนำไนโตรเจนไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืช สำหรับถังที่มีชั้นดิน ไม่มี

สาหร่าย ในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 8) พบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ยังมีส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 40.08 มีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 25.24 และเข้าไปอยู่ในปลาร้อยละ 34.76 โดยในสภาวะแสงน้อยไม่พบการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 40.08 อาจเกิดจากการบำบัดไนโตรเจนของแบคทีเรียที่ชั้นดิน

ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปผลสมดุลไนโตรเจนของการทดลองช่วงที่ 1 เมื่อทำการทดลองในสภาวะการทดลอง 8 ชุด

สภาวะการทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าในถังทดลอง			ปริมาณไนโตรเจนขาออกในถังทดลอง				เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนขาเข้าเมื่อเทียบกับทั้งระบบ			เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการทดลองเมื่อเทียบกับทั้งระบบ			
	อาหาร (กรัมน้ำหนักเปียก) (กรัม-N/ถัง)	อนินทรีย์ไนโตรเจนน้ำ (กรัม-N)	สาหร่าย (กรัมน้ำหนักแห้ง) (กรัม-N)	อาหาร (กรัมน้ำหนักเปียก) (กรัม-N/ถัง)	อนินทรีย์ไนโตรเจนน้ำ (กรัม-N)	สาหร่าย (กรัมน้ำหนักแห้ง) (กรัม-N)	อื่น ๆ (กรัม-N)	อาหาร	น้ำ	สาหร่าย	อาหาร	น้ำ	สาหร่าย	อื่นๆ
ชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	0.66	0.04	-	-	0.13	-	0.58	93.85	6.15	-	-	18.19	-	81.81
ชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะแสงน้อย	0.66	0.04	-	-	0.22	-	0.48	94.12	5.88	-	-	31.98	-	68.02
ชุดการทดลองที่ 3 มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	0.66	0.04	0.04	-	0.06	0.43	0.26	88.80	5.84	5.36	-	7.69	57.33	34.98
ชุดการทดลองที่ 4 มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะแสงน้อย	0.66	0.04	0.04	-	0.45	0.04	0.25	88.94	5.69	5.37	-	61.16	5.41	33.44
ชุดการทดลองที่ 5 มีสาหร่าย+มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	0.66	0.06	0.06	-	0.06	0.60	0.10	87.67	7.04	5.29	-	7.54	78.95	13.51
ชุดการทดลองที่ 6 มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะแสงน้อย	0.66	0.22	0.06	-	0.22	0.06	0.09	87.80	6.89	5.30	-	30.00	8.00	62.00
ชุดการทดลองที่ 7 ไม่มีสาหร่าย+มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	0.66	0.05	-	-	0.06	-	0.65	92.71	7.29	-	-	9.00	-	91.00
ชุดการทดลองที่ 8 ไม่มีสาหร่าย+มีดิน+สภาวะแสงน้อย	0.66	0.05	-	-	0.20	-	0.51	92.75	7.25	-	-	27.65	-	72.35

ตารางที่ 4.8 ตารางสรุปผลสมดุลไนโตรเจนของการทดลองช่วงที่ 2 เมื่อทำการทดลองในสภาวะการทดลอง 8 ชุด

สภาวะการทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าในถังทดลอง				ปริมาณไนโตรเจนขาออกในถังทดลอง				
	อาหาร (กรัมน้ำหนักเปียก) (กรัม-N/ถัง) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	อนินทรีย์ไนโตรเจนน้ำ (กรัม-N) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	สาหร่าย (กรัมน้ำหนักแห้ง) (กรัม-N), (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	ปลา (น้ำหนักเปียก) (กรัม-N) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	อาหาร (กรัมน้ำหนักเปียก) (กรัม-N/ถัง) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	อนินทรีย์ไนโตรเจนน้ำ (กรัม-N) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	สาหร่าย (กรัมน้ำหนักแห้ง) (กรัม-N) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	ปลา (น้ำหนักเปียก) (กรัม-N) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)	อื่น ๆ (กรัม-N) , (เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน)
ชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	3.48 , 68.78	0.58 , 11.44	-	1.00 , 19.78	-	0.39 , 7.80	-	2.55 , 50.40	2.12 , 41.90
ชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะแสงน้อย	3.81 , 70.92	0.52 , 9.70	-	1.04 , 19.38	-	2.50 , 46.64	-	2.79 , 51.96	0.08 , 1.49
ชุดการทดลองที่ 3 มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	3.40 , 69.74	0.39 , 8.07	0.04 , 0.82	1.04 , 21.36	-	0.81 , 16.63	0.17 , 3.49	2.83 , 58.11	1.06 , 21.77
ชุดการทดลองที่ 4 มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะแสงน้อย	3.58 , 70.74	0.38 , 7.52	0.05 , 0.99	1.05 , 20.75	-	2.45 , 48.47	0.07 , 1.38	2.56 , 50.59	0.02 , 0.40
ชุดการทดลองที่ 5 มีสาหร่าย+มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	2.98 , 73.58	0.01 , 0.28	0.05 , 1.23	1.01 , 24.91	-	0.23 , 5.57	0.26 , 6.42	2.55 , 62.96	1.01 , 24.96
ชุดการทดลองที่ 6 มีสาหร่าย+ไม่มีดิน+สภาวะแสงน้อย	1.89 , 48.51	0.94 , 24.22	0.05 , 1.29	1.01 , 25.99	-	0.94 , 24.20	0.07 , 1.80	1.39 , 35.73	1.49 , 38.30
ชุดการทดลองที่ 7 ไม่มีสาหร่าย+มีดิน+สภาวะกลางแจ้ง	3.94 , 73.09	0.44 , 8.18	-	1.01 , 18.73	-	0.20 , 3.75	-	2.95 , 54.73	2.24 , 41.52
ชุดการทดลองที่ 8 ไม่มีสาหร่าย+มีดิน+สภาวะแสงน้อย	3.48 , 71.10	0.40 , 8.24	-	1.01 , 20.66	-	1.23 , 25.24	-	1.70 , 34.76	1.96 , 40.08

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำซึ่งการศึกษาการใช้สาหร่ายและพืชน้ำอื่นๆ มาใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการศึกษาอย่างกว้างขวางโดยเลี้ยงสาหร่ายลงในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยตรง หรือเลี้ยงไว้ในบ่อบำบัดและมีการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การทดลองนำสาหร่ายช่อพริกไทยมาใช้ร่วมกับการเพาะเลี้ยงปลานิล (ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์, 2545) การใช้สาหร่ายช่อพริกไทยและสาหร่ายหนามในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (อลิสา โชควิวัฒนวนิช, 2543) การใช้สาหร่ายทะเลเพื่อบำบัดน้ำในการเลี้ยงหอยหวานระบบหมุนเวียน (วรรณณี แสนทวีสุข, 2552) การเลี้ยงสาหร่ายทะเลร่วมกับปลานิลแดง (วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์, 2538) ซึ่งผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้สาหร่ายทะเลในการใช้ควบคุมคุณภาพน้ำได้ผลการทดลองที่ดีสามารถช่วยให้คุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำดีขึ้นได้ แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้ศึกษาบทบาทที่แท้จริงของการใช้สาหร่ายทะเล ทำให้ไม่ทราบข้อมูลว่าสาหร่ายทะเลนั้นมีประสิทธิภาพในการช่วยควบคุมคุณภาพน้ำมากน้อยเพียงใด การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาบทบาทของสาหร่ายช่อพริกไทยโดยในการทดลองลองช่วงที่ 1 ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังพลาสติกที่จำลองสภาพของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และการทดลองช่วงที่ 2 ทำการศึกษาการประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนโดยสาหร่ายช่อพริกไทยในถังพลาสติกที่เพาะเลี้ยงปลากะพงขาวภายใต้สภาวะเช่นเดียวกันกับการทดลองช่วงที่ 1 ซึ่งจัดสภาวะการทดลองที่จำลองให้แตกต่างกันจำนวน 8 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 3.3)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในการทดลองช่วงที่ 1 (ตารางที่ 5.1) พบว่าการที่ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 1) และการไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย และสภาวะแสงน้อย (ชุดการทดลองที่ 2) จากการเติมแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของอาหารปลาบดลงในถังทุกวันตลอดการทดลอง กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติในถังจะปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาตามกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะการปลดปล่อยแอมโมเนียในลักษณะเดียวกันกับที่พบในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป (Jangrassa และคณะ, 2007) ทำให้มีการสะสมของแอมโมเนียในถังทดลองช่วงแรก จากนั้นการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จะเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Sesuk และคณะ, 2009) โดยแอมโมเนียซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายอาหารปลาบดจะลดลงหลังจากปล่อยทิ้งไว้ 15 วัน หลังจากนั้นจึงพบการเพิ่มขึ้นของไนไทรต์ และยังคงมีการสะสมอยู่ใน

ปริมาณมากโดยที่ไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเทรต ทำให้มีการสะสมของไนไทรต์ ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์จะพบได้ทั่วไปในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีดิน (มะลิวัลย์และคณะ, 2550) หลังจากนั้นความเข้มข้นของไนไทรต์จะเริ่มลดลงเมื่อผ่านไป 40 วัน เนื่องจากเปลี่ยนเป็นไนเทรตในกระบวนการไนตริฟิเคชันทำให้มีปริมาณไนเทรตสะสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในถังทดลองที่ไม่มีสาหร่ายและไม่มีดิน ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพที่มีแสงมากหรือแสงน้อย การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จะเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Sesuk และคณะ, 2009) ในสภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 1) การได้รับแสงเพียงพอนั้นทำให้มีแพลงก์ตอนพืชเติบโตเกิดขึ้นทำให้มีการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟตในช่วงท้ายของการทดลองน้อยกว่าในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 2)

การที่มีสาหร่ายอยู่ในถังที่ไม่มีดิน (ชุดทดลองที่ 3 และ 4) จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำแตกต่างจากชุดทดลองที่ 1 และ 2 อย่างชัดเจน โดยการที่มีสาหร่ายในสภาวะที่มีแสงมาก (ชุดทดลองที่ 3) พบการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไทรต์เพียงเล็กน้อยในขณะที่ไม่พบการสะสมของไนเทรต แสดงให้เห็นว่าสารประกอบไนโตรเจนถูกบำบัดโดยสาหร่ายนำเข้าสู่เซลล์ในสภาวะที่มีแสงเพียงพอต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งการศึกษาของอลิสา (2543) ได้แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายช่อพริกไทยจะเติบโตได้ในระดับความเข้มแสง 15,000 ลักซ์ จึงจะเพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 3,700-18,000 ลักซ์ พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยจะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์, 2545) โดยสาหร่ายช่อพริกไทยจะเลือกใช้สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียเป็นหลัก แม้ว่าในน้ำจะมีทั้งแอมโมเนียและไนเทรต แต่สาหร่ายชนิดนี้ก็จะเลือกใช้เฉพาะแอมโมเนีย และจะเปลี่ยนมาใช้ไนเทรตต่อเมื่อแอมโมเนียในน้ำหมดลงเท่านั้น (อลิสา โชควิวัฒนวนิช, 2543) ส่วนชุดทดลองที่มีสาหร่ายแต่ได้รับแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 4) พบว่าสาหร่ายแทบจะไม่มีการเติบโตขึ้นเลย สาหร่ายที่ได้รับแสงไม่เพียงพอจะนำสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้น้อย แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการบำบัดไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นหลักแม้ว่าจะมีสาหร่ายอยู่ในน้ำด้วยก็ตาม โดยแอมโมเนียและไนไทรต์จะมีการสะสมและลดลงเนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทำให้พบการสะสมของไนเทรตต่อเนื่องและมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ลักษณะการเกิดไนตริฟิเคชันในถังที่มีสาหร่ายนั้นมีลักษณะเดียวกันกับที่ธีรพงษ์ (2545) ได้เคยรายงานไว้ก่อนหน้านี้ โดยได้พบว่ากิ่งก้านของสาหร่ายทะเลสามารถเป็นพื้นที่ยึดเกาะของไนตริไฟอิงแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี ทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้ดีกว่าถังที่ไม่มีสาหร่าย (ชุดทดลองที่ 1 และ 2)

ในชุดทดลองที่เป็นถังบรรจุดิน (ชุดทดลองที่ 5 - 8) พบว่าดินก้นถังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเป็นอย่างมาก โดยในชุดทดลองที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นถังที่มีทั้งสาหร่ายและดินจะมีปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์ต่ำมากโดยตลอด โดยการที่จัดให้มีแสง

อย่างเพียงพอ (ชุดทดลองที่ 5) ส่งผลให้เกิดการบำบัดได้อย่างสมบูรณ์โดยมีปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตสะสมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการบำบัดจะเกิดการทำงานร่วมกันระหว่างสาหร่ายช่อพริกไทยและชั้นดินก้นถัง โดยสาหร่ายช่อพริกไทยมีการนำสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์และมีการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นที่ผิวดินก้นถัง และในเวลาเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจนทำให้เกิดการบำบัดที่สมบูรณ์ ในขณะที่การทดลองในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 6) ซึ่งจำกัดการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย จึงพบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายที่ได้รับแสงไม่เพียงพอจะนำสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้น้อย แต่เนื่องจากแบคทีเรียในชั้นดินเกิดการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนผ่านกระบวนไนตริฟิเคชันทำให้มีการสะสมของไนเทรต แสดงให้เห็นว่าดินในถังก็มีบทบาทมากเพราะหากไม่มีดินจะทำให้เกิดการสะสมของไนไทรต์ในความเข้มข้นสูงดังที่พบในชุดการทดลองที่ 4

สำหรับชุดการทดลองที่ไม่มีสาหร่ายแต่มีดิน และเปรียบเทียบกันระหว่างสภาวะอยู่กลางแจ้งที่ได้รับแสงแดดเพียงพอและสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 7 และ 8) พบว่าแม้ไม่มีสาหร่ายที่ช่วยในการควบคุมคุณภาพน้ำแต่มีชั้นดินที่อยู่ที่ก้นถังทดลองทั้งสองชุดซึ่งเป็นดินทรายที่มีความพรุนสามารถเป็นตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยาการบำบัดไนโตรเจนได้ โดยแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไทรต์และไนเทรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเกิดที่บริเวณผิวดินที่มีปริมาณออกซิเจนสูง ทำให้ไม่มีการสะสมของแอมโมเนียและไนไทรต์ ในเวลาเดียวกันไนเทรตหรือไนไทรต์จะถูกเปลี่ยนต่ออย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินด้านล่างที่ขาดออกซิเจน (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543) โดยความลึกจากผิวดินลงไป 2 ซม. ก็สามารถเกิดการขาดออกซิเจนได้ (สุชาดา จังรัสสะ, 2550) ทำให้น้ำภายในถังมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์เหลืออยู่น้อย แต่จะพบการสะสมของไนเทรตอยู่ สำหรับในสภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 7) การได้รับแสงเพียงพอนั้นทำให้มีแพลงก์ตอนพืชเติบโตเกิดขึ้นทำให้มีการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟตในช่วงท้ายของการทดลองน้อยกว่าในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 8)

ผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่มีดินมีกระบวนการบำบัดไนโตรเจนดีกว่าในชุดการทดลองที่ไม่มีดินโดยสุชาดา (2550) ได้เคยรายงานไว้ก่อนหน้านี้ว่าการเพิ่มขึ้นและลดลงของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต จะเกิดขึ้นเรียงตามลำดับ โดยปฏิกิริยาหลักเป็นปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและเชื่อมโยงไปยังปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดในชั้นดินกะกอนที่ขาดออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่วนใหญ่จะเกิดที่ผิวหน้าชั้นดินมากกว่ามวลน้ำ แสดงให้เห็นว่าชั้นดินที่ก้นถังทดลองมีบทบาทที่สำคัญมากในการควบคุมคุณภาพน้ำ

