ผลของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

Effect of Algae on Eliminating Nitrogen Compounds in Marine Aquaria

สมรักษ์ รอดเจริญ

Somrak Rodjaroen

A

เลขหมู่ SH389.6 G44 S743 ต.2

Bib Key 207776

6 มิ.ย. 2544

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Biological Sciences

Prince of Songkla University

2543

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
ผู้เขียน นายสมรักษ์ รอดเจริญ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ชีวภาพ

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พิมพรรณ ตันสกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เริงชัย ตันสกุล)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พิมพรรณ ตันสกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เริงชัย ตันสกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรศิลป์ ผลพันธิน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิติ ทฤษฎิคุณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

หอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่
ได้รับเมื่อ
บัณฑิตวิทยาลัย มอ.
วันที่ 6 มิ.ย. 2549

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
ผู้เขียน	นายสมรักษ์ รอดเจริญ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ชีวภาพ
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเปรียบเทียบ 3 ระบบคือ ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (ชุดควบคุม) ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยรุ่น 5 ตัวในตู้ขนาด 60 ลิตร เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าตะแกรงสาหร่ายขนาด 0.3 ตารางเมตรที่ใช้ในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน สามารถลดปริมาณสาหร่ายที่เจริญในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำและสามารถลดความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย และไนไตรท์ ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่มีและไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน สาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงและในตู้เป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน กลุ่มไดอะตอม และกลุ่มสาหร่ายสีเขียว

เมื่อศึกษาความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง โดยเปรียบเทียบ 3 ระบบคือ ระบบที่ไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (ชุดควบคุม) ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรงทั้ง 2 ระบบ ปริมาณสาหร่ายที่เจริญในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำและความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงและในตู้เป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน กลุ่มไดอะตอม และกลุ่มสาหร่ายสีเขียว โดยชนิดของสาหร่ายที่พบบนตะแกรงทุกสัปดาห์ในทั้ง 2 ระบบ คือ *Oscillatoria amphigranulate*, *O. chorina*, *O. tennue*, *Amphora* sp. และ *Navicula* sp.1

Thesis Title	Effect of Algae on Eliminating Nitrogen Compounds in Marine Aquaria
Author	Mr. Somrak Rodjaroen
Major Program	Biological Sciences
Academic Year	2000

Abstract

The efficacy of algae on eliminating nitrogen compounds was examined for three filtering systems in marine aquaria - a) no filtering system (control); b) using a biological filter starting with a sterile scrubber; and c) a biological filter with pregrown algae on an algal scrubber. The experiment was carried out for 6 weeks using 5 juveniles shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) in 60-l glass aquaria for each replicate. The 0.3 m^2 algal scrubber on the third treatment was shown to have a significant ($p<0.05$) impact on the fouling algae and on the concentration of total nitrogen, ammonia and nitrite in the filtered water. Incontrast, the concentration of ammonia was not significantly ($p>0.05$) affected by the first two treatments during the six-week experiment. The most frequent species of algae collected on the scrubber and in the aquaria were blue-green algae, diatoms and green algae.

The effect of regularly cleaning the algal scrubber to remove the accumulated algae was studied, comparing treatments a) no filter (control); b) a biological filter starting with algae on the algal scrubber and cleaning the scrubber each 2 weeks; and c) as in (b) but cleaning the scrubber each 4 weeks. During the eight-week experiment, there was no significant effect from the scraping frequency on the amount of attached algae nor on the concentration of total nitrogen, ammonia, nitrite and nitrate in the filtered water. The most frequent species of algae found on the algal scrubber and in the aquaria were blue-green algae, diatoms and green algae. The species of algae found regularly on the scrubbers when scraping it after either 2 weeks or 4 weeks were *Oscillatoria amphigranulate, O. chorina, O. tennue, Amphora* sp. and *Navicula* sp.1.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยมีผู้ให้คำแนะนำและให้การช่วยเหลือในหลายๆด้าน ผู้เขียนขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ พิมพรรณ ตันสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.เริงชัย ตันสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ และรองศาสตราจารย์ ดร.พรศิลป์ ผลพันธิน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และตรวจแก้ อาจารย์ ศักดิ์อนันต์ ปลาทอง ที่เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์กุ้งกุลาดำจึงขอขอบคุณ คุณพิษณุ นาอนันต์ นักวิชาการ ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย ขอบคุณ คุณชีร ศรีสวัสดิ์ คุณสุปียนิตย์ ไม้แพ นักศึกษาปริญญาเอก ที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างและการนำเสนอข้อมูล รวมถึงน้องๆ นักศึกษาปริญญาตรี เพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองแก่ผู้วิจัยในทุกๆเรื่อง

ขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย สุดท้ายผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อที่ให้กำลังใจและอุปการะคุณให้ผู้เขียนได้มีโอกาสได้ศึกษาเล่าเรียนมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สมรักษ์ รอดเจริญ

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการรูป	(9)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(11)
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	18
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	19
วัสดุ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	20
3. ผลการทดลอง	29
4. วิจารณ์	62
5. สรุป	81
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	92
ประวัติผู้เขียน	112

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

1. แสดงปริมาณการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำทะเล..... 6
2. ชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
   โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ
   ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 30
3. ปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
   โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ
   ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 33
4. ชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
   โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ
   ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 44
5. ปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเปรียบเทียบ
   ความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ
   ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 47
6. การเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงในระบบที่มีการกำจัดของเสีย
   ทางชีวภาพ โดยขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง..... 49
7. การเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงในระบบที่มีการกำจัดของเสีย
   ทางชีวภาพ โดยขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง..... 50
8. ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรง
   (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร) โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการ
   กำจัดของเสียทางชีวภาพ..... 51
9. ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของแอมโมเนีย โดยเปรียบเทียบ
   ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ
   ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 72
10. ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนไตรท์ โดยเปรียบเทียบ
    ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ
    ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 72

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

11. ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนเตรท โดยเปรียบเทียบ
ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ
ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 73

12. ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของแอมโมเนีย โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูด
สาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 78

13. ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนไตรท์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูด
สาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 79

14. ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนเตรท โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูด
สาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 79

รายการรูป

รูปที่ หน้า

1. การเปลี่ยนแปลงและการใช้ประโยชน์สารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล..... 4
2. ระบบการกำจัดของของเสียในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้สาหร่าย..... 21
3. ตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่ไม่มีระบบการกำจัดของเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ..... 23
4. ตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่มีระบบการกำจัดของเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ..... 23
5. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 35
6. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 36
7. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนไตรท์ (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 38
8. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนเตรท (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 39
9. ค่าเฉลี่ย pH ในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย และมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์..... 41
10. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 53
11. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 54

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

12. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนไตรท์ (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 56
13. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนเตรท (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 58
14. ค่าเฉลี่ย pH (Mean±SE) ในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 59
15. การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล..... 69

ตัวย่อและสัญลักษณ์

^{o}C	= องศาเซลเซียส
cell/ml	= เซลล์ต่อมิลลิลิตร
mg/l	= มิลลิกรัมต่อลิตร
µg at – N/ l	= ไมโครกรัมอะตอมไนโตรเจนต่อลิตร
ppt	= ส่วนใน 1,000 ส่วน
SE.	= ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ในประเทศไทยเริ่มมีผู้ให้ความสนใจตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล (Marine aquarium) กันมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การศึกษาสำหรับบุคคลทั่วไป ปัจจุบันประเทศไทยมีตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่สำคัญอยู่ 2 แห่งคือ สถาบันวิจัยชีววิทยาและประมงทะเล จ.ภูเก็ต และสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี และแห่งใหม่ล่าสุดที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง คือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล จ.ตรัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ประโยชน์ในด้านการท่องเที่ยวเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจ และให้การศึกษาสำหรับประชาชน ซึ่งจัดจำลองลักษณะระบบนิเวศทางทะเลมาไว้ในตู้จัดแสดง โดยจะพยายามเลียนแบบลักษณะทางชีวภาพและนิเวศวิทยาทางทะเล

ปัญหาของตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลทั่วไปได้แก่ การนำน้ำทะเลมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ซึ่งจัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด น้ำที่เหมาะสม คือ น้ำทะเลจากธรรมชาติ โดยนำมาผ่านกรรมวิธีการกรองฆ่าเชื้อ และพักน้ำทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 3 - 7 วันก่อนนำไปใช้ เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำผ่านไปคุณภาพน้ำที่ควรตรวจสอบเป็นประจำได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ซึ่งเป็นองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน อันมีสาเหตุเกิดจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำ และเศษอาหารที่ตั้งค้างอยู่ในตู้เกิดการหมักหมม ตามธรรมชาติแอมโมเนียที่เกิดจากของเสียที่สัตว์น้ำถ่ายออกมาและเศษอาหารที่สัตว์น้ำกินเหลือจะเปลี่ยนรูปมาเป็นไนไตรท์ แล้วถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทโดยแบคทีเรียที่อยู่ตามชั้นกรวดบนพื้นตู้ ปริมาณแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณของเสีย ซึ่งแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรทในที่สุด ซึ่งไนเตรทจะถูกพืชน้ำและสาหร่ายที่อยู่ในตู้นำไปใช้ต่อไป

น้ำที่มีปริมาณแอมโมเนียที่สูงเกินไปจะเกิดปัญหา คือ มีตะไคร่หรือสาหร่ายเกาะบริเวณกระจก และปะการังในตู้เลี้ยง ทำให้ตู้เลี้ยงสกปรกไม่สวยงาม จำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำและทำความสะอาดตู้ปลาอยู่เป็นประจำ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ปัจจุบันได้มีการนำระบบกรองน้ำเข้ามาแก้ปัญหาดังกล่าว เพื่อลดความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบกรองน้ำภายในตู้ (Internal filters) เป็นระบบที่ใช้การกรองน้ำใต้ทราย (Subsand fillters) โดยสิ่งสกปรก

ต่างๆที่ปนอยู่ในน้ำ จะถูกสะสมอยู่ในชั้นทราย ซึ่งกลายเป็นอาหารของแบคทีเรียที่อยู่ในชั้นทราย แบคทีเรียเหล่านี้จะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรท อีกระบบคือ ระบบกรองน้ำภายนอกตู้ (External filters) เมื่อปั๊มน้ำผ่านชั้นกรองก็จะกรองสิ่งสกปรกและกลิ่นก่อนจ่ายน้ำเข้าตู้ ซึ่งตัวกรองโดยมากเป็นใยแก้วและถ่านคาร์บอน

ข้อจำกัดการใช้ระบบกรองน้ำ คือ ถ้าของเสียมากจนเกินไป ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในระบบกรองน้ำก็ใช้ไม่ได้ผลและจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย นอกจากนี้สารประกอบไนโตรเจนดังกล่าวจะอยู่ในรูปสารละลายทำให้เครื่องกรองที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกจากระบบเลี้ยงได้ และธาตุอาหารเหล่านี้จะกลายเป็นอาหารสำหรับสาหร่ายซึ่งจะเจริญเติบโตอยู่ภายในตู้เลี้ยงนั่นเอง ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงระบบการบำบัดน้ำโดยจะพยายามศึกษาถึงระบบการหมุนเวียนธาตุอาหารในธรรมชาติแล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงในระบบปิด โดยในระยะหลังได้มีการศึกษาถึงกลไกการควบคุมปริมาณธาตุอาหารในระบบนิเวศปะการัง ซึ่งสามารถรักษาระดับความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนได้ในระดับต่ำ และพบว่าสาหร่ายเป็นตัวการสำคัญในการควบคุมสมดุลย์ธาตุอาหารในระบบนิเวศปะการัง จึงได้มีการนำความรู้ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ใน Great Barrier Reef Aquarium ประเทศออสเตรเลีย (Goertemiller, 1988)

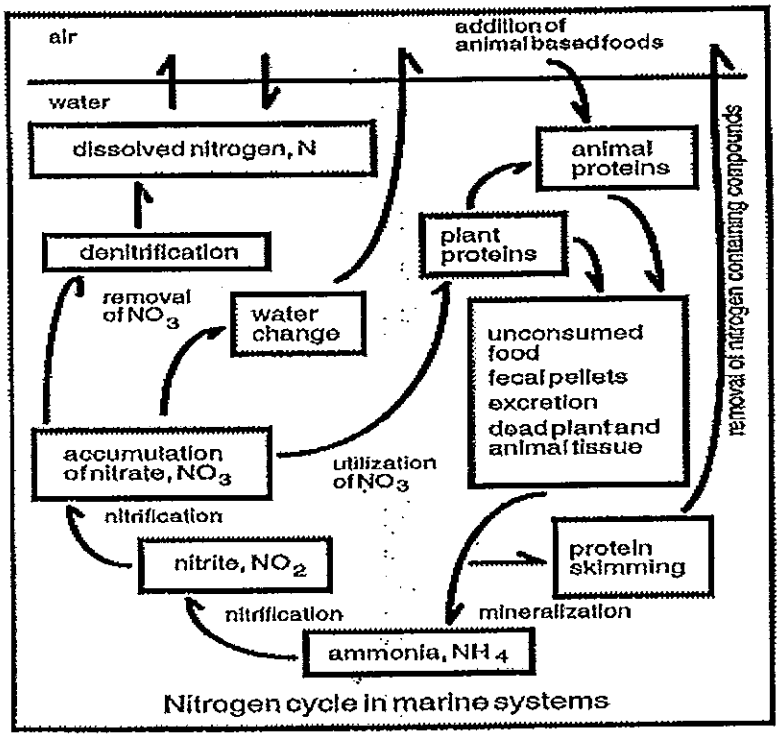
การทำวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยวิธีทางชีวภาพ ด้วยการใช้สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เพื่อกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่มีระบบหมุนเวียนของน้ำแบบปิด ซึ่งจะช่วยลดของเสียและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

การตรวจเอกสาร

การเลี้ยงปลาตู้ (Aquarium fish) ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน โดยเลี้ยงเป็นงานอดิเรก ให้ความเพลิดเพลิน และความสวยงาม (Tullock, 1994) สัตว์น้ำบางชนิดสามารถเปลี่ยนสีได้ จึงเป็นเหตุให้การเลี้ยงปลาตู้ในปัจจุบันได้แพร่หลายไปทั่วโลก การเลี้ยงปลาตู้จะเลี้ยงไว้ตามบ้านหรือสำนักงาน Andrews (1992) พบว่า ชาวเนเธอร์แลนด์ อังกฤษ อเมริกา เยอรมันตะวันตก เบลเยี่ยม และอิตาลี มีการเลี้ยงปลาตู้ไว้ตามบ้านคิดเป็นร้อยละ 20, 14, 8, 5, 4 และ 4 ตามลำดับ นอกจากนี้การเลี้ยงปลาตู้ยังทำเป็นธุรกิจอีกด้วย โดยการส่งออกปลาสวยงามน้ำจืดและ

ปลาสวยงามทะเลทำรายได้เข้าสู่ประเทศได้มาก Bassleer (1994) รายงานการซื้อขายปลาสวยงามทั่วโลกปี ค.ศ. 1992 โดยการขายส่งคิดเป็นมูลค่า 22,500 ล้านบาท และการขายปลีกมูลค่า 75,000 ล้านบาท สำหรับประเทศไทยจากการรายงานการนำเข้าปลาสวยงามจากประเทศต่างๆของอเมริกา ประชาคมยุโรป และญี่ปุ่นพบว่าประเทศเหล่านี้จะนำเข้าปลาสวยงามจากประเทศไทยเป็นอันดับ 3 รองจากสิงคโปร์ และฮ่องกง ซึ่งมีมูลค่า 452.50 ล้านบาท (Bassleer, 1994)

Laohavisuti (1997) แบ่งประเภทของตู้เลี้ยงสัตว์น้ำออกเป็น 3 ประเภท คือ ตู้เลี้ยงสัตว์น้ำจืด (Freshwater aquarium) ตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล (Marine aquarium) และตู้เลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย (Brackish aquarium) คิดเป็นร้อยละ 90, 10 และ 0.1 ตามลำดับ ในอดีตตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลได้รับความนิยมน้อยมากเนื่องจากมีข้อจำกัดหลายประการ แต่ในปัจจุบันได้รับความนิยมกันมากขึ้นโดยมีการเลี้ยงแบบจริงจังและทำเป็นธุรกิจ เนื่องจากสัตว์ทะเลมีความสวยงาม สีสันสดใสแปลกตาและมีความหลากหลายมาก นอกจากนี้ยังนำมาเลี้ยงเพื่อการศึกษาและวิจัย สิ่งมีชีวิตที่นิยมนำมาเลี้ยงในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ได้แก่ พวกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง พวกสัตว์มีกระดูกสันหลัง ปะการัง สาหร่าย เป็นต้น (Emmens, 1988; Escobal, 1996) การเลี้ยงมีหลายแบบ เช่น เลี้ยงเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันเป็นระบบนิเวศ แต่ข้อจำกัดของตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลมีมากกว่าตู้เลี้ยงสัตว์น้ำจืด คือ ระบบการเลี้ยงต้องสมบูรณ์และเลียนแบบให้เหมือนกับธรรมชาติมากที่สุด ปัจจัยที่ต้องควบคุมในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล คือ ความเค็ม อุณหภูมิ แสง สารอาหารพวกอนินทรีย์ และอินทรีย์ pH O_2 และ CO_2 (Moe, 1992; Escobal, 1996) หากปัจจัยดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดจากอาหารเหลือหรืออาหารที่ไม่ถูกย่อย การขับถ่ายของเสียจากปลาหรือของเสียจากพวกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และการสลายของพืช โดยจะอยู่ในรูปแอมโมเนียจากกระบวนการ Mineralization และจะเปลี่ยนรูปไนไตรท์และไนเตรทโดยแบคทีเรียในกระบวนการ Nitrification ซึ่งพืชจะนำไนเตรทไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต และในบางส่วนก็จะเปลี่ยนสารละลายไนโตรเจนในกระบวนการ Denitrification (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงและการใช้ประโยชน์สารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

ที่มา : Escobal (1996)

ปัจจัยที่ต้องควบคุมในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

การเลี้ยงสัตว์ในตู้ทะเล ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญจำเป็นต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพของน้ำทะเล ซึ่งจะแปรผันตามสภาพแวดล้อมนั้นๆ ปัจจัยทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ จะมีผลโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการรอด การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ (Laohavisuti, 1997) การจัดการคุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลจึงมีความสำคัญมาก หากมีการเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลต่อสัตว์ทะเลในตู้ อาจจะมีผลโดยตรงหรือทางอ้อม เช่น เมื่อคุณภาพน้ำเปลี่ยนจากจุดเหมาะสมก็จะทำให้สัตว์น้ำเครียดและอ่อนแอส่งผลให้สัตว์น้ำเกิดโรค (พรเลิศ จันทร์รัชชกูล และคณะ, 2537) ปัจจัยที่ต้องคำนึงเพื่อผลสำเร็จในการเลี้ยงสัตว์ทะเล

1. ปัจจัยทางเคมี (Chemical factors)

1.1 น้ำทะเล (Sea water)

น้ำทะเลจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ค่อนข้างคงที่ ซึ่งจะประกอบด้วยธาตุหลัก คือ Na^+ และ Cl^- และไอออน 4 ชนิด คือ SO_4^{2-}, Mg^{2+}, Ca^{2+} และ K^+ (Adey and Loveland, 1991) โดยทั่วไปความเค็มของน้ำทะเลอยู่ในช่วง 34 – 37 ppt น้ำทะเลที่ใช้ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลสามารถใช้น้ำทะเลจากธรรมชาติ หรือน้ำทะเลสังเคราะห์ (Synthetic sea water) ซึ่งน้ำทะเลจากธรรมชาติมีองค์ประกอบของธาตุอาหารครบ (Emmens, 1988) แต่ปัญหาของน้ำทะเลจากธรรมชาติบริเวณชายฝั่งหรือเอสทูรี่ (Estuary) จะมีน้ำจืดจากชายฝั่งไหลมาผสมทำให้ความเค็มต่ำและอาจจะขาดธาตุบางตัวได้ ดังนั้นควรนำน้ำทะเลที่ห่างจากฝั่งประมาณ 400 ฟุตจากระดับน้ำทะเลต่ำสุด (Low tide) และลึกจากระดับผิวน้ำประมาณ 10 – 15 ฟุต มาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงพวกโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (Valenti, 1968) นอกจากนี้น้ำทะเลจากธรรมชาติจะมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กปะปนเข้ามาด้วย (Little, Brown and Company, 1994) ควรกรองน้ำและเก็บไว้ที่มืดประมาณ 1 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้ หากไม่มีน้ำทะเลที่ปลอดภัยก็สามารถใช้น้ำทะเลสังเคราะห์ ซึ่งข้อดีของน้ำทะเลสังเคราะห์คือปราศจากสารพิษและสิ่งมีชีวิต (Valenti, 1968)

1.2 ความเค็ม (Salinity)

ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลค่าความเค็มที่เหมาะสมเท่ากับ 34 ppt การเปลี่ยนแปลงความเค็มไม่ควรต่ำกว่า 28 ppt และไม่ควรสูงกว่า 38 ppt (Valenti, 1968) ปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้าง แต่ในการเลี้ยงสัตว์ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลควรมีความเค็มต่างจากแหล่งเดิมไม่เกิน 3 ppt (Moe, 1992)

1.3 pH

ค่า pH เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงอิออนของ H^+ กับ OH^- ในน้ำ ผลจากการหายใจของสัตว์น้ำจะปล่อย CO_2 ออกมา เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิค (Carbonic acid) ทำให้ค่า pH ต่ำลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลทำให้สิ่งมีชีวิตตอบสนองกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ค่า pH ลดต่ำถึงจุดที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ควรใส่สารบัฟเฟอร์ (Buffering agent) เพื่อรักษา pH ให้คงที่ (Moe, 1992) หากน้ำทะเลมี pH ต่ำ ($pH<7.8$) ให้เติม

โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) แต่ถ้า pH สูง (pH>8.6) ให้เติมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (KH_2PO_4) (Little, Brown and Company, 1994)

ในธรรมชาติค่า pH ของน้ำทะเลอยู่ในช่วง 7.9 – 8.5 (Little, Brown and Company, 1994) ซึ่งในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลมีการเปลี่ยนแปลงตลอด 24 ชั่วโมง แต่ค่า pH ไม่ควรต่ำกว่า 7.8 (Moe, 1992) ปลาทะเลสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับ pH อยู่ในช่วง 7.5 – 8.3 (Little, Brown and Company, 1994) และอยู่ในช่วง 8.1 –8.3 ในบริเวณแนวปะการัง (Tullock, 1994)

1.4 แก๊สออกซิเจน (O_2)

ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสัตว์น้ำในแหล่งน้ำโดยทั่วไป ซึ่งจะอยู่ในรูปของแก๊สออกซิเจน (O_2) โดยทั่วไปในอากาศจะมีแก๊สออกซิเจนอยู่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการละลายของแก๊สออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำทะเลจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเค็ม และความกดดันของอากาศ โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทะเลมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเลต่ำลง (Moe, 1992) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำทะเล

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของออกซิเจน (mg/l)				
	0 ppt	20 ppt	25 ppt	30 ppt	35 ppt
10	11.3	9.9	9.6	9.3	9.0
15	10.1	8.9	8.6	8.4	8.1
20	9.1	8.1	7.8	7.6	7.3
25	8.2	7.4	7.2	6.9	6.7
30	7.5	6.5	6.6	6.4	6.2

ที่มา : Moe (1992)

นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำทะเลยังขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่างๆดังต่อไปนี้

1. การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เช่น หญ้าทะเล สาหร่าย ในเวลากลางวันช่วงรับแสงจะเป็นการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ โดยปัจจัยที่ควบคุมอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ อุณหภูมิแสง ความเข้มข้นของสารอาหาร ชนิดของพืช ปริมาณของพืช และความขุ่นของน้ำ (Boyd, 1990)

2. การหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (ทั้งกลางวันและกลางคืน) จะเป็นการลดปริมาณออกซิเจน และเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (มั่นสิน ตัณฑุลเวสม์ และประไพพรรณ พรประภา, 2539)

3. กระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์สารต่างๆ โดยแบคทีเรีย (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528)

น้ำทะเลในเขตร้อน ที่ระดับความเค็มสูงจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 4 – 6 mg/l หากระดับออกซิเจนต่ำกว่า 3.5 mg/l จะส่งผลต่อปลาและพวกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และถ้าอยู่ในระดับ 2 mg/l ทำให้สัตว์น้ำตาย (Moe, 1992)

1.4 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สที่เกิดจากการหายใจของพืชและสัตว์ และเกิดจากกระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (Lind, 1974 อ้างโดย สิริ ทุกข์วินาศ, 2528) ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำช่วงแรกจะอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิค หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปคาร์บอเนต (Carbonate) และไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์และกรดคาร์บอนิคจะทำให้ pH ของน้ำทะเลลดลง แต่ในรูปคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์ (Moe, 1992)

ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่มีระบบการกรองของเสียทางชีวภาพสามารถกำจัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้เลี้ยงได้ โดยสาหร่ายจะนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและจะปล่อยออกซิเจนออกมา แต่ถ้าปริมาณสาหร่ายมีอยู่น้อยก็ไม่สามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้เพราะในตอนกลางคืนสาหร่ายจะหายใจและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

2 ปัจจัยทางกายภาพ (Physical factors)

2.1 แสง (Light)

แสงมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่ายในตู้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อปริมาณ O_2 และ CO_2 (Moe, 1992) แหล่งที่มาของแสงในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลจะมาจากแสงจากดวงอาทิตย์หรือจากหลอดไฟฟ้า เช่น หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ (Emmens, 1995) ปริมาณความเข้มแสงในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และชนิดของสิ่งมีชีวิตในตู้ ซึ่งปริมาณความเข้มแสงที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ในตู้ ถ้าให้แสงมากเกินไปจะส่งผลให้สาหร่ายเจริญตามขอบตู้ (Little, Brown and Company, 1994)

ในธรรมชาติปริมาณความเข้มแสงจะแปรผันตามฤดูกาล และความลึกของน้ำทะเล ซึ่งในเขตร้อนปริมาณแสงผิวน้ำอาจสูงถึง 130,000 ลักซ์ แต่เมื่อลึกลงไปปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงไปก็จะน้อยลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความเข้มแสง 5,000 ลักซ์ต่อชั่วโมง (Moe, 1992)

2.2 ช่วงรับแสง (Photoperiod)

ช่วงเวลาได้รับแสงของน้ำทะเลในธรรมชาติจะแปรผันตามช่วงเวลากลางวันกลางคืน และฤดูกาล ซึ่งในตู้เลี้ยงสัตว์ช่วงเวลาให้แสงสว่างและมืดควรให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติด้วย อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์และชนิดของสิ่งมีชีวิตในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ซึ่งสัตว์แต่ละชนิดจะชอบสภาพช่วงให้แสงสว่างกับมืดแตกต่างกัน ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยทั่วไปในเขตอบอุ่นและเขตร้อน ระยะเวลารับแสงอยู่ในช่วง 8 – 10 และ 12 – 14 ชั่วโมงต่อวัน ตามลำดับ (Moe, 1992) ซึ่งสาหร่ายสามารถเจริญได้ดีในช่วงรับแสง 16 ชั่วโมงและมืด 8 ชั่วโมงต่อวัน (Adey and Loveland, 1991)