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของการทดลองช่วงที่ 1 ในสภาวะ 8 ชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	สภาวะทดลอง	การสะสมของแอมโมเนีย	ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุด (มก./ล.)	การสะสมของไนไทรต์	ความเข้มข้นของไนไทรต์สูงสุด (มก./ล.)	การสะสมของไนเทรต	ความเข้มข้นของไนเทรตสูงสุด (มก./ล.)	การสะสมของฟอสเฟต	ความเข้มข้นขอฟอสเฟตสูงสุด (มก./ล.)
1	ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	B	3.29	B	4.28	B	4.47	B	1.54
2	ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	B	2.54	B	4.53	A	6.70	A	2.18
3	ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	B	2.12	B	1.83	B	3.51	B	0.70
4	ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	B	2.15	B	9.06	A	17.66	A	2.21
5	มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	C	0.11	C	0.04	C	2.31	C	0.53
6	มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	C	0.33	C	0.11	A	9.03	A	1.27
7	มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	C	0.26	C	0.23	B	4.03	C	0.72
8	มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	C	0.22	C	0.07	A	8.34	A	1.60

หมายเหตุ : A, B, C คือ สะสมต่อเนื่อง, สะสมและลดลงช่วงท้ายการทดลอง, ไม่พบการสะสม

ตารางที่ 5.2 ตารางสรุปผลการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของการทดลองช่วงที่ 2 ในสภาวะ 8 ชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	สภาวะทดลอง	การสะสมของแอมโมเนีย	ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุด (มก./ล.)	การสะสมของไนไทรต์	ความเข้มข้นของไนไทรต์สูงสุด (มก./ล.)	การสะสมของไนเทรต	ความเข้มข้นของไนเทรตสูงสุด (มก./ล.)	การสะสมของฟอสเฟต	ความเข้มข้นขอฟอสเฟตสูงสุด (มก./ล.)
1	ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	B	1.00	B	4.01	C	7.96	C	1.05
2	ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	B	1.97	B	6.01	A	31.20	A	2.75
3	ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	B	1.66	B	7.90	B	15.46	B	1.91
4	ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	B	1.94	B	5.32	A	31.56	A	4.09
5	มีดิน มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	C	1.92	C	0.17	C	6.10	C	0.91
6	มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	C	1.20	C	0.48	A	13.96	C	1.01
7	มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง	C	1.42	C	0.53	C	5.44	C	0.88
8	มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย	C	0.97	C	0.53	A	18.94	A	1.98

หมายเหตุ : A, B, C คือ สะสมต่อเนื่อง, สะสมและลดลงช่วงท้ายการทดลอง, ไม่พบการสะสม

การทดลองช่วงที่ 2 ทำการศึกษาการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังพลาสติกที่เพาะเลี้ยงปลากะพงขาวภายใต้สภาวะแตกต่างกันจำนวน 8 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 5.2) พบว่าชุดการทดลองที่ไม่มีดิน (ชุดทดลองที่ 1 และ 2) มีการสะสมของแอมโมเนียไนไทรต์ และไนเทรต โดยมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งพบได้ทั่วไปในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีดิน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์มีการสะสมและลดลงหลังจากวันที่ 30 ผลการทดลองยังพบว่าการสะสมไนไทรต์ในน้ำความเข้มข้นสูงเกินกว่า 1 มก./ล. ซึ่งเป็นอันตรายต่อปลา (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) ในสภาวะกลางแจ้ง (ชุดการทดลองที่ 1) ไม่พบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟตเนื่องจากมีแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นซึ่งมีบทบาทในการนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ ต่างกับในสภาวะแสงน้อย (ชุดการทดลองที่ 2) ที่ไม่มีแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นทำให้มีการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต

การมีสาหร่ายอยู่ในถังที่ไม่มีดิน (ชุดทดลองที่ 3 และ 4) ในสภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 3) พบว่าไม่มีการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต แสดงให้เห็นว่าสารประกอบไนโตรเจนถูกบำบัดโดยสาหร่ายนำเข้าสู่เซลล์ในสภาวะที่มีแสง อย่างไรก็ตามแม้ว่าสาหร่ายช่อพริกไทยจะสามารถเติบโตได้แต่ก็ไม่สามารถรองรับการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนได้ การได้รับแสงเพียงพอทำให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชซึ่งมีบทบาทในการควบคุมคุณภาพน้ำร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทย แต่แพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มขึ้นมีข้อจำกัด โดยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบไนโตรเจนอย่างต่อเนื่อง แพลงก์ตอนพืชจะเกิดการบลูมจนมีความหนาแน่นสูงมาก หลังจากนั้นจะเกิดการตายของแพลงก์ตอนพืชส่งผลต่อการย่อยสลายและแอมโมเนียก็จะถูกปลดปล่อยกลับสู่น้ำอีกครั้ง (Chuntapa และคณะ, 2003) ทำให้มีการสะสมของแอมโมเนียและไนไทรต์ แต่เมื่อผ่านไป 40 วัน ไนไทรต์จะลดลงและเริ่มมีการสะสมของไนเทรตเนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วนชุดทดลองที่มีสาหร่ายแต่อยู่ในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 4) พบว่าสาหร่ายแทบจะไม่มีการเติบโตขึ้นเลย ทำให้สาหร่ายช่อพริกไทยจะนำสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้น้อย ทำให้มีการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟตสูงขึ้นต่อเนื่อง แต่กิ่งก้านของสาหร่ายสามารถเป็นพื้นที่ยึดเกาะของไนตริไฟอิงแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี (ธีรพงษ์, 2545) โดยผลการทดลองพบว่าไนไทรต์เริ่มลดลงและมีการสะสมของไนเทรตสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่าการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นหลักแม้ว่าจะมีสาหร่ายอยู่ในน้ำด้วยก็ตาม

ในชุดทดลองที่บรรจุดิน (ชุดทดลองที่ 5 - 8) พบว่าดินก้นถังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเป็นอย่างมาก โดยการที่จัดให้มีแสงอย่างเพียงพอ (ชุดทดลองที่ 5) ส่งผลให้เกิดการบำบัดได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่พบการสะสมของแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่ามีการบำบัดจะเกิดการทำงานร่วมกันระหว่างสาหร่ายช่อพริกไทยและชั้นดินก้นถัง ในขณะที่ในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 6) ซึ่ง

จำกัดการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย การที่สาหร่ายได้รับแสงไม่เพียงพอจะนำสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้น้อย จึงพบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต แต่ดินในถังก็มีบทบาทในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนเพราะหากไม่มีดินจะทำให้เกิดการสะสมของไนไทรต์ในความเข้มข้นสูงดังที่พบในชุดทดลองที่ไม่มีดิน (ชุดทดลองที่ 1-4)

สำหรับชุดการทดลองที่ไม่มีสาหร่าย แต่มีดิน และเปรียบเทียบกันระหว่างสภาวะอยู่กลางแจ้งและสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 7 และ 8) พบว่าแม้ไม่มีสาหร่ายที่ช่วยในการควบคุมคุณภาพน้ำแต่มีชั้นดินที่อยู่ที่ก้นถัง โดยทั่วไปในบ่อดินซึ่งจะมีกระบวนการทางชีวธรณีเคมี (Biogeochemical processes) การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ผลผลิตเป็นแอมโมเนีย โดยไนตริไฟอิงแบคทีเรียจะเปลี่ยนรูปแอมโมเนียเป็นไนไทรต์และไนไทรต์เปลี่ยนเป็นไนเทรตทำให้พบการสะสมของไนเทรตอย่างต่อเนื่อง และไนเทรตจะถูกกำจัดออกจากระบบด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Kutako และคณะ, 2005) ในสภาวะที่มีแสงมาก (ชุดทดลองที่ 7) พบว่าในน้ำมีการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชทำให้น้ำมีสีเขียวขุ่น โดยแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้มีส่วนในการนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ทำให้ความเข้มข้นของไนเทรตและฟอสเฟตในน้ำลดลง ส่วนในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 8) ไม่พบแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้น ทำให้ไม่มีการนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ ส่งผลให้พบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต

การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยโดยการศึกษาการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังทดลอง 8 ชุดการทดลอง ผลการทดลองพบว่าถังที่ไม่มีดิน ไม่มีสาหร่าย สภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 1) ไนโตรเจนส่วนใหญ่มีไนโตรเจนส่วนใหญ่ที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 81.81 และมีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 18.19 แสดงให้เห็นว่าในถังที่ไม่มีดินมีการนำไนโตรเจนในระบบไปใช้ในกระบวนการบำบัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับมีการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชเนื่องจากอยู่ในสภาวะกลางแจ้ง โดยผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่ามีการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชหนาแน่น ส่วนในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 2) ซึ่งในระบบที่ไม่มีดินแต่มีกระบวนการบำบัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกบำบัดโดยแบคทีเรีย โดยมีไนโตรเจนส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ถึงร้อยละ 68.02 และมีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 31.98 เนื่องจากในระบบที่ไม่มีดินจะมีกระบวนการไนตริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ทำให้ยังคงมีไนโตรเจนบางส่วนหลงเหลืออยู่ในน้ำ และการที่อยู่ในสภาวะแสงน้อยทำให้ไม่มีการนำไนโตรเจนไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืช สำหรับถังที่ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะที่ได้รับแสง (ชุดทดลองที่ 3) พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถเติบโตได้ดีและผลการวิเคราะห์สมดุลไนโตรเจนพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในสาหร่าย และทำให้พบการหลงเหลือของไนโตรเจนในน้ำเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการใช้สาหร่ายบำบัดไนโตรเจนต้องคำนึงถึงผลของแสง ส่วนในถังที่ไม่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 4) พบว่า

ยังคงมีไนโตรเจนส่วนใหญ่สะสมอยู่ในน้ำถึงร้อยละ 61.16 เนื่องการใช้สาหร่ายบำบัดน้ำถูกจำกัดจากการสังเคราะห์แสง แต่ในระบบถังไม่มีดินพบว่ามีกระบวนการบำบัดโดยแบคทีเรียผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน แสดงให้เห็นว่าการบำบัดเกิดโดยแบคทีเรียโดยมีไนโตรเจนที่ไม่สามารถระบุได้ร้อยละ 33.44 สำหรับชุดทดลองที่มีสาหร่าย มีชั้นดิน สภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 5) พบว่าการใช้สาหร่ายสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีโดยมีไนโตรเจนเข้าไปอยู่ในตัวสาหร่ายร้อยละ 78.95 นอกจากนั้นยังมีการบำบัดโดยแบคทีเรียที่ผิวชั้นดินและในสภาวะกลางแจ้งยังมีแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นร่วมด้วย ซึ่งมีผลต่อการบำบัดไนโตรเจน สำหรับชุดทดลองที่มีดิน มีสาหร่าย สภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 6) พบว่าการใช้สาหร่ายบำบัดเกิดได้น้อยเนื่องจากถูกจำกัดการสังเคราะห์แสง แสดงให้เห็นว่าในสภาวะแสงน้อยการบำบัดไนโตรเจนจะเกิดจากแบคทีเรียที่ผิวชั้นดิน ในชุดทดลองที่ไม่มีสาหร่าย มีชั้นดิน สภาวะกลางแจ้ง (ชุดทดลองที่ 7) มีไนโตรเจนส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ถึงร้อยละ 91.00 ซึ่งเกิดจากการบำบัดไนโตรเจนโดยแบคทีเรียที่ผิวชั้นดิน และสภาวะกลางแจ้งมีการบำบัดไนโตรเจนของแพลงก์พืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติร่วมด้วย ทำให้มีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำเพียงเล็กน้อยคือร้อยละ 9.00 ส่วนในสภาวะแสงน้อย (ชุดทดลองที่ 8) ผลการทดลองแสดงให้เห็นการบำบัดไนโตรเจนเกิดจากแบคทีเรียโดยมีไนโตรเจนส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ถึงร้อยละ 72.35 และมีไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำร้อยละ 27.65 เนื่องจากอยู่ในสภาวะแสงน้อยทำให้ไม่มีการนำไนโตรเจนไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืช

ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าชั้นดินมีบทบาทมากต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน โดยเมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดด้วยสาหร่ายและระบบบำบัดด้วยแบคทีเรียในถังที่มีดินจะพบว่าระบบทั้งสองมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน โดยระบบบำบัดด้วยสาหร่ายมีกระบวนการบำบัดที่ไม่ซับซ้อน สามารถบำบัดแอมโมเนียและฟอสเฟตได้ดี แต่มีข้อเสียคือต้องมีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ปริมาณสารอาหาร ส่วนระบบที่มีดินซึ่งมีแบคทีเรียจะมีข้อดีของระบบคือ สามารถบำบัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน แต่ข้อเสียของระบบคือไม่สามารถบำบัดฟอสเฟตได้ ส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชที่มากเกินไป และมีผลต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยเฉพาะในเวลากลางคืน ซึ่งมีผลต่อการบำบัดโดยแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ อาจทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนได้ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้นำระบบการใช้สาหร่ายและระบบการบำบัดโดยแบคทีเรียมาใช้ร่วมกันโดยผลการทดลองพบว่าสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ดีได้ ซึ่งจะต้องมีการดำเนินการที่ดีโดยบ่อบำบัดจะต้องจัดให้มีแสงที่เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและมีควบคุมปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอให้กับแบคทีเรีย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. สาหร่ายช่อพริกไทยมีบทบาทในการช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างชัดเจน พบว่าถังที่มีดินพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนไทรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบรูณ์เนื่องจากพบการสะสมของไนเทรต สาเหตุหลักเป็นเพราะแบคทีเรียที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเกิดผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน สำหรับถังที่ไร้ดินและอยู่กลางแจ้งพบว่าการบำบัดไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน พบการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนระหว่างแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยตรวจพบการสะสมของไนเทรตและฟอสเฟต ส่วนในสภาวะที่อยู่กลางแจ้งแสงจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย ทำให้สาหร่ายช่อพริกไทยมีบทบาทสำคัญในการบำบัดแอมโมเนียโดยการนำเข้าสู่เซลล์มากกว่าชุดการทดลองที่เลี้ยงอยู่ในสภาวะแสงน้อยหรือถังภายในโรงเรือนที่ไม่มีดินจะพบการสะสมของแอมโมเนียและไนไทรต์

2. การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว ถังที่มีดินพบว่าดินมีบทบาทมากโดยพบไนโตรเจนหลงเหลืออยู่ในน้ำเพียงเล็กน้อย ไนโตรเจนส่วนใหญ่เข้าไปอยู่ในตัวปลา และมีส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ซึ่งอาจเกิดจากการบำบัดไนโตรเจนของแบคทีเรียในชั้นดิน ส่วนถังที่ไม่มีดินอยู่กลางแจ้งพบว่าแสงมีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย อย่างไรก็ตามแม้ว่าสาหร่ายช่อพริกไทยจะเติบโตได้ดีแต่พบว่ามีไนโตรเจนเข้าไปอยู่ในสาหร่ายเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ โดยไนโตรเจนส่วนใหญ่เข้าไปอยู่ในตัวปลา แต่ยังมีไนโตรเจนปริมาณมากที่ไม่สามารถระบุได้ สำหรับถังภายในโรงเรือนที่ไม่มีดินพบว่ามีไนโตรเจนส่วนใหญ่นอกจากจะเข้าไปอยู่ในตัวปลาแล้ว ยังมีไนโตรเจนปริมาณมากหลงเหลืออยู่อยู่ในน้ำ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำระบบการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยไปใช้เป็นหน่วยบำบัดน้ำทิ้งขั้นสุดท้าย เช่น ใช้แทนพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland) เนื่องจากสาหร่ายช่อพริกไทยไม่สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีสารอินทรีย์สูงมากๆได้ หรือหากใช้ก็ควรนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบบำบัดอื่นๆ เช่น ระบบที่ใช้แบคทีเรีย

2. เนื่องจากการศึกษาวิจัยนี้เป็นระดับทดลอง จึงควรทำการศึกษาข้อมูลการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละรูปแบบในสถานที่จริง เพื่อนำข้อมูลจากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขนาดใหญ่ เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. 2535. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. บริษัทฐานเศรษฐกิจ จำกัด.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ชลี ไพบูลย์กิจกุล, ศิริวรรณ อัศวอัจฉริยกุล และ เบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล. ผลของความเค็ม และความเข้มแสงต่อประสิทธิภาพการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*). ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. 18-20 ตุลาคม 2548 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

ธีรพงษ์ จรัญญาภรณ์. 2545. การใช้สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะสิ่งแวดล้อม บัณฑิตมหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์. 2544. การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* J. Agardh. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบเปิด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.akublueocean.com/project_biosa.html [2552, มกราคม 20].

ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบกึ่งเปิด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.seacase.org/projectsummary.html [2552, มกราคม 20].

ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบปิดหรือระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.aquamaof.com/category/Recirculation_Systems [2552, มกราคม 20].

มะลิวัลย์ คุตะโค, ขนิษฐา เยี่ยวยา, ปริยา นุภาสันต์, จันทร์สว่าง งามผ่องใส และ สรวิศ เผ่าทองศุข. การเปลี่ยนแปลงของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากนากุ้งภายใต้สภาวะการทดลองในห้องปฏิบัติการ. ในการประชุมวิชาการ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. 18-20 ตุลาคม 2549 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

มะลิวัลย์ คุตะโค, บุปฝา ศรีสัมฤทธิ์, จันทิมา อานทอง, สรวิศ เผ่าทองศุข และเปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2550. การใช้ตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันในการบำบัดไนโตรเจนในถังเลี้ยงสัตว์น้ำกลางแจ้ง. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 29(2): 23-45.

มะลิวัลย์ คุตะโค, สุพัตรา ส้มเขียวหวาน, บัณฑิตา เพิ่มพูล, เสรี ดอนเหนือ, ตะวัน ลิมปิยากร, สรวิศ เผ่าทองศุข และ เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. ผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนของดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ. ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34. 31 ตุลาคม - 2 พฤศจิกายน 2551 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิต. กรุงเทพมหานคร.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, ภานุ เทวรัตน์มณีกุล, พรรณศรี จริโมภาส, สุจินทร์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัณยวุฒิ, วีระ วัชรกรโยธิน และกลม จันทรโรทัย. 2536. การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิล. สถาบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. กรมประมง. 133 หน้า.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. กรมประมง. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 115 หน้า.

รตีวรรณ อ่อนรัศมี, ถิรพงษ์ ถิรมนัส, ดนัย บวรเกียรติ และรจฤดี โชติกาวินทร์. 2541. การบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้งด้วยระบบบำบัดแบบชีววิทยา. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิลาสินี ไตรยราช. 2546. สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดไนเตรตในน้ำทะเลด้วยระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะสิ่งแวดล้อม บัณฑิตมหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริวัฒน์ คูเจริญไพบูลย์. 2544. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้ปลาน้ำจืดระบบปิดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ. 2538. การใช้สาหร่ายทะเลช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2533. ข้อควรพิจารณาในการจัดการบ่อเลี้ยงกุ้ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2533. สงขลา. 18 หน้า.

สุชาดา จังรัสสะ. 2550. ผลของออกซิเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งจำลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะสิ่งแวดล้อม บัณฑิตมหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สรวิศ เผ่าทองศุข. 2543. สาหร่าย: ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ “อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ชุดที่ 2.

สรวิศ เผ่าทองศุข และเปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. การเลี้ยงกุ้งในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในโรงเรือน. ในรายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการนวัตกรรมและทิศทางของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในประเทศไทย. 24 มกราคม 2550 ณ โรงแรมมิราเคิลคอนเวนชัน. กรุงเทพมหานคร

สรวิศ เผ่าทองศุข, สุทธิกาญจน์ สุทธิ, จันทรสว่าง งามผ่องใส, ชมพูนุช ชัยรัตนะ, สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และเปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2547. การทดสอบประสิทธิภาพของการเลี้ยงกุ้งระบบปิดที่มีการควบคุมคุณภาพน้ำด้วยระบบกรองชีวภาพในบ่อ. หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโลโลยี.

อลิสา โชควิวัฒนวนิช. 2543. ประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะสิ่งแวดล้อม บัณฑิตมหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. Washington DC: American Public Health Asscociation.

Briggs, M. R. P., and Funge-Smith, S. J. 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. Aquaculture and Fisheries Management 25: 789-811.

Burfeind, D. D., and. Udy, J. W. 2009. The effects of light and nutrients on *Caulerpa taxifolia* and seagrass interactions in Moreton Bay, Australia. Aquatic Botany 90: 105-109.

Di Toro, D.M., Mahony, J.D. and Gonzalez, A.M. 1996. Particle oxidation model of synthetic FeS and sediment acid-volatile sulfide. Environmental Toxicology and Chemistry 5: 2156-2167.

Casillas-Hernández, R., Magallón-Barajas, P., Portillo-Clarck, F., and Páez-Osuna, F. 2006. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. In: Aquaculture 258: 289-298.

Gowen, R. J. 1990. An assessment of the impact of fish farming on the water column and sediment ecosystem of Irish coastal waters. Unpublished report prepared for the Department of the Marine, Ireland, 74p.

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

Häder D. P., Porst M., Herrmann H., Schäfer J., and Santas R. 1997. Photosynthesis of the Mediterranean green alga Caulerpa prolifera measured in the field under solar radiation. Journal of Photochemistry and Photobiology B 37: 66–73.

Hart, P., and O'Sullivan, D. 1993. Recirculation systems: design, construction and management, Aquaculture Sourcebook, Tasmania.

Hayashi, L., Yokoya, N. S., Ostini, S., Pereira, R. T. L., Braga, E. S., and Oliveira, E. C. 2008. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. Aquaculture 277: 185-191.

Horstmann, U. 1983. Cultivation of the green algae, *Caulerpa racemosa*, in tropical waters and some aspects of its physiological ecology. Aquaculture 32: 361-371.

Jackson, C., Preston, N., Thompson., P. J., and Burford, M. 2003. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. Aquaculture 218: 397-411.

Jangrassa, S., Kutako, M., Powtongsook, S. and Manasveta, P. 2007. Effect of aeration on inorganic nitrogen released from sediment in artificial outdoor shrimp pond. Proceedings 33rd Congress on Science and Technology of Thailand, 18-20 October 2007 at Walailuk University, Nakhon Si Thammarat [http://www.scisoc.or.th/stt/33/sec_i/paper/stt33_I_I0028.pdf]

Lewmanomont, K., and Ogawa, H. 1995. Common seaweeds and seagrasses of Thailand. Faculty of Fisheries, Kasetseart University, Thailand. 164p.

Neori, A. and Shpigel, M. 1999. Using algae to treat effluents and feed invertebrates in sustainable integrated mariculture. World Aquaculture 30(2): 46-49

Papatryphon, E., Petit, J., Van der Werf, H. M. G., Sadasivam K. J., and Claver., K. 2005. Nutrient-Balance Modeling as a Tool for Environmental Management in Aquaculture: The Case of Trout Farming in France. Environmental Management 35(2): 161-174

Toma, T. 1987. *Caulerpa lentillifera*, In S. Shokito and M. Yamagushi (eds.). Aquaculture in Tropical Area Midori Shobo, Japan. pp 45-55

Tucker, C. S., and Boyd, C. E. 1985. Water quality. In Water Quality (Channel Catfish Culture Ponds), Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Elsevier, Netherlands.

Van Rijn, J. 1996. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture. Aquaculture 139: 181-201.

Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M. and Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture 231: 361-391.

Sesuk, T., Powtongsook, S., Nootong, K. 2009. Inorganic nitrogen control in a novel zero-water exchanged aquaculture system integrated with airlift-submerged fibrous nitrifying biofilters. Bioresource Technology 100: 2088-2094.

Strickland, J.D.H., and Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis, 2nd edition. Ottawa: Fisheries research board of Canada.

Zhou, Y., Yang, H., Hu, H., Liu, Y., Y., Mao, Y., Zhou, H., Xu, X., and Zhang, F. 2006. Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of north China. Aquaculture 252: 264-276.

ภาคผนวก

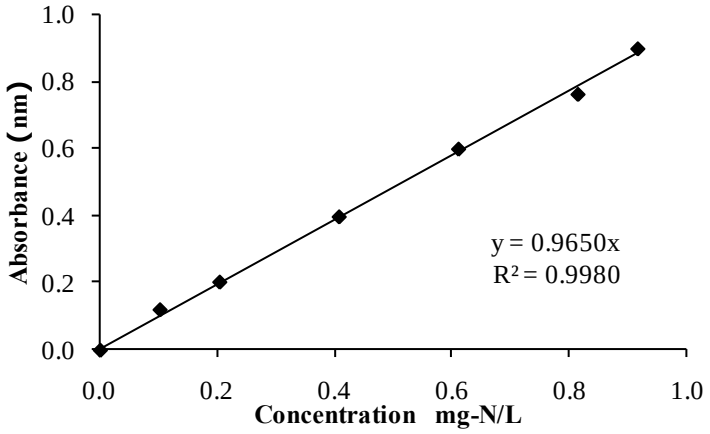
ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

1. วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

การวิเคราะห์แอมโมเนียในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียซึ่งดัดแปลงมาจากของ Strickland and Parson (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 10 มล. ควรทำการวิเคราะห์ทันที (หากน้ำตัวอย่างมีของแข็งแขวนลอยอยู่ให้กรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร □) ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 ^{0}ซ หรือแช่เย็นโดยเติมฟีนอล 1 มล. ต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง 25 มล. ซึ่งถ้าเก็บรักษาด้วยวิธีดังกล่าวจะสามารถเก็บตัวอย่างได้ถึง 2 สัปดาห์

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มล. โดยใช้น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็นแบลงค์ เติมสารละลายฟีนอล (phenol 20 กรัม ใน 95% v/v Ethyl Alcohol ปริมาตร 200 มล.) ปริมาตร 0.04 มล. เติมสารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์ ($Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$ 1.0 กรัม ในน้ำ D.I. 200 มล.) ปริมาตร 0.04 มล. จากนั้นเติมสารละลายออกซิไดซิง (ผสม alkaline reagent (Sodium citrate 100 กรัม และ NaOH 5 กรัม ในน้ำ D.I. 500 มล.) และ Sodium hypochlorite solution ในอัตราส่วน 100 มล. ต่อ 25 มล.) ปริมาตร 0.1 มล. เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชม. สีที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ภายใน 24 ชม. หลังทำปฏิกิริยา นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร จากนั้นเตรียมสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 0.9 มก.แอมโมเนียไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ จากสารละลายสต็อคแอมโมเนียความเข้มข้น 100 มก.แอมโมเนียไนโตรเจนต่อลิตร

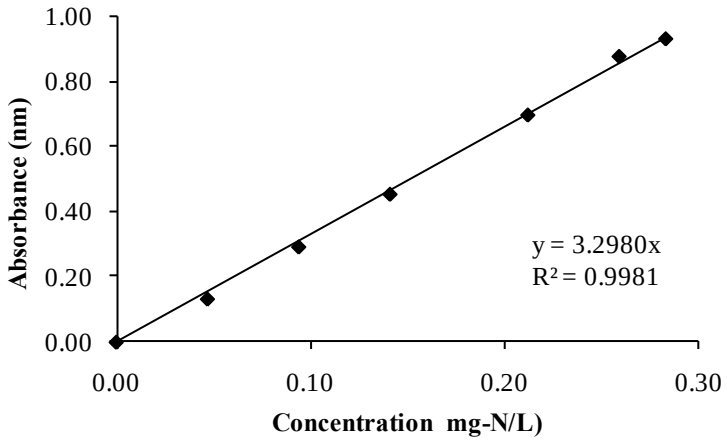


รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (Total ammonia)

2. วิเคราะห์ไนไทรต์

การวิเคราะห์ไนไทรต์ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนไทรต์ซึ่งดัดแปลงมาจากของ Strickland and Parson (1972) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 10 มล. ควรทำการวิเคราะห์ทันที (หากน้ำตัวอย่างมีของแข็งแขวนลอยอยู่ให้กรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร □) ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 ^{0}ซ

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มล. โดยใช้น้ำ De-Ionized (D.I.) เป็นแบลงค์ เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulphanilamide 5 กรัม และ Hydrochloric acid 50 มล. ในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มล.) ปริมาตร 0.02 มล. เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาที แต่ไม่เกิน 10 นาที จากนั้นเติม Naphthylethylenediamine reagent (N-(1-naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.50 กรัม ในน้ำ 500 มล.) ปริมาตร 0.02 มล. เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 10 นาที หรือไม่เกิน 2 ชม. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร จากนั้นเตรียมสารละลายไนไทรต์มาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 และ 0.30 มก.ไนไทรต์ไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ จากสารละลายสต็อคไนไทรต์ความเข้มข้น 100 มก.ไนไทรต์ไนโตรเจนต่อลิตร

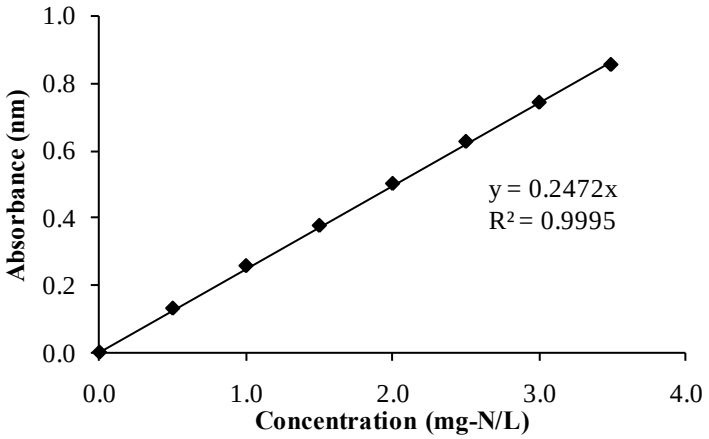


รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานไนไทรต์ (NO_2^--N)

3. วิธีวิเคราะห์ไนเทรต

การวิเคราะห์ไนเทรตในน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 10 มล. ถ้ายังไม่สามารถทำการวิเคราะห์ทันทีควรแช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 ^{0}ซ

น้ำตัวอย่างมีของแข็งแขวนลอยอยู่ให้กรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร□ ก่อนการวิเคราะห์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร ตามลำดับ ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะนำไปใช้คำนวณหาปริมาณไนเทรตต่อไป จากนั้นเตรียมสารละลายไนเทรตมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 มก.ไนเทรตไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ จากสารละลายสต็อคไนเทรตความเข้มข้น 100 มก.ไนเทรตไนโตรเจนต่อลิตร



รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานไนเทรต (NO_3^--N)

4. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

1. Ammonium molybdate solution ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 15 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร (เก็บไว้ในขวดพลาสติก ห่างจากแสง)
2. Sulfuric Acid solution เติม Sulfuric Acid concentrated ปริมาตร 140 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 900 มิลลิลิตร (ควรเก็บไว้ในที่เย็นและเก็บไว้ในขวดแก้ว)
3. Ascorbic Acid solution ละลาย Ascorbic Acid (AR grade) 27 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดพลาสติก นำไปแช่ไว้ในช่องเย็น (แต่ไม่ควรเก็บไว้ที่อุณภูมิห้องเกิน 1 สัปดาห์)
4. Potassium antimonyl-tartrate solution ละลาย Potassium antimonyl-tartrate 0.34 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร (เก็บไว้ในขวดแก้วหรือพลาสติก สารละลายดังกล่าวจะเก็บไว้ได้นานหลายเดือน)

Mixed reagent

- Ammonium molybdate solution ปริมาตร 100 มิลลิลิตร อัตราส่วน 2 มิลลิลิตร
- Sulfuric Acid solution ปริมาตร 250 มิลลิลิตร อัตราส่วน 5 มิลลิลิตร
- Ascorbic Acid solution ปริมาตร 100 มิลลิลิตร อัตราส่วน 2 มิลลิลิตร
- Potassium antimonyl- tartrate solution ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราส่วน 1 มิลลิลิตร

(ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้ ไม่สามารถเก็บสารได้นานเกิน 6 ชั่วโมง ปริมาตรดังกล่าวนี้สามารถใช้ได้กับตัวอย่างน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง)

การเตรียม Phosphate stock solution (ความเข้มข้น 186 มิลลิกรัมฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสต่อลิตร)

ชั่ง K_2HPO_4 (anhydrous potassium dihydrogen phosphate) 0.816 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา

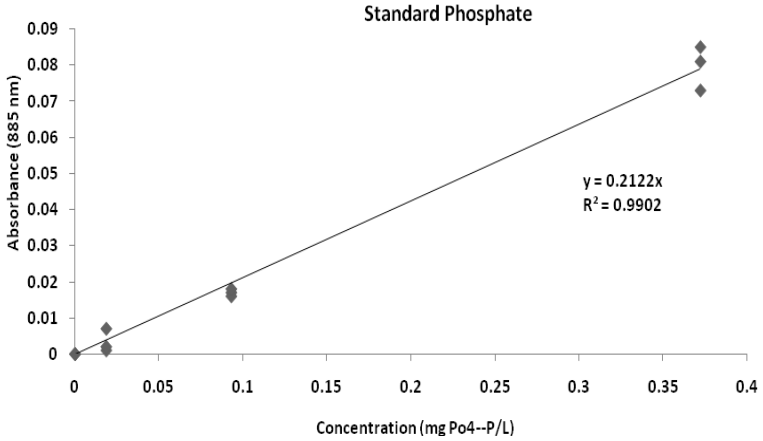
ขั้นตอนการวิเคราะห์

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร หยดรีเอเจนต์ที่เตรียมไว้เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

1. เติม Mixed Reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง
2. นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร
   นำค่าที่ได้จากการวัดดังกล่าวไปสร้างกราฟมาตราฐาน เพื่อหาค่าความเข้มข้นของปริมาณฟอสเฟต

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

นำน้ำตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาพแช่แข็งไว้ มาทำให้ละลาย เจือจางด้วยน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมด้วยน้ำกลั่น ปิเปตปริมาตรน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอด Eppendorf เติม mix reagent ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ซึ่งเกิดจากการผสมของ Ammonium molybdate solution (ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 15 กรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร) Sulfuric acid solution (Conc.H_2SO_4 140 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 900 มิลลิลิตร) Ascorbic acid solution (ละลาย Ascorbic acid 27 กรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร) Potassium antimonyl-tratrate solution (ละลาย Potassium antimonyl-tratrate solution 0.34 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร) ในอัตราส่วน 2:5:2:1 มิลลิลิตร ปิดหลอด Eppendorf แล้วเขย่า ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที แล้ววัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร โดยเครื่อง Spectrophotometer (Genesys 10ux, Thomo spectronic) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน KH_2PO_4 ความเข้มข้น 0, 0.0186, 0.093, 0.372, และ 0.744 มิลลิกรัม ฟอสเฟตต่อลิตร



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต (PO_4^{3-})

5. วิธีวิเคราะห์รงควัตถุ

การวิเคราะห์รงควัตถุใช้วิธีการซึ่งดัดแปลงมาจาก Strickland และ Parson (1972) โดยการกรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง GF/C ขนาด 25 มม. จากนั้นนำแผ่นกรองที่ได้ไปสกัดหารงควัตถุ (หากต้องการเก็บตัวอย่างไว้ให้พับแผ่นกระดาษกรองแล้วห่อด้วยกระดาษอลูมิเนียม แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °ซ ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างไว้ได้ 2 ถึง 3 สัปดาห์) การสกัดใช้วิธีการนำแผ่นกรองแช่ลงในสารละลายอะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มล. จากนั้นแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 20 ชม. แล้วจึงนำแผ่นกรองมาบดจนละเอียด เทสารละลายที่ได้กลับลงในหลอดทดลอง และปรับปริมาตรให้เป็น 5 มล. ด้วยอะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสารละลายมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4000 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 630 645 และ 665 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายอะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ เป็น Blank ซึ่งการคำนวณหาปริมาณรงควัตถุใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ (มก./ลบ.ม.)} = \frac{\square[11.6(A-665)-1.31(A-645)-0.14(A-630)] \times \text{ปริมาตรอะซีโตน (มล.)}}{\text{ปริมาตรน้ำกรอง (ล.)} \times \text{ความยาวของหลอดคิวเวตที่ใช้วัดตัวอย่าง (ซม.)}}$$

6. วิธีวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยวิธีการซึ่งอ้างอิงมาจาก Standard Method (1998) โดยการนำกระดาษกรอง GF/C ขนาด 47 มม. มาอบและชั่งน้ำหนักจนคงที่ จากนั้นนำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 24 ชม. เมื่อนำกระดาษกรองออกจากตู้อบให้นำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกระดาษกรองเย็นลง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เพื่อหาค่าน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{\text{นน.กระดาษกรองหลังกรองน้ำ–นน.กระดาษกรองก่อนกรองน้ำ} \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำที่กรอง (มล.)}}$$

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	0.007	0.000	0.004	0.000	0.009	0.000	0.010	0.000
10/6/2552	2	0.139	0.013	0.134	0.007	0.088	0.002	0.100	0.007
10/8/2552	4	0.353	0.004	0.430	0.011	0.090	0.024	0.140	0.020
10/10/2552	6	0.729	0.006	0.901	0.005	0.033	0.008	0.099	0.002
10/12/2552	8	1.152	0.011	1.041	0.006	0.042	0.005	0.431	0.016
14/10/2552	10	1.627	0.009	1.401	0.004	0.040	0.012	0.830	0.037
16/10/2552	12	1.775	0.020	1.713	0.012	0.024	0.002	1.567	0.040
18/10/2552	14	2.179	0.010	2.312	0.019	0.134	0.017	2.146	0.007
20/10/2552	16	2.225	0.017	2.544	0.017	0.334	0.029	1.611	0.011
22/10/2552	18	0.241	0.006	0.479	0.043	0.261	0.024	0.502	0.013
24/10/2552	20	1.533	0.035	0.035	0.034	0.596	0.029	0.053	0.018
26/10/2552	22	3.292	0.052	0.027	0.085	2.121	0.031	0.093	0.062
28/10/2552	24	1.417	0.037	0.020	0.096	1.709	0.556	0.100	0.042
30/10/2552	26	1.229	0.089	0.077	0.151	1.360	0.030	0.146	0.025
11/1/2552	28	1.005	0.128	0.175	0.152	1.086	0.062	0.637	0.137
11/3/2552	30	0.071	0.147	0.476	0.148	0.392	0.061	0.218	0.064
11/5/2552	32	0.046	0.163	0.466	0.175	0.246	0.101	0.095	0.096
11/7/2552	34	0.035	0.159	0.609	0.133	0.048	0.054	0.110	0.055
11/9/2552	36	0.004	0.167	0.416	0.276	0.000	0.076	0.043	0.032
11/11/2552	38	0.003	0.137	0.362	0.114	0.002	0.040	0.039	0.072
13/11/2552	40	0.024	0.170	0.297	0.314	0.026	0.042	0.035	0.077
15/11/2552	42	0.016	0.213	0.272	0.351	0.021	0.041	0.046	0.033
17/11/2552	44	0.052	0.216	0.265	0.326	0.028	0.031	0.017	0.059
19/11/2552	46	0.092	0.189	0.193	0.335	0.000	0.029	0.025	0.093
21/11/2552	48	0.132	0.177	0.287	0.237	0.017	0.014	0.067	0.037
23/11/2552	50	0.077	0.168	0.175	0.360	0.004	0.008	0.032	0.193
25/11/2552	52	0.006	0.142	0.159	0.248	0.000	0.012	0.009	0.146
27/11/2552	54	0.061	0.119	0.203	0.266	0.002	0.034	0.036	0.118
29/11/2552	56	0.135	0.142	0.225	0.228	0.024	0.037	0.072	0.223
12/1/2552	58	0.125	0.113	0.161	0.193	0.001	0.036	0.014	0.106
12/3/2552	60	0.125	0.100	0.112	0.285	0.000	0.034	0.004	0.136

ตารางที่ ข-2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 5 ถึงชุดที่ 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	0.001	0.015	0.000	0.030	0.000	0.009	0.001	0.032
10/6/2552	2	0.038	0.016	0.068	0.038	0.046	0.016	0.073	0.052
10/8/2552	4	0.022	0.014	0.042	0.069	0.065	0.022	0.138	0.022
10/10/2552	6	0.011	0.004	0.032	0.014	0.051	0.026	0.136	0.033
10/12/2552	8	0.001	0.026	0.071	0.049	0.005	0.034	0.144	0.025
14/10/2552	10	0.001	0.015	0.192	0.028	0.004	0.031	0.147	0.005
16/10/2552	12	0.005	0.038	0.333	0.020	0.019	0.035	0.220	0.035
18/10/2552	14	0.015	0.047	0.238	0.026	0.063	0.055	0.206	0.015
20/10/2552	16	0.003	0.024	0.139	0.032	0.081	0.042	0.197	0.055
22/10/2552	18	0.019	0.030	0.102	0.013	0.112	0.075	0.145	0.028
24/10/2552	20	0.006	0.029	0.093	0.008	0.193	0.090	0.115	0.078
26/10/2552	22	0.010	0.021	0.051	0.048	0.231	0.466	0.080	0.100
28/10/2552	24	0.001	0.039	0.037	0.021	0.253	0.050	0.076	0.141
30/10/2552	26	0.109	0.044	0.066	0.022	0.262	0.045	0.126	0.064
11/1/2552	28	0.050	0.041	0.060	0.036	0.200	0.051	0.188	0.108
11/3/2552	30	0.000	0.062	0.022	0.049	0.101	0.054	0.088	0.080
11/5/2552	32	0.109	0.080	0.018	0.060	0.041	0.115	0.038	0.126
11/7/2552	34	0.020	0.039	0.078	0.017	0.166	0.080	0.071	0.079
11/9/2552	36	0.001	0.078	0.030	0.048	0.022	0.038	0.019	0.081
11/11/2552	38	0.000	0.071	0.048	0.051	0.015	0.087	0.016	0.144
13/11/2552	40	0.000	0.053	0.036	0.028	0.014	0.088	0.011	0.125
15/11/2552	42	0.006	0.055	0.040	0.052	0.012	0.104	0.045	0.123
17/11/2552	44	0.008	0.171	0.029	0.040	0.024	0.127	0.021	0.147
19/11/2552	46	0.001	0.077	0.024	0.033	0.013	0.119	0.034	0.174
21/11/2552	48	0.022	0.071	0.022	0.039	0.010	0.161	0.032	0.100
23/11/2552	50	0.004	0.091	0.019	0.056	0.011	0.150	0.011	0.129
25/11/2552	52	0.000	0.120	0.005	0.047	0.000	0.197	0.001	0.128
27/11/2552	54	0.002	0.104	0.031	0.057	0.003	0.189	0.013	0.186
29/11/2552	56	0.068	0.122	0.083	0.065	0.068	0.207	0.047	0.152
12/1/2552	58	0.001	0.151	0.025	0.041	0.005	0.219	0.032	0.177
12/3/2552	60	0.000	0.178	0.002	0.050	0.000	0.211	0.001	0.178

ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของไนไทรต์ในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	0.015	0.002	0.022	0.003	0.016	0.001	0.026	0.002
10/6/2552	2	0.012	0.002	0.012	0.002	0.006	0.001	0.006	0.001
10/8/2552	4	0.018	0.007	0.021	0.000	0.004	0.000	0.010	0.001
10/10/2552	6	0.021	0.007	0.027	0.003	0.001	0.001	0.002	0.000
10/12/2552	8	0.026	0.007	0.033	0.003	0.001	0.001	0.009	0.002
14/10/2552	10	0.027	0.005	0.040	0.003	0.003	0.002	0.041	0.013
16/10/2552	12	0.027	0.007	0.066	0.003	0.004	0.003	0.202	0.074
18/10/2552	14	0.025	0.010	0.164	0.109	0.005	0.004	0.550	0.133
20/10/2552	16	0.041	0.023	1.010	0.088	0.017	0.019	1.354	0.305
22/10/2552	18	0.135	0.102	3.549	0.331	0.060	0.055	3.041	0.223
24/10/2552	20	0.293	0.094	4.223	0.742	0.082	0.082	3.609	0.261
26/10/2552	22	0.724	0.444	4.248	0.305	0.152	0.079	4.689	0.289
28/10/2552	24	1.802	1.282	4.248	0.314	0.265	0.030	5.212	0.278
30/10/2552	26	2.307	1.508	4.069	0.334	0.481	0.065	5.537	0.199
11/1/2552	28	3.057	1.396	4.526	0.521	0.863	0.252	4.386	1.766
11/3/2552	30	4.280	0.683	3.813	1.700	1.419	0.545	7.243	0.224
11/5/2552	32	4.077	0.499	3.408	1.931	1.787	0.750	7.439	0.471
11/7/2552	34	4.009	0.561	3.445	1.959	1.764	0.759	8.040	0.379
11/9/2552	36	3.923	0.677	3.537	1.604	1.829	0.810	8.413	0.417
11/11/2552	38	4.126	0.855	3.141	1.280	1.714	0.754	8.427	0.251
13/11/2552	40	4.157	0.963	2.764	0.883	1.761	0.713	9.059	1.057
15/11/2552	42	4.074	1.087	1.658	0.728	1.362	0.831	8.681	1.364
17/11/2552	44	3.386	0.996	1.353	1.133	1.009	0.722	6.543	2.249
19/11/2552	46	3.394	1.415	1.264	1.121	0.537	0.510	7.386	3.504
21/11/2552	48	3.336	1.443	1.378	1.357	0.135	0.206	6.055	4.265
23/11/2552	50	2.977	1.461	1.533	1.573	0.010	0.001	4.034	3.484
25/11/2552	52	3.024	1.254	1.427	1.630	0.000	0.000	3.046	3.256
27/11/2552	54	2.015	1.645	1.650	1.938	0.003	0.001	2.226	2.602
29/11/2552	56	1.869	1.805	1.880	2.319	0.010	0.001	1.548	2.059
12/1/2552	58	1.455	1.478	1.687	2.196	0.001	0.001	0.767	1.001
12/3/2552	60	1.464	1.627	2.139	2.867	0.008	0.001	0.435	0.469

ตารางที่ ข-4 ความเข้มข้นของไนไทรต์ในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 5 ถึงชุดที่ 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	0.006	0.001	0.008	0.002	0.007	0.002	0.008	0.004
10/6/2552	2	0.012	0.001	0.016	0.003	0.011	0.003	0.014	0.001
10/8/2552	4	0.012	0.002	0.027	0.005	0.016	0.006	0.023	0.002
10/10/2552	6	0.004	0.004	0.017	0.005	0.014	0.005	0.036	0.006
10/12/2552	8	0.001	0.000	0.029	0.007	0.009	0.002	0.032	0.006
14/10/2552	10	0.001	0.001	0.040	0.009	0.005	0.003	0.030	0.003
16/10/2552	12	0.005	0.002	0.107	0.019	0.015	0.013	0.074	0.002
18/10/2552	14	0.006	0.004	0.046	0.008	0.018	0.018	0.036	0.006
20/10/2552	16	0.011	0.004	0.052	0.018	0.033	0.033	0.042	0.010
22/10/2552	18	0.042	0.002	0.047	0.021	0.040	0.026	0.046	0.017
24/10/2552	20	0.021	0.010	0.041	0.012	0.054	0.007	0.045	0.014
26/10/2552	22	0.012	0.002	0.051	0.014	0.100	0.046	0.052	0.014
28/10/2552	24	0.010	0.014	0.051	0.013	0.181	0.175	0.055	0.040
30/10/2552	26	0.003	0.001	0.045	0.013	0.230	0.225	0.065	0.066
11/1/2552	28	0.006	0.003	0.043	0.009	0.178	0.124	0.054	0.052
11/3/2552	30	0.008	0.002	0.044	0.004	0.041	0.019	0.035	0.026
11/5/2552	32	0.009	0.007	0.035	0.004	0.023	0.006	0.033	0.026
11/7/2552	34	0.006	0.005	0.056	0.019	0.024	0.003	0.044	0.041
11/9/2552	36	0.006	0.006	0.048	0.010	0.016	0.005	0.034	0.025
11/11/2552	38	0.003	0.004	0.038	0.005	0.008	0.003	0.020	0.017
13/11/2552	40	0.006	0.005	0.038	0.003	0.015	0.003	0.023	0.013
15/11/2552	42	0.007	0.001	0.046	0.015	0.012	0.002	0.026	0.014
17/11/2552	44	0.002	0.001	0.031	0.001	0.011	0.004	0.025	0.013
19/11/2552	46	0.001	0.000	0.049	0.052	0.002	0.002	0.011	0.006
21/11/2552	48	0.003	0.000	0.027	0.013	0.007	0.003	0.019	0.009
23/11/2552	50	0.008	0.003	0.029	0.012	0.008	0.001	0.016	0.003
25/11/2552	52	0.000	0.000	0.022	0.011	0.001	0.001	0.010	0.005
27/11/2552	54	0.003	0.001	0.034	0.004	0.005	0.002	0.020	0.005
29/11/2552	56	0.008	0.001	0.049	0.026	0.009	0.002	0.023	0.008
12/1/2552	58	0.002	0.003	0.026	0.005	0.001	0.001	0.015	0.008
12/3/2552	60	0.006	0.000	0.032	0.002	0.007	0.001	0.025	0.009