2.3 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ความ

เข้มของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมโดยทั่วๆไปของแหล่งน้ำ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำตามธรรมชาติจะค่อยเป็นไปอย่างช้าๆ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยสัตว์น้ำจะไม่สามารถรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ได้ อุณหภูมิของร่างกายสัตว์น้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของน้ำและสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ แต่ก็จะต้องอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม สัตว์น้ำสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในช่วงจำกัด เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นกิจกรรมต่างๆในการดำรงชีวิตก็จะสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงกิจกรรมเหล่านั้นก็จะลดลงไปด้วย Levinton (1982) กล่าวว่า อัตราเมแทบอลิซึม (Metabolic rate) ของสิ่งมีชีวิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 ถึง 3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำอย่างรวดเร็ว (Temperature shock) สามารถทำให้เกิดอันตรายโดยตรงต่อสัตว์น้ำได้ เช่น ทำให้ระบบควบคุมการขับน้ำและแร่ธาตุภายในร่างกาย (Osmoregulatory system) ผิดปกติไป

3. ปัจจัยทางชีวภาพ (Biological factor)

3.1 แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียมีความสำคัญในระบบนิเวศซึ่งจะทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลาย (Decomposer) นอกจากนี้แบคทีเรียยังเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของธาตุในระบบนิเวศ โดยจะพบแบคทีเรียได้หลายสภาวะ เช่น สภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน สภาวะที่มีหรือไม่มีแสง ซึ่งกิจกรรมของแบคทีเรียจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม คือ ตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) ย่อยสลาย และเป็นตัวกรองสารอาหารทางชีวภาพในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยวัฏจักรของสารอาหารในระบบนิเวศทางทะเลจะขึ้นอยู่กับแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียยังเป็นตัวสำคัญในห่วงโซ่อาหาร

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล มีอยู่ด้วยกัน 4 กลุ่ม คือ

. Decay bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายอาหาร ของเสีย และเซลล์ที่ตายแล้วซึ่งจะอยู่ในรูปแอมโมเนียและสารประกอบอินทรีย์ โดยเรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า Heterotrophic bacteria

. Nitrifying bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้จะออกซิไดซ์ แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรท ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในระบบการกรองทางชีวภาพ

. Denitrifying bacteria เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า Chemoautotrophic bacteria ซึ่งสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไนเตรทจะจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นแก๊สไนโตรเจน

. Nitrogen – fixing bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้มีจำนวนน้อยในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยจะตรึงไนโตรเจนในรูปแก๊สไนโตรเจน (N_2) จากอากาศลงสู่น้ำ แต่กระบวนการนี้เกิดขึ้นน้อยในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล (Moe, 1992)

3.2 พืช (Plant)

พืชมีความสำคัญในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยพืชจะนำแอมโมเนียและไนเตรทไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งจะช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจน นอกจากนี้ยังเพิ่มแก๊สออกซิเจน และพืชยังเป็นอาหาร ร่มเงา ที่หลบภัย หรือแหล่งวางไข่ของสัตว์ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล พืชที่นิยมปลูกในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลจะขึ้นอยู่วัตถุประสงค์ ได้แก่ หญ้าทะเล สาหร่ายทะเล (Hargreaves, 1981) การเลือกชนิดของพืชต้องสัมพันธ์กับปริมาณแสงในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ซึ่งพืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความเข้มแสงแตกต่างกัน

3.3 สัตว์ (Animals)

การเลี้ยงสัตว์ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากสัตว์ทะเลจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ฉะนั้นต้องศึกษาสภาพแวดล้อมที่สัตว์ชนิดนั้นอาศัยอยู่เดิมเพื่อที่จะสร้างระบบตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลให้เหมือนกับธรรมชาติมากที่สุด เพื่อให้สัตว์คุ้นเคยเหมือนกับสภาพเดิม โดยชนิดและปริมาณสัตว์ที่เลี้ยงต้องพิจารณาตามหลักโครงสร้างของห่วงโซ่อาหาร (Food web) ด้วย ซึ่งจะต้องมีผู้ผลิต (Primary producer) ผู้บริโภค ได้แก่ กลุ่มกินพืช (Herbivorous; Primary consumer) กลุ่มกินสัตว์ (Carnivorous; Secondary and Tertiary consumer) ซึ่งจะต้องมีความสมดุลย์กันตามระบบนิเวศ (Moe, 1992)

รูปแบบของสารประกอบไนโตรเจน ที่พบในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ได้แก่

1. แอมโมเนีย

แอมโมเนียในแหล่งน้ำมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนียในรูปที่แตกตัว (Ionized ammonia, NH_4^+) และ แอมโมเนียในรูปไม่แตกตัว (Un-ionized ammonia, NH_3) (ศิริวรรณ คิด

ประเสริฐ, 2538; Boyd, 1982) ทั้งสองรูปแบบจะสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาตามค่า pH ของน้ำ (ชาญยุทธ ดงกิรมย์ชื่น, 2533) ดังสมการ

ค่า pH ต่ำ

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

ค่า pH สูง

นอกจากนี้แอมโมเนียจะอยู่ในรูปใด ปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณแอมโมเนียในน้ำทั้งหมด (Total Ammonia Nitrogen, TAN) และมีปัจจัยอื่นที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ และ pH โดยรูปแบบที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว (Boyd, 1982) ซึ่งแอมโมเนียในรูปไม่แตกตัวมีพิษมากกว่าแอมโมเนียในรูปที่แตกตัวถึง 50 เท่า (Downing and Merkens, 1955 อ้างโดย ทิพวรรณ แผ้วสกุล, 2530) อย่างไรก็ตามในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่ควรเกิน 0.1 ppm (พรเลิศ จันทร์รัชชกูล และคณะ, 2537)

จากกระบวนการ Ammonification สารประกอบโปรตีนจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย ซึ่งกระบวนการนี้สามารถเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียพวก Autotrophic nitrifying bacteria ในกระบวนการ Nitrification ได้ไนไตรท์และไนเตรท (Spott, 1979 อ้างโดย Laohavisuti, 1997) ดังสมการ

Nitrosomonas sp.

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

Nitrobacter sp.

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

Hovance and Delong (1996) กล่าวว่า *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. จะพบมากในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล แต่จะพบน้อยมากในตู้สัตว์น้ำจืด นอกจากนั้นแล้วในสภาวะที่ขาดออกซิเจนแบคทีเรียจะใช้ไนเตรทและไนไตรท์แทนแก๊สออกซิเจน โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า Denitrification (Boyd, 1990)

Wasielesky *et al.*,(1994) พบว่า ที่ความเค็ม 30 ppt และระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1 – 4 mg/l TAN จะลดอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง *Penaeus paulensis* ระยะ

postlarvae อายุ 10 วัน นอกจากนี้ความเป็นพิษของแอมโมเนียมีทั้งพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) และพิษเรื้อรัง (Chronic toxicity) สำหรับกลไกการเกิดพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำพบว่าแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำจะขัดขวางการกำจัดแอมโมเนียออกจากร่างกาย และแอมโมเนียเหล่านี้ยังเข้าสู่ร่างกายทางเหงือกด้วย เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของแอมโนเนียในเลือดสูงกว่าปกติส่งผลให้ออกซิเจนในเลือดลดลงอย่างรวดเร็ว (ช่วยชูศรี ศรีมั่น, 2524 อ้างโดย สุริยะ จันทร์แก้ว, 2540) โดยพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียในรูปไม่แตกตัว (LC_{50}) ที่ 96 ชั่วโมง ในกุ้งกุลาดำและกุ้งตะกาดมีค่าเท่ากับ 1.39 และ 1.69 mg/l NH_3-N ตามลำดับ (Allan *et al.*, 1990) นอกจากนี้ค่า MLC (Medain Lethal Concentration) ในกุ้ง *P. paulensis* ที่ 96 ชั่วโมงของแอมโมเนียทั้งหมด (NH_4^+ กับ NH_3) และแอมโมเนียในรูปไม่แตกตัว เท่ากับ 34.36 และ 0.83 mg/l ตามลำดับ ที่ความเค็ม 32 ppt (Cavalli *et al.*, 1996) โดยเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นกุ้ง *P. penicillatus* สามารถทนต่อความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นด้วย เช่น ในระดับความเค็ม 34 และ 25 ppt ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียเท่ากับ 2.37 และ 1.97 mg/l total ammonia ; 0.09 และ 0.08 mg/l NH_3-N ตามลำดับ จะไม่เป็นพิษต่อกุ้ง *P. penicillatus* (Chen and Lin, 1991)

2.2 ไนไตรท์

ในสภาวะปกติจะมีไนไตรท์ในแหล่งน้ำอยู่ในปริมาณที่น้อย แต่ในบ่อปลาที่ให้อาหารที่มีโปรตีนสูง ทำให้ปริมาณไนไตรท์สูงตามด้วย ซึ่งแอมโมเนียถูกแบคทีเรียออกซิไดซ์ในกระบวนการ Nitrification ในสภาพที่มีอากาศกลายเป็นไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528 ; Boyd, 1990) โดยปกติแหล่งน้ำชายฝั่งจะมีไนไตรท์ประมาณ 0.0001 mgNO_2-N/l และถ้าปริมาณไนไตรท์สูงในปริมาณ 0.1 mgNO_2-N/l จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (สิริ ทุกข์วินาศ, 2528) โดยค่าไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณชายฝั่งตะวันออกของไทยสูงสุดเท่ากับ 0.4094 mg/l NO_2-N (Musig *et al.*, 1995)

พิษเฉียบพลัน ของไนไตรท์ต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน (LC_{50}) ที่ 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง เท่ากับ 215.85, 185.33, 88.54, 54.76 และ 37.97 mg/l NO_2-N ตามลำดับ (Chen and Lei, 1990) ส่วนในกุ้งกุลาดำวัยรุ่น พบว่า พิษเฉียบพลัน ที่ 24, 48, 96, 144, 192 และ 240 ชั่วโมง เท่ากับ 218, 193, 171, 140, 128 และ 106 mg/l NO_2-N ตามลำดับ (Chen *et al.*, 1990a) และในกุ้ง *P. chinensis* พิษเฉียบพลัน ที่ 24, 96, 120, 144 และ 192 ชั่วโมง เท่ากับ 339,

37.71, 29.18, 29.98 และ 22.95 mg/l NO_2-N ตามลำดับ (Chen *et al.*, 1990b) ส่วนระดับไนไตรท์ที่ปลอดภัยต่อกุ้งกุลาดำเท่ากับ 3.8 mg/l NO_2-N ในกุ้งกุลาดำวัยอ่อน (Chen and Lei, 1990) และ 10.60 mg/l NO_2-N ในกุ้งกุลาดำวัยรุ่น (Chen *et al.*, 1990) และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กุ้ง *P. setiferus* จะทนต่อไนไตรท์ต่ำ (Alcaraz *et al.*,1997)

2.3 ไนเตรท

ไนเตรทในแหล่งน้ำทั่วไป จะเป็นผลผลิตขั้นสุดท้ายของกระบวนการออกซิเดชั่นไนเตรทเป็นธาตุอาหารสำหรับพืชน้ำและสาหร่ายในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและพืชน้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแอมโมเนียและไนไตรท์ ในแหล่งน้ำทั่วไปจะมีไนเตรท 0.01 -0.5 mg N/l อาจมีสูงถึง 10 mg/l (สิริ ทุกข์วินาศ, 2528; Boyd, 1982) ซึ่งค่าไนเตรทในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณชายฝั่งตะวันออกของไทยอยู่ในช่วง 0 – 0.0263 mg/l NO_3 -N (Musig *et al.*, 1995)

พิษเฉียบพลัน ของไนเตรท ต่อกุ้ง *P. paulensis* วัยอ่อน (LC_{50}) ที่ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 2,171.7 mg/l (Cavalli *et al.*, 1996) แต่กุ้งกุลาดำระยะ Postlarva สามารถทนพิษของไนเตรทในช่วง 30 – 50 mg/l (Catedral *et al.*, 1977b)

สาหร่าย

1. ความหมายของสาหร่าย

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ (2527) ได้ให้ความหมายสาหร่ายว่า เป็นพืชชั้นต่ำ ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) แต่ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้นและใบที่แท้จริง มีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กมากประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ไปจนถึงขนาดใหญ่ ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก อาจเป็นเส้นสาย (Filament) หรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง โดยมีส่วนที่คล้ายราก ลำต้นและใบ รวมเรียกว่า ทัลลัส (Thallus)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย

2.1 ปัจจัยทางกายภาพ

2.1.1 แสง (Light)

แสงมีความสำคัญมากสำหรับสาหร่ายเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง สาหร่ายจะใช้อนินทรีย์สาร คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ รงควัตถุ และแสง ในการผลิตอินทรีย์สารโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Boyd, 1990) แสงที่สาหร่ายใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-750 นาโนเมตร (Graham and Wilcox, 2000) ความเข้มแสงที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Oscillatoria laetevirens* เจริญเติบโตได้ดีที่ความเข้มแสง 1,800 ลักซ์ (Mehta and Chauhan, 1988) ส่วนสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ เช่น *Ulva conglobata* เจริญเติบโตได้ดีที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ (Tadamasa and Yoshikazu, 1996)

ระยะเวลาที่สาหร่ายได้รับแสงก็มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน รวมทรัพย์ ชำนาญธนา (2540) ได้ทำการทดลองเลี้ยง *Dunaliella salina* ในช่วงรับแสง : มืด 6 ระยะคือ 3 : 21, 6 : 18, 12 : 12, 16 : 8, 18 : 6 และ 24 : 0 ชั่วโมง พบว่า *D. salina* เจริญเติบโตดีที่ช่วงรับแสง : มืด เท่ากับ 18 : 6 ชั่วโมง

2.1.2 อุณหภูมิน้ำ (Water temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโต การกระจาย และการสืบพันธุ์ของสาหร่าย ซึ่งอุณหภูมิของน้ำมีความสัมพันธ์กับความเข้มแสง ถ้าปริมาณความเข้มของแสงมากก็ทำให้อุณหภูมิที่ผิวน้ำสูงขึ้น สาหร่ายแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สกุล *Synechococcus* sp. เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 13.4 – 16.2 ° C (Ning *et al.*, 2000) ไดอะตอม สกุล *Nannochloropsis* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 19 – 21 ° C และ *Isochrysis* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 24 – 26 ° C (Rezq *et al.*, 1999) สาหร่ายสีเขียว สกุล *Chlorella* sp. เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 15 – 23.5 ° C (Mehta and Chauhan, 1988) ส่วนสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ เช่น *Ulva conglobata* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25 ° C (Tadamasa and Yoshikazu, 1996) ที่อุณหภูมิมากกว่า 26 ° C พวก Picoplankton สามารถเจริญเติบโตได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่เจริญเติบโตได้น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิน้อยกว่า 3 ° C (Nona *et al.*, 2000) นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิดสามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิสูง เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 85.2 °C

(กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527) และบางชนิดสามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ไดโนแฟลกเจลเลทสามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ -6.8 ° C (Stuecker *et al.*, 1997)

2.2 ปัจจัยทางเคมี

2.2.1 ธาตุอาหาร (nutrient)

ธาตุอาหารมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ธาตุอาหารหลัก (Macronutrient) และธาตุอาหารรอง (Micronutrient) ซึ่งธาตุอาหารหลัก คือ ธาตุอาหารที่ประกอบเป็นโครงสร้างของสาหร่ายต้องใช้เป็นปริมาณค่อนข้างมาก เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ และโปแตสเซียม ส่วนธาตุอาหารรอง คือ ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องใช้ปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ เช่น เหล็ก โบรอน แมงกานีส โมลิบดินัม วานาเดียม โคบอลท์ นิคเกิล ซิลิกอน เป็นต้น (พรเทพ วิรัชวงศ์, 2538; Eyster, 1964; Stein, 1975; Kaplan *et al.*, 1986)

ธาตุอาหารที่จะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตที่สำคัญ คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Boyd, 1990) ซึ่งไนโตรเจนในทะเลมีอยู่หลายรูปแบบทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน ยูเรีย กรดยูริก ไนไตรท์ แอมโมเนีย และไนเตรท เป็นต้น โดยสาหร่ายแต่ละชนิดสามารถใช้แหล่งไนโตรเจนได้แตกต่างกัน (Neilson and Larson, 1980 อ้างโดย Kaplan *et al.*, 1986)

2.2.2 pH

สาหร่ายแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีที่ pH แตกต่างกัน เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สกุล *Anabaena* sp. ATCC 33047 และ *Nostoc* sp. เจริญเติบโตดีที่ pH 6.5 – 9.5 และ 6.0 – 9.0 ตามลำดับ (Moreno *et al.*, 1994) *Oscillatoria laetevirens* เจริญเติบโตดีที่ pH 7.5 – 8 (Mehta and Chauhan, 1988) นอกจากนี้ *Spirulina* sp. จะสร้างโปรตีนสูงที่ pH 10.6 (Rubin *et al.*, 2000) สาหร่ายสีเขียว ชนิด *Chlorella vulgaris* เจริญเติบโตดีที่ pH 6.31 – 6.84 (Mayo, 1997) และ *C. saccharophila* เจริญเติบโตดีที่ pH 6.3 (Aliotta and Pollio, 1982) สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง ชนิด *Synura petersenii* เจริญเติบโตดีที่ pH 5.5 – 6.5 แต่หยุดการเจริญเติบโตที่ pH 8.0 – 8.1 (Rouen *et al.*, 1997)

2.2.3 ความเค็ม (Salinity)

ความแตกต่างของระดับความเค็มเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต การแพร่กระจาย และการสืบพันธุ์ของสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในระดับความเค็มของน้ำในช่วงกว้าง เช่น สาหร่ายที่อยู่บริเวณเอสทูรี่ แต่บางชนิดเมื่อความเค็มเปลี่ยนก็ไม่สามารถปรับตัวได้ เช่น ไดโนเฟลกเจลเลตไม่สามารถปรับตัวต่อแรงออสโมติกได้เซลล์จะแตกโค้งงอหรือตาย (ลัดดา, 2531 อ้างโดย พรเทพ วิรัชวงศ์, 2538) สาหร่ายแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความเค็มต่างกัน เช่น *Oscillatoria laetevirens* เจริญเติบโตดีที่ความเค็ม 25 – 30 ppt (Mehta and Chauhan, 1988) สาหร่ายสีเขียว ชนิด *C. minutissima* และ *Chlorella* sp. เจริญเติบโตดีที่ความเค็มต่ำกว่า 20 และ 15 - 20 ตามลำดับ (Sultana and Hossain, 1989; Ojeda *et al.*, 1985) และไดอะตอม *Nannochloropsis* และ *Isochrysis* เจริญเติบโตได้ดีที่ความเค็ม 20 – 40 และ25 – 35 ppt ตามลำดับ (Rezq *et al.*, 1999) *Niztchia frustutum, N. communis, N. palea* และ *Navicula crucialis* สามารถเจริญเติบโตที่ความเค็มสูง 75 – 125 ppt (Herbst and Blinn, 1998) นอกจากนี้สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ เช่น *Sargassum piluliferum* เจริญเติบโตดีที่ความเค็ม 32 - 34 ppt (Ohno, 1979)

การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำทะเล

ระบบการกรองน้ำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลมี 3 ประเภท คือ การกรองโดยวิธีทางชีวภาพ (Biological filter) การกรองโดยวิธีทางเคมี (Chemical filter) และกรองโดยวิธีทางกายภาพ (Mechanical filter) (Moe, 1992) ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพโดยจะนำน้ำจากตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลผ่านไปยังตะแกรงสาหร่ายซึ่งอยู่ในถาด สาหร่ายจะนำสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการ Denitrifying จากแบคทีเรียที่มีอยู่ในตู้มาใช้ประโยชน์ ทำให้ปริมาณไนเตรทในตู้ลดลง (Escobal , 1996)

1. การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำทิ้ง

การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำทิ้งมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย เพราะนอกจากสาหร่ายช่วยกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์แล้ว ยังช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วย (Graham and Wilcox, 2000) แต่เนื่องจากการเลี้ยงสาหร่ายต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโต จึงมีการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ เช่น เมื่อนำน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมี

ความเข้มข้นของ TAN 1 mg/l ปริมาตร 1 ใน 3 ถ่ายมายังถังเลี้ยงสาหร่าย พบว่าความเข้มข้นของ TAN ลดลงเป็น 0 mg/l ภายในเวลา 5 วัน (ทิพวรรณ แผ้วสกุล, 2530) *Chroomonas* sp. สามารถใช้ไนไตรท์ ไนเตรท และแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ทั้งหมดภายใน 1 วัน และสามารถลดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 20.82 - 40.27 ภายใน 4 วัน (สุภาพร แซ่อึ้ง, 2539) ส่วนสาหร่ายกลุ่มไดอะตอม ชนิด *Nannochloropsis oculata, Isochrysis* sp. และ *Chaetoceros gracillis* สามารถลดความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งตะกาด (*Metapenaeus ensis*) (Okauchi *et al.*, 1997)

นอกจากนี้ยังมีการนำสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (Macroalgae) มาบำบัดสารประกอบไนโตรเจน Jinnenez *et al.*, (1996) พบว่า *Ulva rigida* สามารถลดปริมาณ Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) ในน้ำทะเลจากการเลี้ยงปลา *Sparus aurata* โดยอัตราบำบัดสูงสุด 40 gDW/m^2/d ที่ความหนาแน่นของสาหร่าย 2.5 gFW/l และอัตราหมุนเวียน DIN เท่ากับ 1.7 gDIN/m^2/d วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์ (2538) ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* ร่วมกับปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus*) พบว่า สาหร่ายผมนางมีผลต่อการลดลงของปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต นอกจากนี้เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) พบว่าสาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สอดคล้องกับศิริวรรณ ดิดประเสริฐ (2538) พบว่าสาหร่าย *Caulerpa macrophasa, Sargassum polycystum* และ*Gracilaria salicona* สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้เช่นกัน

2. การใช้สาหร่ายกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

ใน Great Barrier Reef Aquarium มีการเลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิด โดยใช้สาหร่ายซึ่งเจริญเติบโตบนตะแกรง ขนาด 80 และ 64 ตารางเมตร เป็นตัวกำจัดสารประกอบไนโตรเจนจากน้ำในตู้เลี้ยงปะการัง (ขนาด 2,850 ลูกบาศก์เมตร) และตู้เลี้ยงปลาฉลาม (ขนาด 750 ลูกบาศก์เมตร) ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 15 เดือน พบว่า สาหร่ายบนตะแกรงสามารถลดความเข้มข้นของไนเตรทจากตู้เลี้ยงปะการังได้ แต่ไม่สามารถลดความเข้มข้นของไนเตรทในตู้เลี้ยงปลาฉลาม นอกจากนี้พบว่าอัตราการดูดซึมไนโตรเจน (Removal of nitrogen) ของสาหร่ายในแต่ละวันในตู้เลี้ยงปะการังและตู้เลี้ยงปลาฉลามเท่ากับ 24 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Morrissey *et. al.*, 1988) ส่วนที่ Omaha Zoo Aquarium ใช้ตะแกรงสาหร่าย (Algae scrubbers) ขนาด 4.5 ตารางเมตร กำจัดสารอาหารจากตู้เลี้ยงปะการังขนาด 30,000 ลิตร ระยะเวลา 4

สัปดาห์ พบว่า สาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงไม่สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ในตู้เลี้ยงปะการังได้ แต่สามารถลดความเข้มข้นของทองแดง (Pryor *et al.*, 1988)

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีบำบัดของเสียในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยนำน้ำจากตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด 60 ลิตรผ่านไปยังตะแกรงสาหร่ายพื้นที่ 0.3 ตารางเมตร เพื่อจะดูความเหมาะสมระหว่างขนาดของตู้กับขนาดของตะแกรงสาหร่ายต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ นอกจากนี้ยังศึกษาความความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงเลี้ยงสาหร่ายต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท เพื่อจะลดค่าแรงและค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดตู้ การเปลี่ยนน้ำ และเพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงเลี้ยงสาหร่ายต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
3. ศึกษาชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงเลี้ยงสาหร่ายในช่วงเวลาต่างๆของการเลี้ยงสัตว์ทะเล

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ และอุปกรณ์

1. วัสดุ

- กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) อายุ 2 เดือน
- อาหารกุ้งกุลาดำ ยี่ห้อสตาร์ฟีด เบอร์ 3 ของบริษัทเจริญโภคภัณฑ์ ประเทศไทยจำกัด
- น้ำทะเลที่ไม่ได้ผ่านการกรองมีความเค็ม 30 ppt
- ปุ๋ยยูเรีย
- สารเคมีใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ภาคผนวก ข)

2. อุปกรณ์

- ตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลขนาด 30 x 60 x 40 เซนติเมตร ใช้กระจกหนา 3 มิลลิเมตร
- ถาดสาหร่ายขนาด 70 x 50 x 10 เซนติเมตร ใช้พลาสติกหนา 3 มิลลิเมตร
- ตะแกรงยึดเกาะของสาหร่าย ขนาด 65 x 45 เซนติเมตร
- หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์
- ปั๊มอากาศ
- ปั๊มน้ำยี่ห้อ Regent รุ่น P9000 ของบริษัท Kian Weng Trading Co. (Malaysia)
- เครื่องวัดความเค็ม ของบริษัท ATAGO (Japan)
- เครื่องวัด pH model SA 520 ของบริษัท Orion Co. (USA.)
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Hand Thermometer)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Model 7800 UV/VIS ของบริษัท JAS.CO

Central Library
Prince of Songkhla Unive

- เครื่องควบคุมเวลา ของบริษัท National
- ชุดกรองน้ำ
- ถุงกรอง ขนาดตา 20μm
- ตู้อบ ยี่ห้อ WTB Binder ของบริษัท Tutingen (Germany)
- กระดาษกรอง GF/C ขนาด 4.7 เซนติเมตร
- เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีการ

1. ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

1.1 การออกแบบการทดลอง

หลักการของการศึกษาก็คือ ต้องการลดความถี่ในการเปลี่ยนน้ำ และของเสียที่สัตว์ทะเลถ่ายออกมาหรือจากอาหารที่เหลือ ซึ่งแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนีย เป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยสาหร่ายจะนำไปใช้ประโยชน์ และจะนำน้ำกลับมาใช้ได้อีก