ตารางที่ ข-5 ความเข้มข้นของไนเทรตในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	1.729	0.006	1.650	0.017	1.734	0.033	1.686	0.041
10/6/2552	2	1.649	0.029	1.627	0.018	1.522	0.020	1.587	0.021
10/8/2552	4	1.710	0.093	1.668	0.013	1.476	0.025	1.581	0.011
10/10/2552	6	1.622	0.056	1.602	0.018	1.465	0.002	1.422	0.022
10/12/2552	8	1.608	0.017	1.612	0.006	1.454	0.043	1.413	0.012
14/10/2552	10	1.628	0.090	1.635	0.080	1.478	0.024	1.482	0.010
16/10/2552	12	1.715	0.128	1.686	0.027	1.647	0.116	1.635	0.122
18/10/2552	14	1.606	0.067	1.847	0.036	1.542	0.039	2.161	0.167
20/10/2552	16	1.629	0.098	2.805	0.119	1.640	0.040	3.161	0.402
22/10/2552	18	1.704	0.115	2.788	0.141	1.644	0.082	2.701	0.216
24/10/2552	20	1.955	0.066	6.185	0.219	1.770	0.122	6.220	0.206
26/10/2552	22	2.481	0.519	6.765	0.341	1.976	0.115	7.301	0.350
28/10/2552	24	3.701	1.402	5.896	0.446	1.936	0.058	7.077	0.301
30/10/2552	26	4.485	1.844	6.471	0.332	2.290	0.039	8.117	0.421
11/1/2552	28	5.556	1.559	7.970	1.441	2.812	0.232	8.013	2.773
11/3/2552	30	6.566	0.649	6.036	1.838	3.609	0.701	9.825	0.354
11/5/2552	32	7.025	0.497	6.204	2.143	4.352	0.741	11.019	0.413
11/7/2552	34	6.486	0.635	5.722	2.070	3.969	0.835	10.546	0.464
11/9/2552	36	8.395	1.265	7.331	2.425	5.335	1.146	14.941	0.638
11/11/2552	38	6.680	0.958	5.966	1.781	4.449	0.901	12.732	0.585
13/11/2552	40	6.833	1.226	5.762	2.039	4.161	0.800	13.652	0.565
15/11/2552	42	7.091	1.601	6.090	1.910	4.254	0.861	14.378	0.754
17/11/2552	44	7.574	2.111	6.125	2.473	3.959	0.704	15.471	0.616
19/11/2552	46	6.515	1.645	6.031	2.474	3.492	0.634	14.995	0.621
21/11/2552	48	6.095	1.869	6.022	2.794	2.724	0.232	14.672	0.833
23/11/2552	50	5.743	2.136	6.202	3.140	2.101	0.100	14.941	0.747
25/11/2552	52	5.744	2.493	6.653	3.473	2.199	0.129	16.111	0.869
27/11/2552	54	5.419	2.449	7.211	3.894	2.228	0.117	16.425	0.914
29/11/2552	56	5.308	2.561	7.990	4.467	2.302	0.129	17.661	0.743
12/1/2552	58	4.939	2.597	7.795	4.469	2.181	0.111	17.031	0.670
12/3/2552	60	5.041	2.089	8.843	4.905	2.306	0.125	18.098	0.697

ตารางที่ ข-6 ความเข้มข้นของไนเทรตในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 5 ถึงชุดที่ 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	2.127	0.074	2.079	0.069	2.083	0.099	2.071	0.103
10/6/2552	2	1.874	0.069	2.020	0.046	2.060	0.090	2.054	0.108
10/8/2552	4	1.871	0.120	2.122	0.069	2.183	0.173	2.249	0.127
10/10/2552	6	1.472	0.045	1.885	0.082	2.155	0.171	2.370	0.159
10/12/2552	8	1.390	0.021	2.047	0.161	1.860	0.293	2.557	0.227
14/10/2552	10	1.382	0.014	2.302	0.137	1.619	0.323	2.676	0.304
16/10/2552	12	1.819	0.591	2.733	0.196	1.700	0.328	2.859	0.473
18/10/2552	14	1.496	0.032	3.146	0.213	1.814	0.447	3.090	0.687
20/10/2552	16	1.574	0.027	3.503	0.122	2.018	0.523	2.633	0.288
22/10/2552	18	1.694	0.052	2.034	0.048	2.138	0.604	1.357	0.321
24/10/2552	20	1.705	0.029	4.460	0.268	2.345	0.582	3.843	1.213
26/10/2552	22	1.703	0.023	5.152	0.292	2.186	0.460	4.210	1.403
28/10/2552	24	1.536	0.027	3.096	1.502	2.210	0.545	1.912	0.609
30/10/2552	26	1.676	0.069	5.405	0.273	3.158	0.341	4.353	1.314
11/1/2552	28	1.726	0.071	6.026	0.281	3.896	0.276	4.554	1.416
11/3/2552	30	1.728	0.061	6.266	0.476	3.702	0.349	4.832	1.666
11/5/2552	32	1.811	0.084	6.671	0.311	3.711	0.420	5.036	1.635
11/7/2552	34	1.807	0.074	6.150	0.338	3.176	0.247	4.588	1.480
11/9/2552	36	2.313	0.110	8.589	0.525	4.045	0.664	5.955	1.770
11/11/2552	38	1.862	0.089	7.201	0.496	3.400	0.587	5.118	1.480
13/11/2552	40	1.917	0.074	7.386	0.559	2.996	0.569	5.007	1.768
15/11/2552	42	1.940	0.094	7.961	0.508	3.145	0.660	5.347	1.735
17/11/2552	44	2.060	0.081	8.633	0.413	3.544	0.678	5.823	1.823
19/11/2552	46	2.020	0.101	8.225	0.408	3.428	0.749	5.872	1.452
21/11/2552	48	2.043	0.102	8.019	0.294	3.136	0.313	5.661	1.235
23/11/2552	50	2.017	0.079	7.686	0.284	2.338	0.518	7.032	3.586
25/11/2552	52	2.123	0.092	8.308	0.313	2.385	0.524	6.767	1.289
27/11/2552	54	2.164	0.149	8.413	0.400	2.399	0.564	6.676	1.113
29/11/2552	56	2.220	0.113	8.879	0.429	2.400	0.590	8.367	1.326
12/1/2552	58	2.101	0.307	9.057	1.168	2.379	0.594	7.356	0.723
12/3/2552	60	2.293	0.141	8.997	0.584	2.357	0.606	7.851	0.525

ตารางที่ ข-7 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/6/2552	2	0.026	0.013	0.022	0.007	0.024	0.002	0.031	0.007
10/8/2552	4	0.035	0.004	0.053	0.011	0.071	0.024	0.074	0.020
10/10/2552	6	0.043	0.006	0.058	0.005	0.040	0.008	0.041	0.002
10/12/2552	8	0.097	0.011	0.107	0.006	0.059	0.005	0.082	0.016
14/10/2552	10	0.112	0.009	0.116	0.004	0.057	0.012	0.151	0.037
16/10/2552	12	0.115	0.020	0.125	0.012	0.031	0.002	0.178	0.040
18/10/2552	14	0.127	0.010	0.164	0.019	0.088	0.017	0.256	0.007
20/10/2552	16	0.069	0.017	0.228	0.017	0.149	0.029	0.321	0.011
22/10/2552	18	0.037	0.006	0.288	0.043	0.179	0.024	0.482	0.013
24/10/2552	20	0.106	0.035	0.373	0.034	0.283	0.029	0.598	0.018
26/10/2552	22	0.145	0.052	0.611	0.085	0.345	0.031	0.933	0.062
28/10/2552	24	0.175	0.037	0.593	0.096	0.703	0.556	0.770	0.042
30/10/2552	26	0.272	0.089	0.724	0.151	0.427	0.030	0.966	0.025
11/1/2552	28	0.305	0.128	0.769	0.152	0.376	0.062	0.882	0.137
11/3/2552	30	0.529	0.147	0.851	0.148	0.419	0.061	1.092	0.064
11/5/2552	32	0.692	0.163	1.012	0.175	0.529	0.101	1.213	0.096
11/7/2552	34	0.638	0.159	0.938	0.133	0.492	0.054	1.103	0.055
11/9/2552	36	0.853	0.167	1.165	0.276	0.487	0.076	1.294	0.032
11/11/2552	38	0.985	0.137	1.213	0.114	0.558	0.040	1.500	0.072
13/11/2552	40	1.108	0.170	1.456	0.314	0.596	0.042	1.554	0.077
15/11/2552	42	1.226	0.213	1.593	0.351	0.662	0.041	1.745	0.033
17/11/2552	44	1.184	0.216	1.462	0.326	0.479	0.031	1.622	0.059
19/11/2552	46	1.462	0.189	1.686	0.335	0.563	0.029	2.060	0.093
21/11/2552	48	1.273	0.177	1.639	0.237	0.496	0.014	1.904	0.037
23/11/2552	50	1.413	0.168	1.862	0.360	0.478	0.008	2.050	0.193
25/11/2552	52	1.238	0.142	1.729	0.248	0.454	0.012	1.971	0.146
27/11/2552	54	1.290	0.119	1.930	0.266	0.459	0.034	2.139	0.118
29/11/2552	56	1.292	0.142	1.956	0.228	0.439	0.037	2.215	0.223
12/1/2552	58	1.411	0.113	1.980	0.193	0.408	0.036	2.029	0.106
12/3/2552	60	1.544	0.100	2.183	0.285	0.436	0.034	2.206	0.136

ตารางที่ ข-8 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายชุดที่ 5 ถึงชุดที่ 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10/4/2552	0	0.086	0.015	0.094	0.030	0.070	0.009	0.065	0.032
10/6/2552	2	0.260	0.016	0.277	0.038	0.304	0.016	0.310	0.052
10/8/2552	4	0.237	0.014	0.279	0.069	0.289	0.022	0.311	0.022
10/10/2552	6	0.198	0.004	0.205	0.014	0.210	0.026	0.218	0.033
10/12/2552	8	0.116	0.026	0.296	0.049	0.220	0.034	0.337	0.025
14/10/2552	10	0.141	0.015	0.356	0.028	0.177	0.031	0.368	0.005
16/10/2552	12	0.170	0.038	0.421	0.020	0.159	0.035	0.421	0.035
18/10/2552	14	0.195	0.047	0.474	0.026	0.177	0.055	0.434	0.015
20/10/2552	16	0.213	0.024	0.531	0.032	0.199	0.042	0.464	0.055
22/10/2552	18	0.221	0.030	0.541	0.013	0.183	0.075	0.472	0.028
24/10/2552	20	0.235	0.029	0.632	0.008	0.247	0.090	0.602	0.078
26/10/2552	22	0.273	0.021	0.760	0.048	0.580	0.466	0.721	0.100
28/10/2552	24	0.252	0.039	0.672	0.021	0.334	0.050	0.567	0.141
30/10/2552	26	0.280	0.044	0.763	0.022	0.451	0.045	0.754	0.064
11/1/2552	28	0.200	0.041	0.755	0.036	0.395	0.051	0.734	0.108
11/3/2552	30	0.262	0.062	0.834	0.049	0.499	0.054	0.881	0.080
11/5/2552	32	0.242	0.080	0.881	0.060	0.470	0.115	0.931	0.126
11/7/2552	34	0.331	0.039	0.886	0.017	0.583	0.080	1.001	0.079
11/9/2552	36	0.271	0.078	0.891	0.048	0.501	0.038	0.967	0.081
11/11/2552	38	0.372	0.071	0.982	0.051	0.614	0.087	1.170	0.144
13/11/2552	40	0.344	0.053	0.994	0.028	0.574	0.088	1.152	0.125
15/11/2552	42	0.393	0.055	1.059	0.052	0.639	0.104	1.178	0.123
17/11/2552	44	0.450	0.171	1.026	0.040	0.561	0.127	1.151	0.147
19/11/2552	46	0.449	0.077	1.111	0.033	0.691	0.119	1.208	0.174
21/11/2552	48	0.471	0.071	1.168	0.039	0.719	0.161	1.336	0.100
23/11/2552	50	0.483	0.091	1.160	0.056	0.671	0.150	1.330	0.129
25/11/2552	52	0.432	0.120	1.121	0.047	0.692	0.197	1.387	0.128
27/11/2552	54	0.441	0.104	1.183	0.057	0.652	0.189	1.421	0.186
29/11/2552	56	0.457	0.122	1.166	0.065	0.642	0.207	1.468	0.152
12/1/2552	58	0.440	0.151	1.137	0.041	0.622	0.219	1.414	0.177
12/3/2552	60	0.534	0.178	1.273	0.050	0.700	0.211	1.597	0.178

ตารางที่ ข-9 น้ำหนักของสาหร่ายในวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	น้ำหนัก (กรัม/ถัง)			
	วันที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	วันที่ 61	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชุดการทดลองที่ 3	37.96	4.03	429.70	78.63
ชุดการทดลองที่ 4	36.29	0.25	44.60	7.60
ชุดการทดลองที่ 5	36.00	0.15	603.05	96.68
ชุดการทดลองที่ 6	36.26	0.30	63.00	5.06

ตารางที่ ข-10 ค่าความเข้มแสงระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

วันที่	วัน	ความเข้มแสง ($\times 10^3$ ลักซ์)	
		สภาวะกลางแจ้ง	สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน
4/10/2552	0	30.1	29.2
6/10/2552	2	30.5	29.5
8/10/2552	4	31.2	29.9
10/10/2552	6	29.5	28.7
11/10/2552	7	29.9	28.8
12/10/2552	8	30.1	29.3
14/10/2552	10	29.5	28.7
16/10/2552	12	30.1	29.3
17/10/2552	13	28.9	28
18/10/2552	14	28.8	28
1910/2552	15	30.0	29.2
20/10/2552	16	31.6	29.8
21/10/2552	17	30	28.9
22/10/2552	18	31.2	29.8
23/10/2552	19	31	29.3
24/10/2552	20	35	32.6
25/10/2552	21	34.4	32.1
26/10/2552	22	34.2	32.7
27/10/2552	23	33.6	31.8
28/10/2552	24	34.1	33.3
29/10/2552	25	36.6	33.7
30/10/2552	26	36.3	33.9
31/10/2552	27	36.2	33.3
1/11/2552	28	36.5	33.3
2/11/2552	29	35.1	33.8
3/11/2552	30	33.2	32.5
4/11/2552	31	32.9	30.5