ออกแบบการทดลองเป็น 3 ชุด แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ

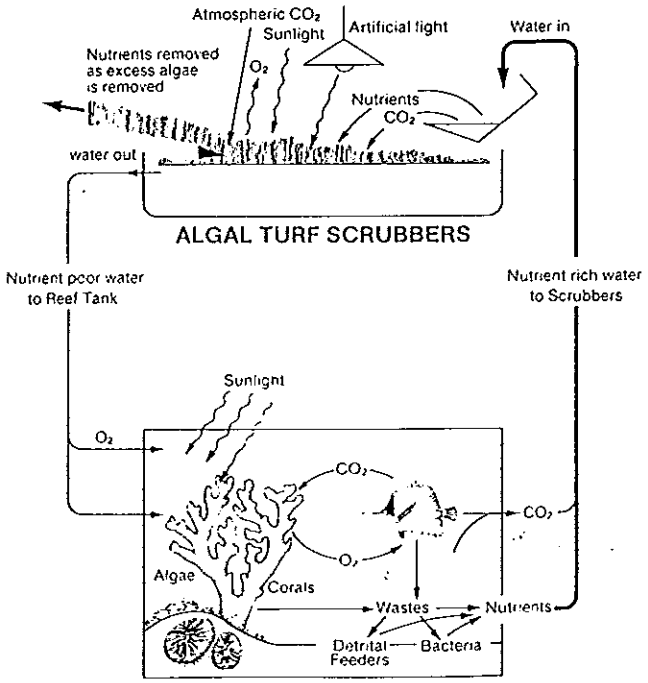
ชุดที่ 1 เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

ชุดที่ 2 เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยมีระบบการกำจัดของเสียโดยวิธีทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

โดยใช้ถาดซึ่งภายในมีตะแกรงสาหร่ายเชื่อมต่อกับตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ ให้น้ำหมุนเวียนตลอดเวลาเป็นการเลี้ยงในระบบปิด ซึ่งดึงน้ำจากตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำผ่านเข้ามาในถาดสาหร่าย การทดลองชุดนี้จะปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโตเอง เมื่อสาหร่ายนำสารประกอบไนโตรเจนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตแล้ว น้ำที่ผ่านถาดสาหร่ายจะถูกดึงกลับมายังตู้เลี้ยงสาหร่ายอีก (รูปที่ 2)

ชุดที่ 3 เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยมีระบบการกำจัดของเสียโดยวิธีทางชีวภาพ แต่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ทำเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 2 แต่มีการปลูกเลี้ยงสาหร่ายให้ขึ้นจนเต็มตะแกรงก่อน



รูปที่ 2 ระบบการกำจัดของเสียในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้สาหร่าย

ที่มา : Goertemiller (1988)

1.2 การเตรียมอุปกรณ์

1.2.1 การเตรียมสัตว์ทดลอง

กุ้งกุลาดำอายุ 2 เดือน จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย จังหวัดสงขลา เลือกกุ้งกุลาดำที่มีความยาวและน้ำหนักใกล้เคียงกัน แยกใส่ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 5 ตันใส่น้ำเค็ม 1 ตัน ซึ่งน้ำมีความเค็ม 30 ppt จำนวน 4 ถัง ปรับสภาพให้กุ้งคุ้นเคยเป็นเวลา 2 สัปดาห์

1.2.2 การเตรียมตู้ทดลอง

ประกอบตู้เลี้ยงสัตว์น้ำขนาด 30 x 60 x 40 เซนติเมตร ใช้กระจกหนา 3 มิลลิเมตร ตู้ที่ใช้จะมีขนาดเท่ากันหมดทั้ง 3 ชุดการทดลอง ใส่น้ำเค็ม 60 ลิตรในแต่ละตู้ ซึ่งมีความเค็ม 30 ppt ระหว่างการทดลองจะควบคุมความเค็มไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากนัก การจัดอุปกรณ์จะแตกต่างกันในแต่ละชุดทดลอง

ชุดที่ 1 ใส่น้ำเค็มและให้อากาศอย่างเดียว เติมอากาศโดยใช้หัวทรายขนาดใหญ่ 2 ลูกต่อตู้ใส่บริเวณด้านข้างของตู้ (รูปที่ 3)

ชุดที่ 2 ใส่น้ำเค็ม ให้อากาศโดยใช้หัวทรายขนาดใหญ่ 2 ลูก ใส่บริเวณด้านข้างของตู้ และจะมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยจะมีถาดสาหร่ายขนาด 70 x 50 x 10 เซนติเมตร วางอยู่เหนือตู้ ซึ่งในถาดสาหร่ายมีตะแกรงไนลอน (สำหรับให้สาหร่ายยึดเกาะ) โดยในชุดการทดลองนี้ไม่มีการปลูกสาหร่ายบนตะแกรงก่อน น้ำจากตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำจะถูกดูดผ่านถาดสาหร่ายเพื่อให้สาหร่ายนำสารประกอบไนโตรเจนไปใช้โดยใช้เครื่องปั๊มน้ำ หลังจากนั้นน้ำจะไหลกลับสู่ตู้อีก ซึ่งน้ำจะหมุนเวียนตลอดเวลา (รูปที่ 4)

ชุดที่ 3 เหมือนกับชุดที่ 2 แต่ในถาดสาหร่ายมีตะแกรงซึ่งปลูกสาหร่ายก่อน

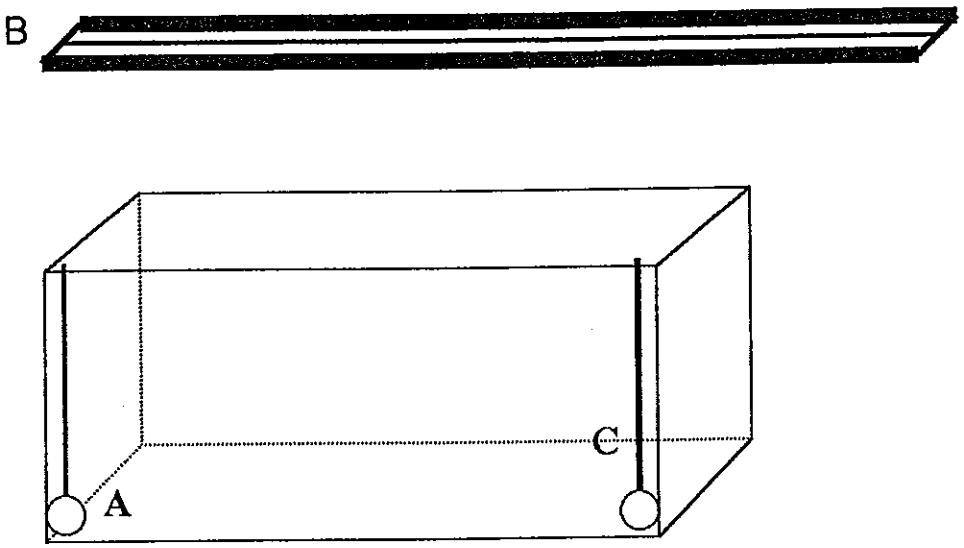
1.2.3 การเตรียมถาดและตะแกรงให้สาหร่ายยึดเกาะ

- ถาดสาหร่าย

ใช้พลาสติกสีดำทึบ หนา 0.3 เซนติเมตร สร้างเป็นถาดรูปสี่เหลี่ยมขนาด 70 x 50 x 10 เซนติเมตร เชื่อมด้วยกาวซิลิโคน เจาะรู 2 รู ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว บริเวณขอบของถาดสาหร่ายเพื่อให้น้ำหมุนเวียนกลับสู่ตู้

- ตะแกรงให้สาหร่ายยึดเกาะ

ใช้ไม้หนา 0.5 นิ้ว สร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 65 x 45 เซนติเมตร บุด้วยตะแกรงไนล่อนขนาดช่องตาห่าง 1 มิลลิเมตร

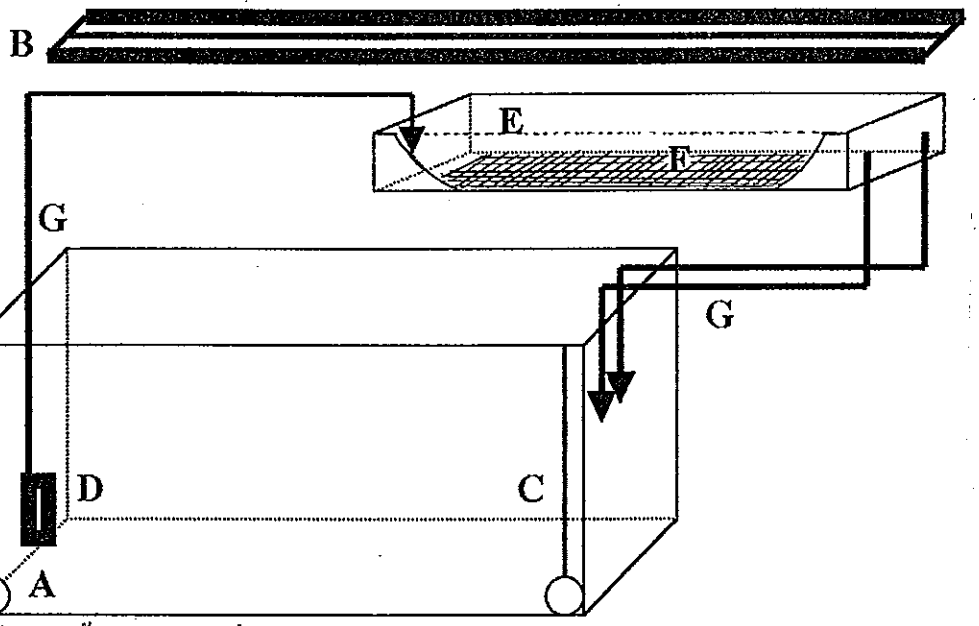


รูปที่ 3 ตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่ไม่มีระบบการกำจัดของเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

A คือ หัวทรายต่อกับปั๊มอากาศ

B คือ หลอดฟลูออร์เรสเซนต์

C คือ ท่ออากาศ



รูปที่ 4 ตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่มีระบบการกำจัดของเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

A คือ หัวทรายต่อกับปั๊มอากาศ

B คือ หลอดฟลูออร์เรสเซนต์

C คือ ท่ออากาศ

D คือ ปั๊มน้ำ

E คือ ถาดสาหร่าย

F คือ ตะแกรงยึดเกาะของสาหร่าย

G คือ ท่อ PVC

1.3 วิธีการทดลอง

1.3.1 การเลี้ยงและการให้อาหารกุ้งกุลาดำในตู้

ปล่อยกุ้งกุลาดำอายุ 2 เดือน จำนวน 5 ตัวต่อตู้ (ดัดแปลงจาก Allan *et al.*, 1990) ให้อาหารวันละ 5 ครั้ง ในเวลา 8.00, 12.00, 16.00, 20.00 และ 24.00 นาฬิกา โดยให้ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกุ้ง (ดัดแปลงจาก ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2535)

1.3.2 การปลูกสาหร่ายบนตะแกรง

การปลูกเลี้ยงสาหร่ายบนตะแกรง โดยนำตะแกรงไนลอน (เตรียมจากข้อ 1.2.3) มาแช่ในถังที่มีน้ำทะเลจากธรรมชาติ (ความเค็ม 30 ppt) ผสมยูเรีย 60 mg/l ให้อากาศโดยใช้หัวทราย และให้รับแสงจากธรรมชาติเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

1.3.3 การเลี้ยงสาหร่าย

ดึงน้ำจากตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ ใส่ในถาดสาหร่ายเพื่อให้สาหร่ายกำจัดและนำน้ำกลับในตู้เลี้ยงกุ้งทะเลอีก เหนือถาดสาหร่ายจะให้แสงโดยใช้หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์จำนวน 2 หลอดความเข้มแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ กำหนดเวลาให้แสงสว่าง 16 ชั่วโมง และมืด 8 ชั่วโมง

1.3.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท สัปดาห์ละครั้ง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972) ส่วน pH อุณหภูมิ และความเค็ม จะตรวจวัดทุกวัน

1.3.5 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสาหร่าย

1.3.5.1 ชนิดและปริมาณสาหร่ายจากการปลูกเลี้ยง ซึ่งใช้ในชุดการทดลองที่ 3 เก็บตัวอย่างสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงจากการปลูกเลี้ยง เพื่อจำแนกชนิดและหาปริมาณ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างสาหร่ายบนตะแกรงพื้นที่ 100 ตารางเซนติเมตร ในแนวเส้นทะแยงมุมจากพื้นที่ของตะแกรงทั้งหมด 0.3 ตารางเมตร จำนวน 3 ซ้ำ นำมาจำแนกชนิดของสาหร่ายตาม Desikachary (1959); Prescott (1962) และ Yamaji (1984) หาปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายเริ่มต้น และหาปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายหลังจากสิ้นสุดการทดลอง โดยใช้แปรงล้างหลอดขูดตัวอย่างสาหร่ายจาก

ตะแกรง จากนั้นนำตัวอย่างสาหร่ายไปกรองด้วยถุงกรองขนาดตา 20 μm และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C (APHA,1985)

1.3.5.2 ชนิดและปริมาณสาหร่ายในตู้และบนตะแกรง หลังจากทดลองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างสาหร่ายจากทั้ง 3 ชุดการทดลอง นำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณตามข้อ 1.3.5.1 ดังนี้

- ชุดที่ 1 ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ จะขูดสาหร่ายทั้งหมดที่เจริญเติบโตในตู้

- ชุดที่ 2 ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย จะขูดสาหร่ายทั้งหมดที่เจริญเติบโตในตู้และบนตะแกรง

- ชุดที่ 3 ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่มีการปลูกสาหร่ายก่อน โดยก่อนการทดลองหาชนิดและปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นก่อนและหลังจากสิ้นสุดการทดลองจะขูดสาหร่ายทั้งหมดที่เจริญเติบโตในตู้และบนตะแกรง

1.3.6 อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความยาว และน้ำหนักของกุ้งกุลาดำ

- อัตราการรอด หลังจากสิ้นสุดการทดลองนับจำนวนกุ้งกุลาดำที่รอดเพื่อไปคำนวนหาเปอร์เซ็นต์การรอดของกุ้งกุลาดำในแต่ละชุดการทดลอง

- อัตราการแลกเนื้อ (Stickney, 1994)

$$\text{อัตราการแลกเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ใช้ทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักกุ้งกุลาดำที่เพิ่มขึ้น}}$$