วันที่	วัน	ความเข้มแสง ($\times 10^3$ ลักซ์)	
		สภาวะกลางแจ้ง	สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน
5/11/2552	32	34.2	33.6
6/11/2552	33	33.1	32.3
7/11/2552	34	32.1	30.7
8/11/2552	35	32.1	30.8
9/11/2552	36	31.9	31.1
10/11/2552	37	31.1	30.2
11/11/2552	38	30.2	29.4
12/11/2552	39	30	29.2
13/11/2552	40	30.5	29.7
14/11/2552	41	33.2	31.7
15/11/2552	42	33.1	31.2
16/11/2552	43	30.2	29.4
17/11/2552	44	30.7	29.9
18/11/2552	45	35.5	33.2
19/11/2552	46	35.7	33.5
20/11/2552	47	35.4	33.8
21/11/2552	48	37.8	35.1
22/11/2552	49	35.8	34.1
23/11/2552	50	35.4	33.8
24/11/2552	51	33.8	32.5
25/11/2552	52	33.7	33.1
26/11/2552	53	35.6	33.2
27/11/2552	54	36.8	33.1
29/11/2552	56	34.8	33.4
30/11/2552	57	37.8	33.2
1/12/2552	58	35.8	34.1
2/12/2552	59	36.1	33.5
3/12/2552	60	36.6	33.6

ตารางที่ ข-11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายถังที่ 1 ถึง 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4/10/2552	0	21.00	3.61	17.67	2.52	21.33	3.21	21.67	0.58
14/10/2552	10	94.67	3.51	84.33	4.04	92.33	2.52	84.00	1.73
22/10/2552	18	137.89	2.46	129.22	0.84	136.00	1.00	126.00	0.67
30/10/2552	26	249.89	1.58	218.89	2.55	247.44	0.19	207.56	3.10
9/11/2552	36	371.78	1.50	302.67	1.00	320.89	2.59	302.67	1.76
19/11/2552	46	411.56	1.50	322.22	0.69	352.33	11.85	324.11	1.50
29/11/2552	56	447.89	1.71	328.11	1.35	376.89	3.15	336.11	1.17
3/12/2552	60	482.11	3.66	345.00	1.67	412.11	1.84	366.11	2.55

ตารางที่ ข-12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายถังที่ 5 ถึง 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4/10/2552	0	36.67	6.11	44.00	4.58	43.00	2.65	42.67	4.36
14/10/2552	10	84.33	4.04	77.67	2.52	82.33	2.52	90.33	1.53
22/10/2552	18	131.5	1.39	122.33	1.86	131.33	1.20	126.33	3.00
30/10/2552	26	241.89	2.71	214.22	1.07	234.67	1.15	207.22	1.07
9/11/2552	36	327.33	2.33	295.44	0.51	332.78	0.96	274.78	1.35
19/11/2552	46	363.22	1.68	339.33	2.33	395.89	0.84	336.33	2.65
29/11/2552	56	384.56	17.84	353.00	1.20	432.44	0.69	349.00	0.58
3/12/2552	60	423.67	8.19	369.67	2.91	444.78	0.69	364.00	1.76

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวถังที่ 1 ถึง 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	0.064	0.015	0.043	0.022	0.032	0.015	0.065	0.011
21/11/2553	2	0.207	0.037	0.149	0.026	0.191	0.025	0.141	0.006
23/11/2553	4	1.001	0.230	1.437	0.742	1.389	0.032	1.020	0.618
25/11/2553	6	0.819	0.187	1.684	0.363	1.661	0.290	1.938	0.432
27/11/2553	8	0.014	0.022	1.974	0.826	0.443	0.694	1.091	0.714
29/11/2553	10	0.000	0.000	0.333	0.305	0.000	0.000	0.595	0.967
1/12/2553	12	0.004	0.006	0.517	0.874	0.088	0.086	0.340	0.355
3/12/2553	14	0.036	0.063	0.155	0.154	0.264	0.142	0.273	0.388
5/12/2553	16	0.018	0.026	0.228	0.256	1.638	1.193	0.275	0.364
7/12/2553	18	0.000	0.000	0.150	0.069	1.105	1.119	0.226	0.318
9/12/2553	20	0.002	0.003	0.031	0.009	0.002	0.003	0.163	0.247
11/12/2553	22	0.067	0.084	0.032	0.032	0.258	0.259	0.099	0.139
13/12/2553	24	0.025	0.033	0.038	0.062	0.420	0.594	0.040	0.045
15/12/2553	26	0.069	0.097	0.000	0.000	0.246	0.225	0.039	0.042
17/12/2553	28	0.002	0.001	0.441	0.003	0.046	0.042	0.141	0.030
19/12/2553	30	0.004	0.002	0.015	0.022	0.034	0.040	0.024	0.021
21/12/2553	32	0.027	0.015	0.022	0.031	0.010	0.003	0.049	0.055
23/12/2553	34	0.070	0.028	0.031	0.029	0.029	0.003	0.049	0.042
25/12/2553	36	0.060	0.004	0.057	0.006	0.045	0.003	0.072	0.049
27/12/2553	38	0.024	0.011	0.028	0.006	0.020	0.006	0.106	0.116
29/12/2553	40	0.021	0.011	0.020	0.004	0.027	0.025	0.047	0.013
31/12/2553	42	0.034	0.058	0.000	0.000	0.226	0.392	0.004	0.005
2/1/2554	44	0.081	0.119	0.042	0.005	0.073	0.105	0.056	0.023
4/1/2554	46	0.104	0.065	0.059	0.011	0.081	0.092	0.100	0.066
6/1/2554	48	0.055	0.009	0.012	0.012	0.004	0.005	0.089	0.109
8/1/2554	50	0.031	0.012	0.047	0.017	0.000	0.000	0.114	0.065
10/1/2554	52	0.027	0.012	0.020	0.006	0.011	0.004	0.128	0.088
12/1/2554	54	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.086	0.039
14/1/2554	56	0.059	0.058	0.031	0.050	0.119	0.201	0.169	0.123
16/1/2554	58	0.004	0.006	0.018	0.007	0.004	0.006	0.065	0.059
18/1/2554	60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.015
20/1/2554	62	0.069	0.090	0.030	0.027	0.001	0.001	0.046	0.050

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงถังที่ 5 ถึง 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	0.035	0.030	0.035	0.018	0.060	0.005	0.065	0.010
21/11/2553	2	0.063	0.007	0.096	0.012	0.078	0.028	0.079	0.010
23/11/2553	4	0.376	0.221	0.408	0.102	0.284	0.024	0.343	0.129
25/11/2553	6	1.915	1.213	0.675	0.121	0.147	0.045	0.787	0.093
27/11/2553	8	0.200	0.129	1.196	0.071	0.088	0.025	0.974	0.075
29/11/2553	10	0.004	0.007	0.072	0.025	0.000	0.000	0.179	0.066
1/12/2553	12	0.004	0.006	0.132	0.091	0.151	0.212	0.374	0.241
3/12/2553	14	0.000	0.000	0.023	0.039	0.303	0.428	0.096	0.149
5/12/2553	16	0.001	0.001	0.000	0.000	0.130	0.205	0.000	0.000
7/12/2553	18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9/12/2553	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/12/2553	22	0.050	0.019	0.037	0.012	0.018	0.002	0.043	0.025
13/12/2553	24	0.000	0.000	0.230	0.032	0.000	0.000	0.134	0.066
15/12/2553	26	0.000	0.000	0.346	0.054	0.000	0.000	0.222	0.029
17/12/2553	28	0.079	0.009	0.011	0.013	0.083	0.050	0.010	0.002
19/12/2553	30	0.030	0.030	0.163	0.079	0.221	0.200	0.084	0.014
21/12/2553	32	0.642	1.101	0.055	0.047	1.405	1.304	0.036	0.016
23/12/2553	34	0.624	0.854	0.103	0.092	1.418	1.105	0.065	0.016
25/12/2553	36	0.522	0.425	0.086	0.050	1.314	0.631	0.068	0.023
27/12/2553	38	0.127	0.160	0.071	0.048	1.074	0.923	0.047	0.013
29/12/2553	40	0.035	0.029	0.073	0.056	0.687	1.002	0.038	0.015
31/12/2553	42	0.032	0.054	0.049	0.043	0.282	0.088	0.019	0.019
2/1/2554	44	0.131	0.186	0.103	0.065	0.978	1.027	0.056	0.033
4/1/2554	46	0.272	0.397	0.103	0.066	0.808	1.013	0.111	0.090
6/1/2554	48	0.201	0.349	0.050	0.060	0.468	0.810	0.102	0.056
8/1/2554	50	0.081	0.136	0.023	0.014	0.403	0.342	0.095	0.067
10/1/2554	52	0.042	0.010	0.058	0.047	0.286	0.408	0.094	0.085
12/1/2554	54	0.039	0.068	0.057	0.035	0.678	1.129	0.149	0.151
14/1/2554	56	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.064	0.061
16/1/2554	58	0.003	0.003	0.036	0.057	0.096	0.148	0.081	0.054
18/1/2554	60	0.000	0.000	0.012	0.020	0.049	0.062	0.055	0.051
20/1/2554	62	0.000	0.000	0.039	0.067	0.062	0.044	0.182	0.194
22/1/2554	64	0.104	0.062	0.103	0.082	0.055	0.025	0.154	0.047
24/1/2554	66	0.160	0.242	0.091	0.079	0.078	0.024	0.226	0.143
26/1/2554	68	0.001	0.002	0.042	0.073	0.001	0.001	0.000	0.000
30/1/2554	72	0.000	0.001	0.005	0.008	0.001	0.001	0.000	0.000

ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นของไนไทรต์ในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวถังที่ 1 ถึง 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	0.142	0.022	0.062	0.024	0.009	0.001	0.008	0.001
21/11/2553	2	0.180	0.023	0.017	0.006	0.083	0.028	0.089	0.063
23/11/2553	4	0.483	0.065	0.115	0.045	0.275	0.068	0.171	0.043
25/11/2553	6	1.549	0.157	0.389	0.179	0.659	0.242	0.626	0.179
27/11/2553	8	2.541	0.922	1.099	0.701	1.376	0.645	1.665	0.691
29/11/2553	10	2.939	1.242	2.712	1.460	1.565	0.601	2.645	1.026
1/12/2553	12	2.782	1.236	1.429	0.593	1.475	0.496	1.924	0.414
3/12/2553	14	3.517	1.441	5.075	1.529	1.831	0.804	4.520	0.632
5/12/2553	16	4.010	1.062	5.596	0.861	2.060	0.986	5.318	0.475
7/12/2553	18	3.284	1.399	5.160	0.609	1.838	0.853	5.155	0.308
9/12/2553	20	3.312	1.627	6.010	1.052	1.945	0.845	5.157	0.537
11/12/2553	22	3.173	1.634	5.684	1.159	2.338	1.181	4.831	1.598
13/12/2553	24	2.621	1.358	5.354	1.027	2.685	1.666	3.169	2.686
15/12/2553	26	2.616	0.949	5.553	0.875	2.905	1.460	2.411	3.535
17/12/2553	28	2.487	0.795	3.958	2.130	5.278	0.704	3.598	6.068
19/12/2553	30	1.856	0.864	1.641	1.457	5.930	1.057	3.281	5.518
21/12/2553	32	1.173	0.624	0.280	0.465	6.932	1.641	3.335	4.946
23/12/2553	34	0.483	0.492	0.156	0.204	6.385	1.829	2.113	3.349
25/12/2553	36	0.267	0.364	0.062	0.011	6.813	2.324	1.746	2.764
27/12/2553	38	0.029	0.034	0.028	0.017	7.899	2.964	0.138	0.061
29/12/2553	40	0.047	0.040	0.050	0.045	6.470	2.676	0.567	0.801
31/12/2553	42	0.064	0.070	0.017	0.014	6.138	2.095	0.073	0.057
2/1/2554	44	0.118	0.183	0.026	0.014	6.970	2.227	0.062	0.043
4/1/2554	46	0.092	0.135	0.035	0.022	1.556	2.644	0.108	0.088
6/1/2554	48	0.031	0.038	0.039	0.007	2.099	3.367	0.238	0.208
8/1/2554	50	0.010	0.007	0.068	0.038	0.588	0.891	0.297	0.239
10/1/2554	52	0.069	0.109	0.021	0.006	0.025	0.020	0.205	0.150
12/1/2554	54	0.013	0.007	0.024	0.015	0.021	0.010	0.251	0.174
14/1/2554	56	0.014	0.009	0.020	0.018	0.015	0.006	0.301	0.188
16/1/2554	58	0.013	0.013	0.030	0.032	0.014	0.012	0.236	0.201
18/1/2554	60	0.017	0.015	0.045	0.055	0.016	0.014	0.185	0.183
20/1/2554	62	0.033	0.041	0.079	0.104	0.011	0.009	0.150	0.126

ตารางที่ ค-4 ความเข้มข้นของไนไทรต์ในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวถังที่ 5 ถึง 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	0.010	0.002	0.098	0.065	0.014	0.003	0.010	0.002
21/11/2553	2	0.014	0.001	0.019	0.004	0.013	0.002	0.013	0.004
23/11/2553	4	0.066	0.024	0.097	0.011	0.046	0.005	0.075	0.032
25/11/2553	6	0.066	0.012	0.216	0.022	0.043	0.001	0.147	0.069
27/11/2553	8	0.061	0.040	0.272	0.064	0.015	0.005	0.245	0.131
29/11/2553	10	0.048	0.036	0.215	0.096	0.019	0.004	0.289	0.181
1/12/2553	12	0.024	0.021	0.201	0.044	0.025	0.014	0.335	0.150
3/12/2553	14	0.006	0.006	0.086	0.026	0.033	0.041	0.217	0.205
5/12/2553	16	0.008	0.008	0.011	0.005	0.050	0.068	0.027	0.031
7/12/2553	18	0.010	0.007	0.030	0.029	0.012	0.013	0.012	0.004
9/12/2553	20	0.003	0.001	0.006	0.001	0.002	0.001	0.012	0.009
11/12/2553	22	0.015	0.015	0.049	0.059	0.005	0.000	0.014	0.004
13/12/2553	24	0.016	0.014	0.085	0.007	0.028	0.033	0.112	0.040
15/12/2553	26	0.012	0.014	0.242	0.049	0.005	0.002	0.337	0.102
17/12/2553	28	0.013	0.012	0.476	0.047	0.013	0.009	0.440	0.137
19/12/2553	30	0.023	0.016	0.350	0.079	0.030	0.024	0.331	0.029
21/12/2553	32	0.029	0.037	0.140	0.104	0.063	0.054	0.229	0.028
23/12/2553	34	0.062	0.086	0.096	0.118	0.140	0.122	0.195	0.008
25/12/2553	36	0.174	0.255	0.108	0.129	0.373	0.329	0.169	0.063
27/12/2553	38	0.117	0.148	0.076	0.088	0.130	0.101	0.127	0.059
29/12/2553	40	0.041	0.017	0.070	0.079	0.530	0.453	0.116	0.049
31/12/2553	42	0.029	0.015	0.061	0.065	0.089	0.039	0.146	0.064
2/1/2554	44	0.018	0.013	0.060	0.055	0.406	0.277	0.138	0.073
4/1/2554	46	0.024	0.027	0.073	0.063	0.418	0.251	0.153	0.063
6/1/2554	48	0.042	0.058	0.077	0.079	0.372	0.136	0.216	0.039
8/1/2554	50	0.059	0.090	0.060	0.060	0.313	0.097	0.125	0.028
10/1/2554	52	0.060	0.096	0.045	0.051	0.193	0.211	0.141	0.073
12/1/2554	54	0.042	0.057	0.060	0.066	0.072	0.041	0.200	0.106
14/1/2554	56	0.063	0.079	0.069	0.086	0.310	0.464	0.185	0.117
16/1/2554	58	0.041	0.048	0.072	0.102	0.369	0.600	0.244	0.200
18/1/2554	60	0.027	0.028	0.055	0.062	0.314	0.503	0.170	0.156
20/1/2554	62	0.022	0.021	0.053	0.068	0.276	0.371	0.225	0.295

ตารางที่ ค-5 ความเข้มข้นของไนเทรตในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวถังที่ 1 ถึง 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	7.168	0.847	6.461	0.292	4.882	0.013	4.693	0.082
21/11/2553	2	7.002	0.094	6.416	0.240	6.801	0.278	6.299	0.105
23/11/2553	4	7.237	0.088	6.600	0.226	6.947	0.236	6.600	0.087
25/11/2553	6	9.241	0.042	6.715	0.299	7.431	0.821	7.185	0.305
27/11/2553	8	9.890	1.557	7.903	1.002	8.152	1.413	8.980	1.204
29/11/2553	10	10.043	2.598	9.987	1.985	7.480	1.427	10.499	1.226
1/12/2553	12	9.587	3.373	11.482	2.548	7.324	1.782	12.013	1.827
3/12/2553	14	10.856	3.796	13.455	2.138	7.925	1.625	13.910	1.789
5/12/2553	16	11.972	3.714	15.325	1.480	8.043	2.300	15.466	1.908
7/12/2553	18	9.138	3.251	13.036	1.177	6.032	1.736	13.057	1.817
9/12/2553	20	9.338	3.545	14.956	1.705	6.464	1.643	14.560	2.043
11/12/2553	22	9.331	3.542	16.412	2.068	6.562	1.319	16.134	2.113
13/12/2553	24	8.469	2.564	16.614	1.618	6.851	1.137	15.573	1.590
15/12/2553	26	8.298	2.403	18.063	1.424	7.733	0.796	16.996	1.554
17/12/2553	28	8.421	2.314	19.791	2.435	9.784	1.094	18.619	0.622
19/12/2553	30	8.125	2.389	20.571	2.286	10.818	1.593	20.539	1.151
21/12/2553	32	7.442	2.837	21.756	2.686	12.144	2.220	21.613	1.944
23/12/2553	34	6.908	2.714	20.517	3.094	12.281	2.449	20.590	2.376
25/12/2553	36	7.056	2.887	21.787	3.939	13.487	3.363	21.564	3.324
27/12/2553	38	6.627	3.227	23.347	4.195	14.668	4.166	23.871	5.159
29/12/2553	40	6.344	3.838	24.702	4.399	15.029	4.155	25.458	5.383
31/12/2553	42	5.742	4.449	25.831	5.277	16.169	4.044	27.342	6.899
2/1/2554	44	6.132	5.558	28.183	5.943	17.848	1.520	28.957	7.341
4/1/2554	46	5.585	5.206	24.216	6.642	16.871	1.038	25.042	6.149
6/1/2554	48	5.875	5.509	26.745	6.755	15.589	4.217	26.322	6.919
8/1/2554	50	6.110	5.548	28.570	7.616	16.049	5.264	29.021	7.439
10/1/2554	52	5.587	4.699	27.299	7.588	13.504	5.354	26.817	7.447
12/1/2554	54	5.696	4.659	28.498	7.769	13.234	5.561	26.504	5.987
14/1/2554	55	5.434	4.399	28.820	7.447	12.084	6.517	28.765	8.428
16/1/2554	56	5.471	4.519	31.094	8.868	11.890	6.988	31.797	9.684
18/1/2554	60	4.944	3.720	31.245	8.842	10.263	6.662	29.856	8.851
20/1/2554	62	4.859	3.083	31.279	8.817	10.175	6.440	30.611	9.484

ตารางที่ ค-6 ความเข้มข้นของไนเทรตในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวถังที่ 5 ถึง 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	6.107	0.189	6.796	1.086	5.454	0.350	4.969	0.281
21/11/2553	2	4.937	0.080	5.503	0.383	4.688	0.094	4.973	0.229
23/11/2553	4	5.006	0.065	5.658	0.427	4.748	0.130	5.307	0.331
25/11/2553	6	5.141	0.404	6.141	0.444	4.504	0.196	5.638	0.568
27/11/2553	8	4.739	0.637	6.950	0.475	3.535	0.316	6.425	0.661
29/11/2553	10	4.848	1.225	8.054	0.667	2.694	0.296	7.635	0.996
1/12/2553	12	3.776	0.790	8.732	0.445	2.570	0.261	8.341	0.986
3/12/2553	14	2.859	1.018	9.046	0.384	2.222	0.521	9.162	0.770
5/12/2553	16	2.075	0.244	9.513	0.717	2.462	0.752	9.787	0.760
7/12/2553	18	1.594	0.074	7.118	0.423	1.831	0.508	7.217	0.381
9/12/2553	20	1.572	0.013	7.302	0.472	1.524	0.111	7.649	0.331
11/12/2553	22	1.765	0.077	7.553	0.575	1.709	0.073	7.961	0.466
13/12/2553	24	1.646	0.128	7.143	0.372	1.708	0.062	7.500	0.513
15/12/2553	26	1.766	0.020	7.811	0.348	1.943	0.120	8.597	0.603
17/12/2553	28	1.728	0.088	8.469	0.310	1.947	0.199	9.557	1.021
19/12/2553	30	1.946	0.081	9.531	0.425	2.114	0.206	10.397	1.045
21/12/2553	32	2.194	0.168	9.922	0.687	2.293	0.317	10.879	1.213
23/12/2553	34	2.242	0.308	9.483	0.816	2.487	0.439	10.945	0.855
25/12/2553	36	2.610	0.699	9.958	1.099	3.074	0.827	11.670	1.074
27/12/2553	38	2.962	0.762	10.603	1.700	3.619	1.131	12.097	0.799
29/12/2553	40	3.057	0.426	11.335	1.979	3.938	1.188	13.508	1.372
31/12/2553	42	2.874	0.145	11.749	2.336	4.128	1.362	14.080	1.473
2/1/2554	44	2.744	0.460	12.460	3.042	4.340	1.309	14.961	1.710
4/1/2554	46	2.492	0.245	11.559	2.467	4.044	1.227	12.964	1.215
6/1/2554	48	2.400	0.536	12.035	2.765	4.226	1.106	13.976	1.444
8/1/2554	50	2.656	0.544	13.074	3.860	3.772	0.912	13.978	0.945
10/1/2554	52	2.593	0.490	12.396	3.280	4.012	0.529	14.199	0.833
12/1/2554	54	2.853	0.511	12.728	4.149	3.944	0.270	15.122	1.400
14/1/2554	55	2.768	0.625	11.579	2.839	3.497	0.641	15.166	1.202
16/1/2554	56	3.089	0.694	14.034	5.362	3.893	0.908	17.310	1.996
18/1/2554	60	2.811	0.687	10.037	0.632	3.370	0.931	15.985	2.048
20/1/2554	62	2.716	0.665	9.527	1.850	3.303	0.850	16.108	2.733

ตารางที่ ค-7 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวถังที่ 1 ถึง 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	1.048	0.056	1.075	0.006	0.863	0.064	0.865	0.059
21/11/2553	2	1.044	0.096	0.884	0.076	1.117	0.035	1.027	0.053
23/11/2553	4	0.958	0.123	0.813	0.032	1.087	0.045	1.043	0.048
25/11/2553	6	0.901	0.152	0.803	0.084	1.001	0.124	1.020	0.057
27/11/2553	8	0.777	0.179	0.918	0.178	0.753	0.352	1.032	0.091
29/11/2553	10	0.726	0.259	0.954	0.038	0.605	0.307	1.088	0.103
1/12/2553	12	0.583	0.337	0.948	0.064	0.535	0.324	1.049	0.141
3/12/2553	14	0.679	0.336	0.951	0.063	0.865	0.576	1.149	0.131
5/12/2553	16	0.691	0.216	1.018	0.045	0.713	0.066	1.173	0.013
7/12/2553	18	0.575	0.168	0.867	0.064	0.537	0.204	1.002	0.024
9/12/2553	20	0.581	0.192	0.933	0.080	0.534	0.247	1.101	0.064
11/12/2553	22	0.514	0.172	1.019	0.120	0.447	0.115	1.204	0.102
13/12/2553	24	0.443	0.165	1.017	0.131	0.397	0.080	1.282	0.175
15/12/2553	26	0.450	0.090	1.145	0.150	0.450	0.046	1.384	0.203
17/12/2553	28	0.565	0.125	1.341	0.177	0.647	0.073	1.421	0.083
19/12/2553	30	0.603	0.129	1.570	0.293	0.796	0.047	1.568	0.099
21/12/2553	32	0.651	0.152	1.625	0.160	0.917	0.068	1.795	0.151
23/12/2553	34	0.578	0.176	1.502	0.153	0.902	0.093	1.714	0.109
25/12/2553	36	0.689	0.260	1.575	0.163	1.067	0.190	1.793	0.052
27/12/2553	38	0.666	0.323	1.805	0.198	1.210	0.244	2.502	0.132
29/12/2553	40	0.580	0.436	1.889	0.261	1.200	0.232	2.693	0.210
31/12/2553	42	0.622	0.515	1.864	0.280	1.483	0.171	2.757	0.368
2/1/2554	44	0.721	0.613	1.832	0.309	1.529	0.231	2.731	0.239
4/1/2554	46	0.678	0.561	1.833	0.385	1.550	0.272	2.594	0.323
6/1/2554	48	0.653	0.572	2.300	0.444	1.755	0.401	4.092	0.568
8/1/2554	50	0.668	0.632	2.601	0.432	1.913	0.660	2.885	0.348
10/1/2554	52	0.634	0.601	2.588	0.516	1.685	0.494	2.764	0.261
12/1/2554	54	0.582	0.581	2.594	0.412	1.659	0.524	2.911	0.381
14/1/2554	56	0.515	0.571	2.580	0.451	1.509	0.465	2.851	0.587
16/1/2554	58	0.532	0.615	2.621	0.425	1.424	0.468	2.844	0.352
18/1/2554	60	0.492	0.563	2.722	0.560	1.681	0.810	3.061	0.650
20/1/2554	62	0.455	0.558	2.750	0.576	1.669	0.831	3.043	0.669

ตารางที่ ค-8 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวถังที่ 5 ถึง 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	0.911	0.025	1.012	0.011	0.528	0.350	0.853	0.081
21/11/2553	2	0.874	0.119	0.509	0.330	0.884	0.075	0.844	0.085
23/11/2553	4	0.717	0.195	0.397	0.402	0.793	0.121	0.796	0.088
25/11/2553	6	0.855	0.035	0.354	0.447	0.657	0.198	0.745	0.155
27/11/2553	8	0.805	0.062	0.422	0.444	0.526	0.224	0.844	0.176
29/11/2553	10	0.667	0.161	0.419	0.373	0.430	0.328	0.838	0.148
1/12/2553	12	0.684	0.179	0.552	0.383	0.370	0.285	0.915	0.128
3/12/2553	14	0.656	0.147	0.670	0.371	0.485	0.297	1.139	0.205
5/12/2553	16	0.579	0.170	0.653	0.334	0.586	0.307	1.063	0.152
7/12/2553	18	0.361	0.091	0.441	0.352	0.284	0.144	0.841	0.084
9/12/2553	20	0.363	0.092	0.438	0.378	0.204	0.123	0.902	0.088
11/12/2553	22	0.301	0.088	0.380	0.407	0.190	0.146	0.936	0.097
13/12/2553	24	0.200	0.112	0.269	0.385	0.076	0.096	0.849	0.128
15/12/2553	26	0.207	0.113	0.337	0.388	0.107	0.119	0.918	0.097
17/12/2553	28	0.183	0.139	0.401	0.316	0.221	0.217	1.000	0.040
19/12/2553	30	0.310	0.254	0.440	0.369	0.245	0.239	1.069	0.065
21/12/2553	32	0.371	0.389	0.464	0.406	0.250	0.204	1.142	0.090
23/12/2553	34	0.283	0.347	0.395	0.437	0.239	0.125	1.061	0.063
25/12/2553	36	0.346	0.332	0.763	0.225	0.348	0.069	1.133	0.059
27/12/2553	38	0.327	0.322	0.631	0.459	0.342	0.039	1.179	0.087
29/12/2553	40	0.237	0.256	0.495	0.614	0.264	0.070	1.186	0.078
31/12/2553	42	0.288	0.265	0.581	0.654	0.266	0.077	1.270	0.107
2/1/2554	44	0.303	0.203	0.594	0.587	0.348	0.123	1.286	0.058
4/1/2554	46	0.254	0.212	0.598	0.575	0.342	0.124	1.197	0.117
6/1/2554	48	0.234	0.163	0.627	0.596	0.239	0.105	1.253	0.107
8/1/2554	50	0.184	0.161	0.666	0.632	0.200	0.139	1.394	0.113
10/1/2554	52	0.215	0.130	0.605	0.617	0.269	0.040	1.276	0.073
12/1/2554	54	0.214	0.155	0.577	0.729	0.191	0.071	1.424	0.106
14/1/2554	56	0.208	0.159	0.562	0.750	0.201	0.115	1.451	0.090
16/1/2554	58	0.264	0.176	0.600	0.775	0.278	0.158	1.558	0.209
18/1/2554	60	0.220	0.156	0.613	0.802	0.274	0.142	1.551	0.196
20/1/2554	62	0.231	0.154	0.583	0.833	0.277	0.151	1.576	0.247

ตารางที่ ค-9 น้ำหนักของสาหร่ายในวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	น้ำหนัก (กรัม/ถัง)					
	วันที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	วันที่ 30	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	วันที่ 62	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชุดการทดลองที่ 3	44.60	0.72	70.43	17.21	168.23	16.26
ชุดการทดลองที่ 4	45.60	0.50	56.87	7.29	70.14	16.33
ชุดการทดลองที่ 5	45.80	1.57	125.33	6.83	265.60	67.69
ชุดการทดลองที่ 6	45.73	0.23	48.47	0.40	66.27	1.50

ตารางที่ ค-10 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายถังที่ 1 ถึง 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	406.00	206.41	150.00	23.58	64.67	23.69	75.33	18.90
1/12/2553	22	478.67	158.07	370.00	267.22	320.00	157.62	168.67	99.14
13/12/2553	24	214.00	47.79	148.00	121.34	178.67	47.38	170.00	28.00
29/12/2553	40	312.67	37.65	314.67	136.25	350.00	123.60	266.67	94.11
8/1/2554	50	434.33	270.20	345.33	43.88	420.00	153.24	203.33	45.71
20/1/2554	62	615.33	234.37	171.33	31.77	140.67	81.35	91.33	44.38
30/1/2554	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ค-11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายถังที่ 5 ถึง 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	263.33	52.32	121.33	27.59	119.33	58.80	133.33	76.17
1/12/2553	22	231.33	181.11	174.67	24.85	271.33	72.34	253.33	66.49
13/12/2553	24	153.33	24.03	182.67	53.53	227.33	20.23	220.00	39.11
29/12/2553	40	178.00	40.00	157.33	8.08	260.00	69.54	256.00	75.18
8/1/2554	50	167.33	16.17	198.00	12.00	162.67	55.58	175.33	91.48
20/1/2554	62	122.67	74.33	158.67	48.84	208.00	245.30	213.33	114.29
30/1/2554	72	172.00	5.29	190.67	9.07	177.33	10.02	236.33	85.45

ตารางที่ ค-12 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายถังที่ 1 ถึง 4

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29/12/2553	40	31.89	38.54	0.00	0.00	178.99	264.97	7.68	6.65
20/1/2554	62	120.73	163.82	14.49	4.77	39.65	52.46	7.69	5.31
30/1/2554	72								

ตารางที่ ค-13 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายถังที่ 5 ถึง 8

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29/12/2553	40	402.72	310.82	23.80	16.24	109.43	137.75	7.72	3.36
20/1/2554	62	218.28	123.01	15.86	13.17	83.15	79.26	13.91	5.62
30/1/2554	72	141.05	103.18	49.34	70.54	211.41	230.52	14.19	12.86

ตารางที่ ค-14 ปริมาณความเข้มแสง

วันที่	วัน	ความเข้มแสง (ลักซ์) ตรวจวัดเวลา 13.00 น.	
		สภาวะกลางแจ้ง	สภาวะแสงน้อยในโรงเรือน
19/11/2553	0	15055	895
22/11/2553	3	16533	764
23/11/2553	4	9300	1054
24/11/2553	5	3444	538
25/11/2553	6	143289	4133
26/11/2553	7	30311	3444
27/11/2553	8	110223	4650
29/11/2553	10	130223	4450
3/12/2553	14	103445	3987
9/12/2553	20	42040	2267
17/12/2553	28	56053	3290
19/12/2553	30	120564	4020
26/12/2553	37	29000	606
27/12/2553	38	22300	998