- ความยาวและน้ำหนักของกุ้งกุลาดำ ทำการตรวจวัดความยาวทั้งหมดวัดจากปลายกรีไปยังปลายหางกุ้ง (Telson) และชั่งน้ำหนักของกุ้งกุลาดำก่อนการทดลองและหลังจากสิ้นสุดการทดลองในแต่ละชุดการทดลอง

1.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ปริมาณของสาหร่าย ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ น้ำหนัก และความยาวของกุ้งกุลาดำที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี One - way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย LSD Test (วิภูษิต มัณฑะจิตร, 2540; Zar, 1996) โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 10.0 ซึ่งมีตัวแปร 3 ตัว คือ ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย และระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญเติโตบนตะแกรงเลี้ยงสาหร่ายต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

2.1 การออกแบบการทดลอง

หลักการต้องการจะศึกษาความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงสาหร่ายในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ เนื่องจากอายุของสาหร่ายแต่ละช่วงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนต่างกัน และเพื่อดูความเหมาะสมในการนำไปใช้

2.2 การเตรียมชุดทดลองและการปลูกสาหร่ายบนตะแกรง

เตรียมการทดลองเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 3 ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน แต่จะกำหนดความถี่ในการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง

2.3 วิธีการทดลอง

ชุดที่ 1 เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ (ชุดควบคุม)

ชุดที่ 2 เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยมีระบบการกำจัดของเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแต่ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดที่ 3 เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยมีระบบการกำจัดของเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแต่ขุดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

โดยแต่ละชุดการทดลองจะมี 3 ซ้ำ

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรท สัปดาห์ละครั้ง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ส่วน pH อุณหภูมิ และความเค็ม จะตรวจวัดทุกวัน

2.5 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาหร่าย

2.5.1 ชนิดและปริมาณของสาหร่ายจากการปลูกเลี้ยง ซึ่งใช้ในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 สุ่มเก็บตัวอย่างสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง เหมือนการทดลองแรก

2.5.2 ชนิดและปริมาณของสาหร่ายในตู้และบนตะแกรง หลังจากทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากทั้ง 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

- ชุดที่ 1 ขูดสาหร่ายที่เจริญในตู้ นำมาจำแนกชนิดสาหร่าย และหาปริมาณสาหร่ายทั้งหมดโดยนำตัวอย่างสาหร่ายไปกรองและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}C$ เพื่อหาน้ำหนักแห้ง (APHA,1985)

- ชุดที่ 2 ขูดสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ หลังจากสิ้นสุดการทดลองจะขูดสาหร่ายที่เจริญในตู้ และสุ่มเก็บตัวอย่างมาจำแนกชนิดสาหร่ายและหาปริมาณของสาหร่ายทั้งหมด โดยแยกระหว่างสาหร่ายที่เจริญในตู้กับบนตะแกรง

- ชุดที่ 3 ขูดสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงที่ 0, 4 และ 8 สัปดาห์ หลังจากสิ้นสุดการทดลองจะขูดสาหร่ายที่เจริญในตู้ และสุ่มเก็บตัวอย่างมาจำแนกชนิดสาหร่ายและหาปริมาณของสาหร่ายทั้งหมด โดยแยกระหว่างสาหร่ายที่เจริญในตู้กับบนตะแกรง

2.6 อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความยาว และน้ำหนักของกุ้งกุลาดำ

หาอัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความยาว และน้ำหนักของกุ้งกุลาดำเช่นเดียวกันกับข้อ 1.3.6

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ปริมาณของสาหร่าย ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ น้ำหนัก และความยาวของกุ้งกุลาดำที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี One - way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย LSD Test (วิภูษิต มัณฑะจิตร, 2540; Zar, 1996) โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 10.0 ซึ่งมีตัวแปร 3 ตัว คือ ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

บทที่ 3

ผลการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล และการทดลองที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

1. ประสิทธิภาพของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

ศึกษาระบบการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยวิธีทางชีวภาพ เปรียบเทียบการเลี้ยงสัตว์ทะเล 3 ระบบ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองดังนี้

1.1 ชนิดและปริมาณของสาหร่าย

1.1.1 ชนิดของสาหร่าย

สาหร่ายที่ปลูกเลี้ยงบนตะแกรงตอนเริ่มต้น ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายในดิวิชั่น Cyanophyta ซึ่งเป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) รองลงมาเป็นพวก Bacillariophyta ซึ่งเป็นพวกไดอะตอม (Diatom) ส่วนสาหร่ายสีเขียว (Green algae) ซึ่งจัดอยู่ในดิวิชั่น Chlorophyta พบเพียงชนิดเดียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพบ 5 สกุล (Genus) 10 ชนิด (Speceis) ซึ่งสกุล *Phormidium* พบหลากหลายชนิดมากที่สุด (ตารางที่ 2)

สาหร่ายที่พบในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลและบนตะแกรงหลังจากทดลอง 6 สัปดาห์ ในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 พบสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง 17 และ 14 ชนิด ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายที่พบในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 9, 13 และ 17 ชนิด

ตารางที่ 2 ชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย และมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ดิวิชั่น	สกุล	ชนิด	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2		ชุดการทดลองที่ 3		
			6 สัปดาห์	6 สัปดาห์		เริ่มต้น	6 สัปดาห์	
			ตู้	ตู้	ตะแกรง	ตะแกรง	ตู้	ตะแกรง
Cyanophyta	*Oscillatoria*	*O. amphigranulata*			/	/	/	
		O. chorina			/		/	/
		O. nagraviridis	/	/	/			/
		O. subbrevis	/	/	/		/	
		Oscillatoria sp.1				/		
	Phormidium	*P. tennue*	/		/	/		/
		Phormidium sp.1	/		/	/	/	/
		Phormidium sp.2	/	/		/		/
		Phormidium sp.3		/	/	/	/	/
	Lyngbya	*L. cinerescens*			/		/	/
		L. lagerheimii	/	/	/	/	/	/
		L. semiphena			/	/	/	/
	Chlorogloea	*C. fritschii*		/	/		/	/

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ดิวิชั่น	สกุล	ชนิด	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2		ชุดการทดลองที่ 3		
			6 สัปดาห์	6 สัปดาห์		เริ่มต้น	6 สัปดาห์	
			ตู้	ตู้	ตะแกรง	ตะแกรง	ตู้	ตะแกรง
Cyanophyta	*Synechococcus*	*S. elongatus*	/	/	/	/	/	/
	Dermocapa	*Dermocapa* sp.1		/			/	/
	Xenococcus	*X. kerneri*		/	/		/	/
	Myxosarcina	*M. spectobilis*	/	/		/	/	
Chlorophyta	Unknown	Unknown	/	/	/	/	/	/
Bacillariophyta	*Navicula*	*Navicula* sp.1		/	/	/	/	
		Navicula sp.2				/		
	Amphora	*Amphora* sp.		/	/		/	
	Cymbella	*Cymbella* sp.1			/	/	/	
รวม (ชนิด)			9	13	17	14	17	14

หมายเหตุ

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตามลำดับ สาหร่ายที่พบส่วนใหญ่เป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน รองลงมาเป็นพวกไดอะตอม ส่วนสาหร่ายสีเขียวพบเพียงชนิดเดียว (ตารางที่ 2)

ชุดการทดลองที่ 3 หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า มีสาหร่ายพบบนตะแกรงเพิ่มขึ้น 6 ชนิด ซึ่งเป็นกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งหมด ได้แก่ *Oscillatoria chorina, O. nagraviridis, Lyngbya cinerescens, Xenococcus kerneri, Dermocapa* sp.1, และ *Chloroglea fritschii* ส่วนสาหร่ายบนตะแกรงที่หายไปมี 6 ชนิด ซึ่งเป็นกลุ่มไดอะตอมคือ *Navicula* sp.1, *Navicula* sp.2 และ *Cymbella* sp.1 และกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน คือ *Oscillatoria amphigranulata, Oscillatoria* sp.1 และ *Myxosarcina spectobilis* (ตาราง ที่ 2)

1.1.2 ปริมาณของสาหร่าย

ในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน พบว่า มีปริมาณจากการปลูกเลี้ยงสาหร่ายบนตะแกรง (Mean±SE) เท่ากับ 0.068 ± 0.017 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร

หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณสาหร่ายที่เจริญในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล (Mean±SE) มากที่สุดในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.054 ± 0.001, 0.007 ± 0.001 และ 0.007 ± 0.002 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 (ตารางที่ 3) ส่วนปริมาณสาหร่ายทั้งหมด (สาหร่ายในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลกับสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงสาหร่าย ;Mean±SE) พบว่า มีค่ามากที่สุดในชุดการทดลองที่ 3 รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.992 ± 0.214, 0.311 ± 0.080 และ 0.054 ± 0.001 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 (ตารางที่ 3)

1.2 สารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen Compound)

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำทะเลทั้ง 3 ระบบ ทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3 ปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย และมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

	ชุดการทดลอง		
	1*	2*	3*
ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่เจริญบนตะแกรง (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)		0	0.068±0.017
ปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นที่เจริญบนตะแกรง (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)		0.304±0.082[a]	0.985±0.214[b]
ปริมาณสาหร่ายในตู้ (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)	0.054±0.001[a]	0.007±0.001[b]	0.007±0.002[b]
ปริมาณสาหร่ายทั้งหมด (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)	0.054±0.001[a]	0.311±0.080[a]	0.992±0.214[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่มีการปลูกสาหร่าย

* Mean±SE

1.2.1 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

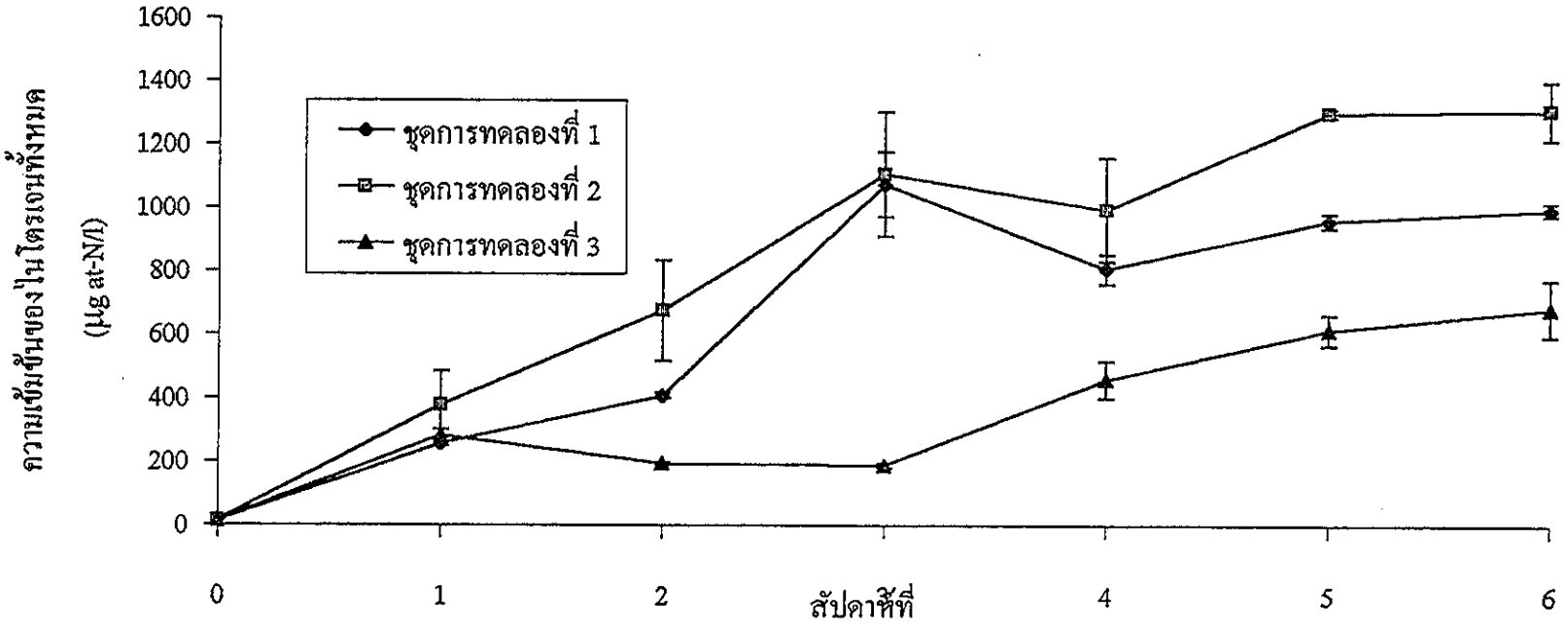
ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน มีความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (Mean±SE) น้อยที่สุด (346.12 ± 53.90 μg at-N/l) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (643.51 ± 87.33 μg at-N/l) และชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน (824.53 ± 109.32 μg at-N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 1 (รูปที่ 5 และตารางภาคผนวก ก ที่ 1)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เฉพาะชุดการทดลองที่ 3 ในสัปดาห์ที่ 2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มลดลงแต่เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 (รูปที่ 5) ซึ่งความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ส่วนในสัปดาห์ที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 1 ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 ชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 2)

1.2.2 แอมโมเนีย (NH_3-N and NH_4^+-N)

ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Mean±SE) ได้ดีที่สุด (27.05 ± 10.04 μg at-N/l) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน (42.12 ± 15.50 μg at-N/l) และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (86.08 ± 20.17 μg at-N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 (รูปที่ 6 และตารางภาคผนวก ก ที่ 1)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแอมโมเนียในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูง ในสัปดาห์ที่ 1 ทั้ง 3 ชุดการทดลอง แต่ลดลงสัปดาห์ที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ส่วนชุดการทดลองที่ 1 ความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 3 (รูปที่ 6)