30/12/2553	41	38900	1925
1/1/2554	43	43400	1509
5/1/2554	47	48300	1095
7/1/2554	49	26300	464
12/1/2554	54	35400	1755
20/1/2554	62	25040	689

ตารางที่ ค-15 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว ถังที่ 1 ถึง 4 (มก./ลิตร)

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	5.40	0.10	5.53	0.21	5.30	0.62	5.37	0.15
22/11/2553	3	6.40	0.17	5.80	0.10	6.27	0.21	5.83	0.25
25/11/2553	6	5.63	0.15	5.43	0.15	6.00	0.17	5.70	0.26
14/12/2553	25	5.83	0.06	5.73	0.06	5.80	0.17	5.63	0.06
27/12/2553	38	6.63	0.12	6.63	0.23	6.40	0.10	6.70	0.44
30/12/2553	41	6.50	0.10	6.83	0.15	6.40	0.10	6.83	0.06
5/1/2554	47	6.73	0.15	6.47	0.32	6.47	0.15	6.40	0.26
7/1/2554	49	6.27	0.15	6.30	0.44	6.43	0.06	6.73	0.12
20/1/2554	62	6.43	0.06	6.33	0.38	6.53	0.15	6.70	0.17

ตารางที่ ค-16 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว ถังที่ 5 ถึง 8 (มก./ลิตร)

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	5.00	0.26	5.17	0.15	5.20	0.10	5.37	0.15
22/11/2553	3	6.20	0.10	5.87	0.25	6.43	0.06	5.80	0.10
25/11/2553	6	6.03	0.21	5.90	0.10	6.21	0.12	5.83	0.06
14/12/2553	25	5.87	0.06	5.77	0.06	5.97	0.06	5.57	0.06
27/12/2553	38	6.27	0.06	7.13	0.06	6.23	0.06	7.13	0.12
30/12/2553	41	6.53	0.12	6.87	0.06	6.60	0.26	6.77	0.06
5/1/2554	47	6.67	0.21	6.67	0.06	6.63	0.06	6.60	0.26
7/1/2554	49	6.43	0.06	6.73	0.12	6.67	0.21	6.63	0.06
20/1/2554	62	6.43	0.06	6.70	0.10	6.80	0.10	6.70	0.10

ตารางที่ ค-17 อุณหภูมิในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว ถังที่ 5 ถึง 8 (องศาเซลเซียส)

วันที่	วัน	ชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	28.20	0.61	27.67	0.21	28.53	0.55	27.53	0.21
22/11/2553	3	29.10	0.17	28.23	0.21	29.27	0.12	28.00	0.00
25/11/2553	6	28.87	0.06	27.77	0.15	28.90	0.10	27.40	0.10
14/12/2553	25	28.07	0.25	27.93	0.21	28.67	0.15	27.63	0.06
27/12/2553	38	26.60	0.10	24.93	0.42	26.70	0.00	24.40	0.00
30/12/2553	41	25.60	0.20	24.50	0.10	26.37	0.15	24.53	0.12
5/1/2554	47	26.30	0.36	26.37	0.67	26.63	0.25	25.70	0.10
7/1/2554	49	26.20	0.36	25.57	0.40	26.37	0.25	24.93	0.25
20/1/2554	62	26.10	0.53	25.47	0.29	26.57	0.06	24.87	0.29

ตารางที่ ค-18 อุณหภูมิในถังเพาะเลี้ยงปลากะพงขาว ถังที่ 5 ถึง 8 (องศาเซลเซียส)

วันที่	วัน	ชุดที่ 5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 6	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 7	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ชุดที่ 8	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
19/11/2553	0	28.33	0.50	27.57	0.64	29.23	0.31	27.50	0.26
22/11/2553	3	29.23	0.06	27.80	0.10	29.00	0.17	28.00	0.10
25/11/2553	6	28.80	0.00	27.23	0.12	29.13	0.21	27.17	0.06
14/12/2553	25	28.80	0.00	27.37	0.06	28.70	0.00	27.47	0.06
27/12/2553	38	26.23	0.06	23.93	0.06	26.20	0.10	24.93	1.70
30/12/2553	41	26.13	0.06	23.93	0.06	25.00	0.10	24.03	0.06
5/1/2554	47	26.63	0.12	25.37	0.06	26.63	0.06	25.33	0.06
7/1/2554	49	26.50	0.00	24.77	0.06	26.60	0.10	24.77	0.12
20/1/2554	62	26.63	0.21	24.73	0.12	26.70	0.17	24.67	0.15

ตารางที่ ค-19 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 1

จำนวน	บ่อ 1(1)		บ่อ 1(2)		บ่อ 1(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	2	5.2	1.9	5	1.6	4.7
2	1.8	4.7	1.7	5.1	1.5	4.6
3	1.3	4.5	1.4	4.4	1.3	4.5
4	1.5	4.7	1.5	4.7	2	4.8
5	1.6	4.5	1.5	4.4	1.7	4.7
6	1.7	4.7	1.9	5	1.9	4.8
7	1.6	4.3	1.7	4.7	1.7	4.9
8	1.6	4.5	1.7	4.8	1.9	4.7
9	1.6	4.6	1.8	4.7	2.2	5
10	1.4	4.6	1.6	4.6	1.7	4.8
11	1.7	4.6	2	4.8	2.5	5
12	1.5	4.6	2	4.7	1.7	4.8
13	1.6	4.7	1.6	4.7	1.6	4.8
14	1.7	4.9	1.7	4.7	1.4	4.7
15	1.7	4.7				

ตารางที่ ค-20 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 1

จำนวน	บ่อ 1(1)		บ่อ 1(2)		บ่อ 1(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	7.5	9
2					7.2	8.5
3					4.8	7.6
4					5.8	8
5					5.9	7.7
6					5.4	7.7
7					6.8	8
8					5.1	8
9					8.1	8.5
10					10	9.5
11					7.7	9
12					3.6	6.5
13					4.6	7.5

ตารางที่ ค-21 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 2

จำนวน	บ่อ 2(1)		บ่อ 2(2)		บ่อ 2(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	1.2	4.5	2.1	5	2.4	5.5
2	1.7	4.8	1.9	4.7	1.1	4.5
3	2	5.5	1.7	5.4	1.6	4.4
4	1.5	4.8	1.9	4.8	1.9	5
5	1.5	4.8	2.1	5.4	1.5	4.6
6	1.7	4.8	2	4.6	1.6	4.7
7	1.6	4.6	1.6	4.7	1.7	5
8	1.7	4.6	1.6	4.7	1.5	4.7
9	1.5	4.6	1.5	4.7	1.4	4.6
10	1.7	5	1.5	4.6	1.6	4.6
11	2.3	5.2	1.6	4.7	1.9	4.7
12	1.7	4.7	1.4	4.7	2.5	5
13	2.4	5.3	1.5	4.7	1.7	4.8
14	1.5	4.5	1.6	1.6	1.6	4.7
15	2.4	5.2				
16	1.5	4.7				

ตารางที่ ค-22 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 2

จำนวน	บ่อ 2(1)		บ่อ 2(2)		บ่อ 2(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา
2	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

ตารางที่ ค-23 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 3

จำนวน	บ่อ 3(1)		บ่อ 3(2)		บ่อ 3(3)	
	น้ำหนัก(ก.)	ความยาว(ซม.)	น้ำหนัก(ก.)	ความยาว(ซม.)	น้ำหนัก(ก.)	ความยาว(ซม.)
1	1.9	5	1.8	4.5	1.5	4.5
2	1.7	4.7	1.9	4.5	2.1	5.1
3	1.6	4.7	1.5	4.7	1.6	4.6
4	1.5	4.7	1.5	4.3	1.9	5.1
5	2	4.9	1.8	4.7	2.1	5.3
6	1.8	5	1.6	4.5	1.7	4.5
7	1.7	4.8	1.6	4.7	1.6	4.5
8	1.5	4.8	1.5	4.4	1.7	4.7
9	1.5	4.6	1.9	4.3	1.5	4.7
10	1.5	4.6	1.8	4.9	1.6	4.7
11	1.7	4.7	2.1	4.9	1.8	4.7
12	1.8	4.7	1.7	4.7	1.5	4.6
13	1.8	4.7	1.7	4.6	1.8	4.8
14	1.6	4.7	1.3	4.6	1.4	4.6
15	1.4	4.6	1.8	5	1.5	4.6

ตารางที่ ค-24 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 3

จำนวน	บ่อ 3(1)		บ่อ 3(2)		บ่อ 3(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

ตารางที่ ค-25 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 4

จำนวน	บ่อ 4(1)		บ่อ 4(2)		บ่อ 4(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	2.1	4.8	1.7	5.6	1.6	4.9
2	1.7	4.9	1.8	5.1	1.8	4.7
3	1.5	4.6	1.9	4.7	1.6	4.7
4	2	4.6	1.6	4.8	1.8	4.9
5	2.1	4.5	2.1	4.7	1.6	4.5
6	1.7	4.7	1.8	4.7	1.6	4.7
7	1.3	4.8	1.7	5	1.7	4.9
8	1.6	4.7	1.8	4.6	1.8	4.7
9	1.8	4.7	1.7	4.9	1.5	4.8
10	1.3	4.5	1.5	4.7	1.9	4.7
11	1.3	4.7	1.5	4.7	1.5	4.6
12	1.6	4.7	1.5	5	1.6	4.8
13	1.8	4.7	1.4	4.6	1.9	4.9
14	1.5	4.7	1.6	4.9	1.6	4.7
15	1.4	4.6	1.3	4.7	1.5	4.6

ตารางที่ ค-26 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 4

จำนวน	บ่อ 4(1)		บ่อ 4(2)		บ่อ 4(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	8.4	8.2	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา
2	5.1	7.5				
3	5.3	7.8				
4	7.1	8.2				
5	6.3	7.8				
6	7.1	8.5				
7	5.6	7.5				
8	7.2	8.3				
9	4.7	7				
10	4.9	7				
11	4.8	7.5				
12	3.9	6.7				
13	6.5	8				
14	4.2	6.8				

ตารางที่ ค-27 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 5

จำนวน	บ่อ 5(1)		บ่อ 5(2)		บ่อ 5(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	1.8	4.8	1.6	4.6	1.6	4.7
2	1.6	4.5	1.8	4.8	1.6	4.7
3	1.9	4.8	1.6	4.7	1.3	4.4
4	1.7	4.8	1.3	4.4	1.6	4.5
5	1.5	4.7	2	5	1.3	4.4
6	2	4.8	1.7	4.5	1.5	4.7
7	1.5	4.8	2	4.7	1.4	4.3
8	1.7	4.8	2	4.8	1.5	4.6
9	1.7	4.8	1.9	4.9	2	5
10	1.7	4.6	2.1	5	1.5	4.4
11	2	5	1.8	4.8	1.6	4.6
12	1.7	4.8	1.9	5.1	1.6	5
13	1.4	4.8	1.7	4.6	1.8	4.7
14	1.6	4.5	1.5	4.5	2.1	5
15					1.4	4.5
16					1.5	4.5

ตารางที่ ค-28 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 5

จำนวน	บ่อ 5(1)		บ่อ 5(2)		บ่อ 5(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	7.6	9	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	7.6	9
2	7.5	9			7.8	9.2
3	6.8	8			7.2	8.5
4	7.5	8.6			7.7	9.3
5	7.6	8.7			7.7	9.4
6	7.2	8.5			8.2	9.5
7	7.9	9.1			7.9	8.9
8	7.5	8.9			8.5	9.5
9	7.7	9.3			7.8	9.3
10	7.8	9.1			7.8	9.1

ตารางที่ ค-29 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 6

จำนวน	บ่อ 6(1)		บ่อ 6(2)		บ่อ 6(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	1.7	5	1.6	4.7	2.1	5
2	1.9	4.5	1.8	4.7	1.9	5
3	1.2	4.7	1.5	4.8	1.6	4.8
4	1.3	4.8	1.6	4.5	1.7	4.9
5	1.7	5.2	2.3	4.9	1.6	4.8
6	1.6	4.6	2	4.9	1.6	4.7
7	2.1	4.7	1.7	5	1.6	4.6
8	1.7	4.6	1.8	5.2	1.5	4.8
9	1.8	4.6	1.2	4.7	1.3	4.6
10	1.5	4.5	1.2	4.5	1.7	4.7
11	1.7	4.6	1.6	4.8	1.5	4.8
12	1.5	4.6	1.6	4.7	1.3	4.1
13	1.6	4.6	1.6	4.6	1.4	4.6
14	1.6	4.6	1.6	4.7	1.3	4.1
15	1.8	4.7	1.5	4.6	1.5	4.5

ตารางที่ ค-30 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 6

จำนวน	บ่อ 6(1)		บ่อ 6(2)		บ่อ 6(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	5.5	7.7	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา
2	5.6	7.8				
3	5.8	7.9				
4	4.8	7.6				
5	4.7	7.4				
6	6.5	7.8				
7	4.9	7.9				
8	4.8	8				

ตารางที่ ค-31 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 7

จำนวน	บ่อ 7(1)		บ่อ 7(2)		บ่อ 7(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	1.8	4.7	1.8	4.9	1.6	4.6
2	1.7	4.6	1.7	4.8	1.7	4.6
3	1.6	4.8	1.7	5	2	4.5
4	1.8	4.9	1.8	5.1	1.5	4.5
5	1.2	4.3	1.6	4.7	1.5	4.5
6	1.6	4.8	1.5	4.5	2	5
7	1.6	4.5	1.4	4.6	1.5	4.5
8	1.8	4.8	1.8	4.7	1.6	4.5
9	1.6	4.5	1.7	4.5	1.6	4.5
10	1.4	4.5	1.6	4.7	1.6	4.5
11	1.8	4.5	1.5	4.6	1.5	4.5
12	1.7	4.9	1.8	4.9	1.8	4.6
13	1.7	4.5	2	4.9	1.9	4.7
14	1.5	4.5	1.9	4.8	1.2	4.5
15	1.7	4.5			1.6	4.5

ตารางที่ ค-32 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 7

จำนวน	บ่อ 7(1)		บ่อ 7(2)		บ่อ 7(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	7.6	9.2			9.2	11.2
2	6.5	8.3			9.5	10.5
3	6.8	8.2			8.9	9.6
4	7.7	8.9			8.4	9.7
5	7.5	8.6			9.5	9.4
6	7.2	8.1			8.9	9.8
7	7.9	9			8.8	9.4
8	7.6	8.7			8.6	9.8
9	7.9	8.8				
10	7.8	9.2				

ตารางที่ ค-33 น้ำหนักและความยาวเริ่มต้นของปลากะพงขาวในชุดการทดลองที่ 8

จำนวน	บ่อ 8(1)		บ่อ 8(2)		บ่อ 8(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	1.8	5.3	1.2	4.6	1.5	4.6
2	1.6	4.5	1.5	4.5	1.5	4.5
3	1.6	4.7	1.6	4.8	1.1	4.8
4	1.8	4.7	2.2	4.7	1.8	4.8
5	1.6	4.5	1.9	5	1.7	4.9
6	1.4	4.8	1.5	4.6	1.8	4.8
7	1.6	4.8	1.7	4.6	1.7	4.7
8	1.4	4.6	1.6	4.7	1.6	4.9
9	1.5	4.7	1.6	4.6	1.8	4.9
10	1.9	5	1.5	4.6	1.7	4.7
11	1.7	4.6	1.6	4.7	1.7	4.7
12	2	4.6	1.7	4.9	1.6	4.6
13	2	4.7	1.8	4.7	1.5	4.6
14	1.6	4.8	1.5	4.8	1.5	4.7
15			1.9	4.7	1.7	4.6

ตารางที่ ค-34 น้ำหนักและความยาวของปลากะพงขาวหลังการทดลองในชุดการทดลองที่ 8

จำนวน	บ่อ 8(1)		บ่อ 8(2)		บ่อ 8(3)	
	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)
1	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา	ไม่มีปลา
2						
3						
4						
5						
6						
7						

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวันพระ นาคฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 3 เดือนเมษายน พ.ศ.2528 ที่จังหวัดราชบุรีสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2550