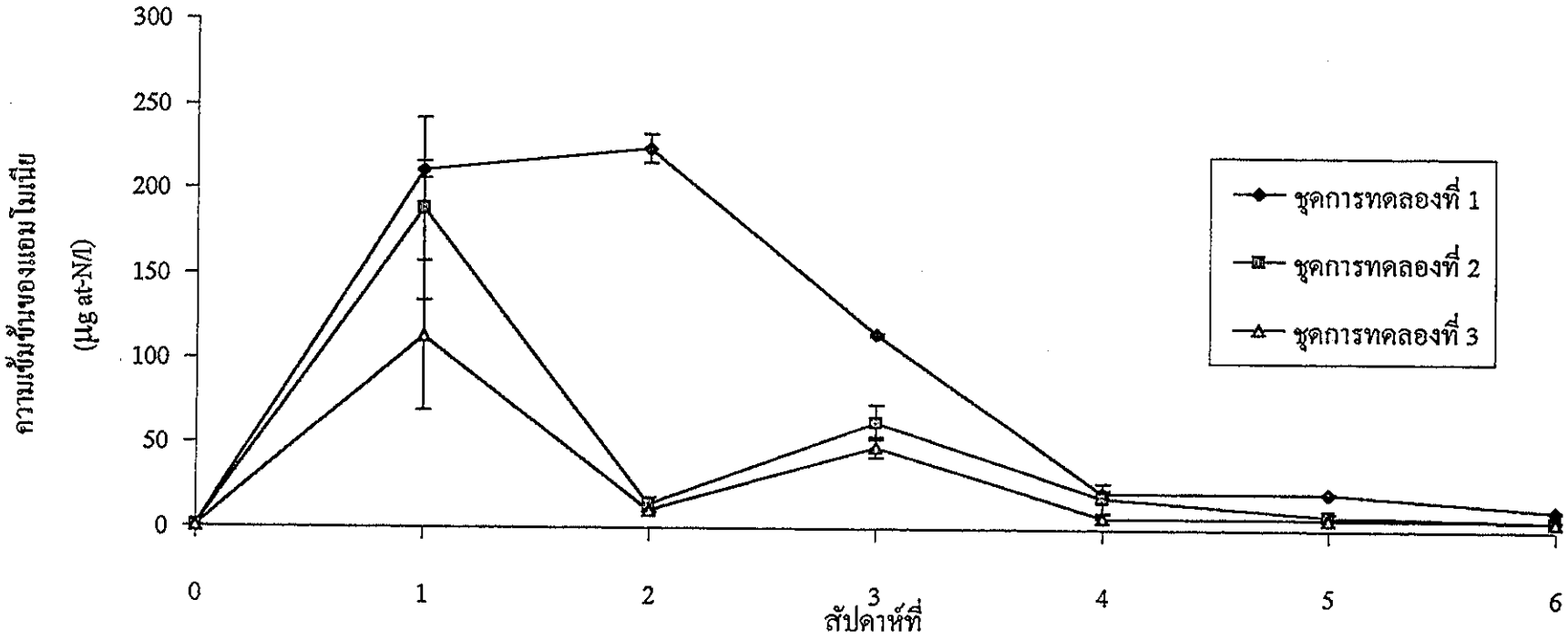


รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

โดยสัปดาห์ที่ 1 และ 4 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่สัปดาห์ที่ 2, 3, 5 และ 6 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 (ตารางภาคผนวก ก ที่ 3)

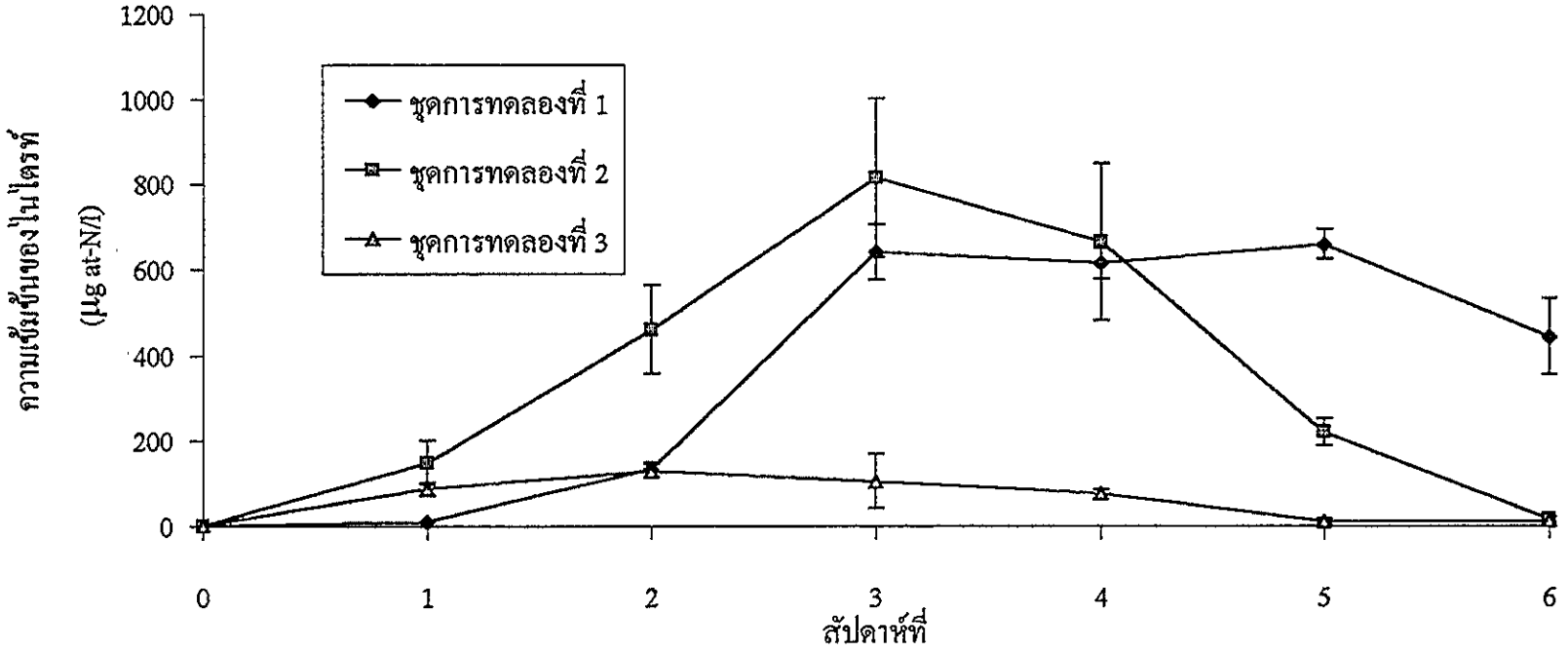
1.2.3 ไนไตรท์ (NO_2^--N)

ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน สามารถลดความเข้มข้นของไนไตรท์ (Mean±SE) ได้ดีที่สุด (59.51 ± 13.57 µg at-N/l) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน (332.23 ± 74.79 µg at-N/l) และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (356.97 ± 63.93 µg at-N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนไตรท์ในชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 1 (รูปที่ 7 และตารางภาคผนวก ก ที่ 1)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนไตรท์ในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของไนไตรท์เพิ่มมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 และลดต่ำลงมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 ส่วนชุดการทดลองที่ 2 เพิ่มมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 และลดต่ำลงมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 ชุดการทดลองที่ 1 ค่าไนไตรท์เพิ่มมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 และลดต่ำลงมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 1 (รูปที่ 7) ซึ่งพบว่าในสัปดาห์ที่ 2, 3, 4 และ 5 ความเข้มข้นของไนไตรท์ในชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 3, 4, 5 และ 6 (ตารางภาคผนวก ก ที่ 4)

1.2.4 ไนเตรท (NO_3^--N)

ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน มีความเข้มข้นของไนเตรท (Mean±SE) สูงสุด (450.18 ± 107.14 µg at-N/l) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน (259.56 ± 60.17 µg at-N/l) และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (200.45 ± 43.33 µg at-N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนเตรทในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่ 3 (รูปที่ 8 และตารางภาคผนวก ก ที่ 1)

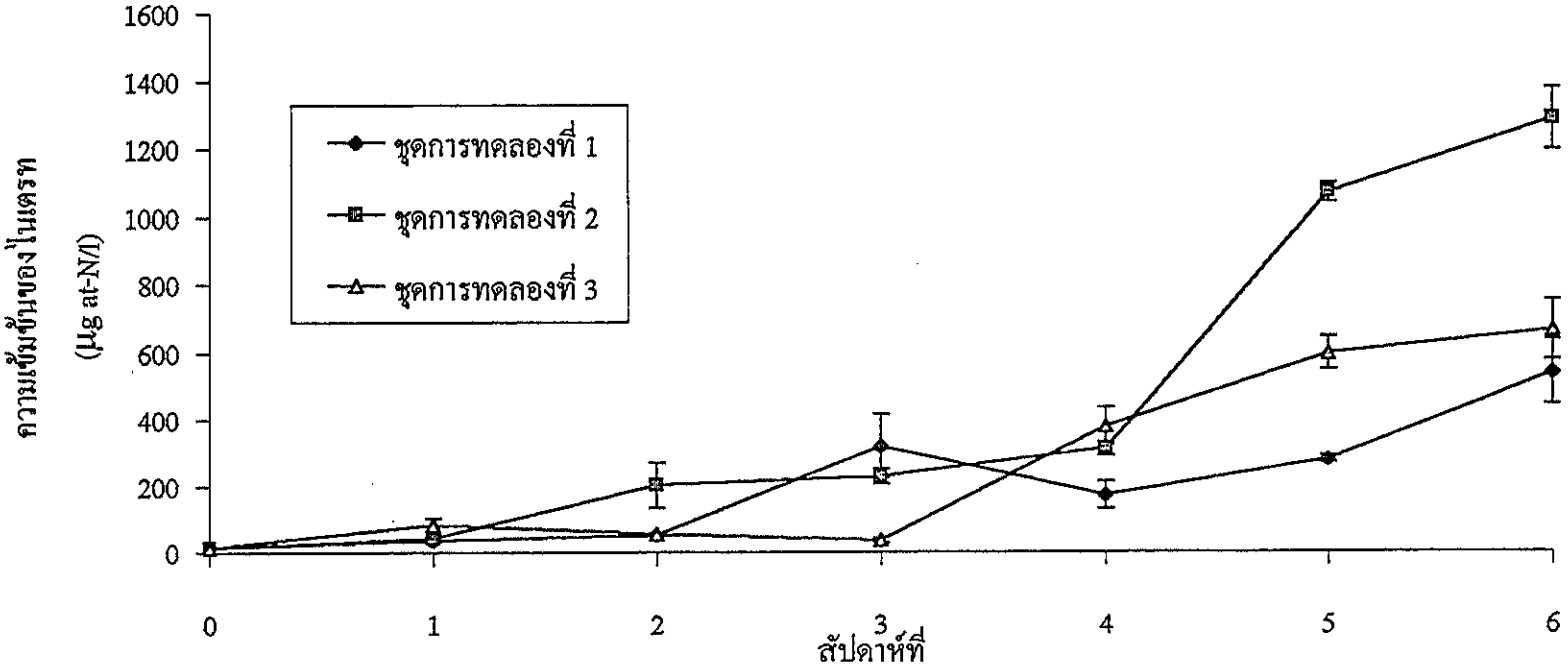


รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนไตรท์ (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและ มีการกำจัดทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนเตรท (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและ มีการกำจัดทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนเตรทในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรททั้ง 3 ชุดการทดลองส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 (รูปที่ 8) โดยความเข้มข้นของไนเตรทในชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 1, 3, 4 และ 5 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 5 และ 6 (ตารางภาคผนวก ก ที่ 5)

1.3 คุณภาพน้ำบางประการ

คุณภาพน้ำบางประการที่ตรวจวัดทุกวัน คือ pH อุณหภูมิ และความเค็ม พบว่า

1.3.1 pH

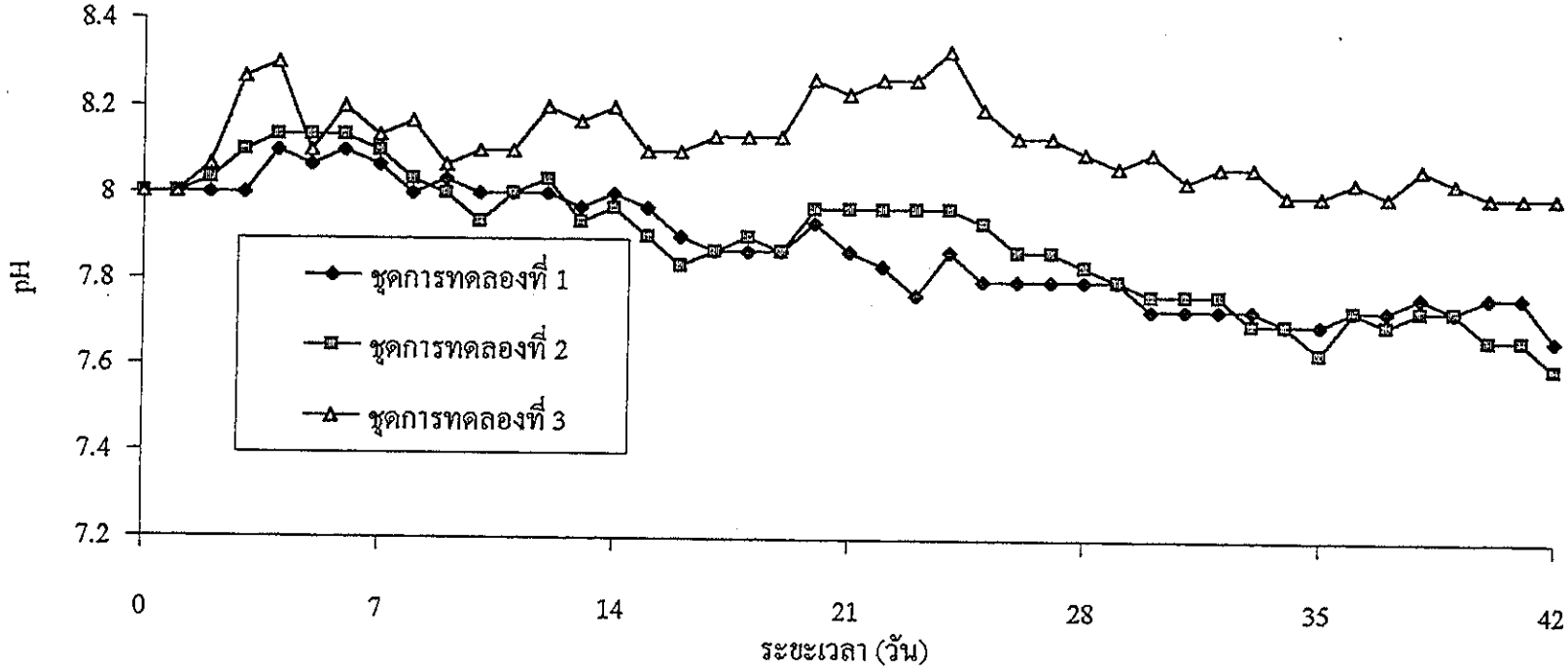
ค่า pH ของน้ำเริ่มต้นทุกชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 8.0 ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำ (Mean±SE) ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ อยู่ระหว่าง 7.6 - 8.1 (เฉลี่ย 7.9 ± 0.1) ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนอยู่ระหว่าง 7.5 – 8.2 (เฉลี่ย 7.9 ± 0.1) และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนอยู่ระหว่าง 8.0 – 8.4 (เฉลี่ย 8.1 ± 0.1) ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก. ก ที่ 6 และ รูปที่ 9)

1.3.2 ความเค็ม

ความเค็มของทุกชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 30 ppt ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ มีค่าการเปลี่ยนแปลงของความเค็ม (Mean±SE) อยู่ระหว่าง 30.0 – 31.0 ppt (เฉลี่ย 30.1 ± 0.2) ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนอยู่ระหว่าง 29.0 – 32.0 ppt (เฉลี่ย 30.2 ± 0.3) และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนอยู่ระหว่าง 28.0 – 33.0 (เฉลี่ย 30.3 ± 0.5) ppt ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก ก ที่ 6)

1.3.3 อุณหภูมิ

ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ มีค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Mean±SE) อยู่ระหว่าง 24.5 – 29.0 $^{\circ}$C (เฉลี่ย 26.2 ± 0.6) และชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ย pH ในแต่วัน โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนอยู่ระหว่าง 25.0 – 30.0 °C (เฉลี่ย 26.9 ± 0.7) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 6)

1.4 อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความยาว และน้ำหนัก ของกุ้งกุลาดำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

1.4.1 อัตราการรอดของกุ้งกุลาดำ

หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ อัตราการรอดกุ้งกุลาดำ (Mean±SE) สูงสุดในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ และชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน มีค่าเท่ากับ 73.3 ± 6.7, 66.7 ± 6.7 และ 60.0 ± 0.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอัตราการรอดของกุ้งกุลาดำทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 7)

1.4.2 อัตราการแลกเนื้อ (Food conversion rate)

หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า อัตราการแลกเนื้อ (Mean±SE) ในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.396 ± 0.042 , 1.464 ± 0.042 และ 1.627 ± 0.028 ตามลำดับ โดยอัตราการแลกเนื้อในชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 (ตารางภาคผนวก ก ที่ 7)

1.4.3 ความยาวของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีความยาวเริ่มต้น (Mean±SE) ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน มีค่าเท่ากับ 9.7 ± 0.2, 9.6 ± 0.2, 9.4 ± 0.3 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ความยาวของกุ้งกุลาดำสูงสุดในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.3 ± 0.4 , 10.9 ± 0.3 และ 10.8 ± 0.3 เซนติเมตร ตามลำดับ

โดยความยาวของกุ้งกุลาดำทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 7)

1.4.4 น้ำหนักของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีน้ำหนักเริ่มต้น (Mean±SE) ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน มีค่าเท่ากับ 6.2 ± 0.4, 6.2 ± 0.2 และ 6.2 ± 0.4 กรัม ตามลำดับ โดยน้ำหนักกุ้งกุลาดำทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ น้ำหนักของกุ้งกุลาดำสูงสุดในชุดการทดลองที่ 3, 2 และ1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.4 ± 0.6, 11.9 ± 0.6 และ 11.3 ± 0.4 กรัม ตามลำดับ โดยน้ำหนักกุ้งกุลาดำทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 7)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงเลี้ยงสาหร่ายต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

ศึกษาระบบการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเปรียบเทียบการเลี้ยงสัตว์ทะเล 3 ระบบ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ส่วนชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน แต่ระยะเวลาความถี่ในการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรงต่างกัน โดยในชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง ส่วนชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ปรากฏผลการทดลองดังนี้

2.1 ชนิดและปริมาณสาหร่าย

2.1.1 ชนิดของสาหร่าย

สาหร่ายที่ปลูกเลี้ยงบนตะแกรงตอนเริ่มต้นส่วนใหญ่เป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรองลงมา เป็นพวกไดอะตอม ส่วนสาหร่ายสีเขียวพบเพียงชนิดเดียว ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Phormidium* และ*Oscillatoria* พบหลากหลายชนิดมากที่สุด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเปรียบเทียบความถี่ในการพบสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

ดิวิชั่น	สกุล	ชนิด	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2		ชุดการทดลองที่ 3		
			8 สัปดาห์	8 สัปดาห์		เริ่มต้น	8 สัปดาห์	
			ตู้	ตู้	ตะแกรง	ตะแกรง	ตู้	ตะแกรง
Cyanophyta	*Oscillatoria*	*O. amphigranulata*		/	/	/	/	/
		O. chorina	/	/	/	/	/	/
		O. nagraviridis	/					
		O. subbrevis	/		/		/	
		O. tennue	/	/	/	/	/	/
		Oscillatoria sp.1	/	/	/		/	/
		Oscillatoria sp.2			/			/
		Oscillatoria sp.3			/			
	Phormidium	*P. tennue*	/	/	/	/	/	
		Phormidium sp.1	/					
		Phormidium sp.2				/		
		Phormidium sp.3	/	/	/	/	/	
	Lyngbya	*L. cinerescens*			/		/	
		L. lagerheimii			/	/		
		L. semiphena			/			
	Chlorogloea	*C. fritschii*	/	/				

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ดิวิชั่น	สกุล	ชนิด	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2		ชุดการทดลองที่ 3		
			8 สัปดาห์	8 สัปดาห์		เริ่มต้น	8 สัปดาห์	
			ตู้	ตู้	ตะแกรง	ตะแกรง	ตู้	ตะแกรง
Cyanophyta	*Synechococcus*	*S. elongatus*		/	/	/		/
	Dermocapa	*Dermocapa* sp.1	/	/				/
	Xenococcus	*X. kerneri*	/	/	/			
	Myxosarcina	*M. spectobilis*	/	/	/			
Bacillariophyta	*Navicula*	*Navicula* sp.1	/	/	/	/		/
		Navicula sp.2		/	/		/	
	Amphora	*A. bigibba*	/	/	/			
		Amphora sp.	/	/	/	/	/	/
	Cymbella	*Cymbella* sp.1	/	/	/	/		/
		Cymbella sp.2	/		/		/	/
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.1			/			
Chlorophyta		Unknown		/	/	/	/	/
รวม (ชนิด)			17	17	23	12	12	12

หมายเหตุ

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชนิดของสาหร่ายที่พบในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลและบนตะแกรงหลังจากทดลอง 8 สัปดาห์ สาหร่ายที่พบส่วนใหญ่เป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน รองลงมาเป็นพวกไดอะตอม ส่วนสาหร่ายสีเขียว พบเพียงชนิดเดียวเช่นเดียวกับเริ่มต้นการทดลอง ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบแบ่งได้ 8 สกุล 20 ชนิด สกุล *Oscillatoria* พบหลากหลายชนิดมากที่สุด รองลงมาคือ *Phormidium* (ตารางที่ 4)

ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า สาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ 2 มีอยู่ 12 ชนิด ได้แก่ กลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน คือ *Oscillatoria subbrevis, Oscillatoria.* sp.1, *Oscillatoria.* sp.2, *Oscillatoria.* sp.3, *Lyngbya semiphena, L. cinerescens, Myxosarcina spectobilis* และ *Xenococcus kerneri* กลุ่มไดอะตอม คือ *Navicula* sp.2, *Cymbella* sp.2, *Amphora bigibba* และ *Nitzschia* sp.1 ส่วนชนิดของสาหร่ายที่หายไปมีเพียงชนิดเดียว คือ *Phormidium* sp.2 ส่วนในชุดการทดลองที่ 3 พบว่า ชนิดของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นมีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ กลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน คือ *Oscillatoria* sp.1, *Oscillatoria.* sp.2, และ *Dermocapa* sp.1 และไดอะตอม คือ *Cymbella* sp. 2 ส่วนชนิดของสาหร่ายหายไป 4 ชนิด ซึ่งเป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน คือ *Phormidium tennue, Phormidium* sp.2, *Phormidium* sp.3 และ *Lyngbya lagerheimii* (ตารางที่ 4)

2.1.2 ปริมาณสาหร่าย

ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นจากการปลูกเลี้ยงบนตะแกรง (Mean±SE) เท่ากับ 0.010 ± 0.002 และ 0.008 ± 0.001 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ

หลังจากทดลอง 8 สัปดาห์ ปริมาณสาหร่ายที่เจริญในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล (Mean±SE) มากที่สุดในชุดการทดลองที่ 1 รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.146 ± 0.010, 0.063 ± 0.005 และ0.030 ± 0.006 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณสาหร่ายในชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 (ตารางที่ 5) เมื่อพิจารณาปริมาณสาหร่ายทั้งหมด (สาหร่ายในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลกับสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง ;Mean±SE) มีปริมาณสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2 รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.577 ± 0.105, 1.478 ± 0.071 และ

ตารางที่ 5 ปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรงและในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่าย จากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

	ชุดการทดลอง		
	1*	2*	3*
ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่เจริญบนตะแกรง (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)		0.010±0.002[a]	0.008±0.001[a]
ปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นที่เจริญบนตะแกรง (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)		1.514±0.102[a]	1.449±0.065[a]
ปริมาณสาหร่ายในตู้ (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)	0.146±0.010[a]	0.063±0.005[b]	0.030±0.006[b]
ปริมาณสาหร่ายทั้งหมด (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)	0.146±0.010[a]	1.577±0.105[b]	1.478±0.071[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

* Mean±SE

0.146 ± 0.010 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลอง 2 และ 3 (ตารางที่ 5)

2.1.3 ชนิดของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง ในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน แต่ต่างกันที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรงสาหร่าย ได้ผลดังนี้

ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง พบว่า จำนวนชนิดของสาหร่ายที่สัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 เท่ากับ 9, 15, 18, 17 และ 17 ชนิด ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นและหายไปในแต่ละสัปดาห์แสดงในตางรางที่ 9 ซึ่งสาหร่ายที่พบทุกสัปดาห์มีอยู่ 7 ชนิด คือ *Oscillatoria amphigranulata, O. chorina, O. tennue, Phormidium* sp.1, *Synechococcus elongatus, Amphora* sp. และ *Navicula* sp.1 (ตางรางที่ 6)

ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง พบว่า จำนวนชนิดของสาหร่ายที่สัปดาห์ที่ 0, 4 และ 8 เท่ากับ 9, 13 และ 15 ชนิด ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นและขาดหายไปในแต่ละสัปดาห์แสดงในตางรางที่ 10 ส่วนชนิดของสาหร่ายที่พบทุกสัปดาห์มีอยู่ 6 ชนิด คือ *Oscillatoria amphigranulata, O. chorina, O. tennue, Amphora* sp.1 *Navicula* sp.1 และสาหร่ายสีเขียว 1 ชนิด แต่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ (ตางรางที่ 7)

2.1.4 ปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรง

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง ในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 ระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน แต่ต่างกันที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรงสาหร่าย โดยชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง ส่วนชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ได้ผลดังนี้

ปริมาณของสาหร่าย (Mean±SE) ในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง ในสัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 เท่ากับ 0.010 ± 0.002, 0.166 ± 0.014, 0.225 ± 0.012, 0.326 ± 0.017, และ 0.805 ± 0.064 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ปริมาณของสาหร่าย (Mean±SE) ในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้งในสัปดาห์ที่ 0, 4 และ 8 เท่ากับ 0.008 ± 0.001, 0.400 ± 0.038 และ 1.058 ± 0.055 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรง ในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ดิวิชั่น	ชนิดสาหร่ายที่พบ	สัปดาห์ที่				
		0	2	4	6	8
Cyanophyta	*Oscillatoria amphigranulata*	/	/	/	/	/
	O. chorina	/	/	/	/	/
	O. subbrevis				/	
	O. tennue	/	/	/	/	/
	Oscillatoria sp.1			/	/	
	Oscillatoria sp.2		/	/		
	Oscillatoria sp.3		/	/		
	Phormidium tennue	/		/	/	/
	Phormidium sp.1	/	/	/	/	/
	Phormidium sp.2					/
	Lyngbya cinerescens		/			
	L. lagerheimii			/	/	
	L. semiphena				/	
	Chlorogloea fritschii		/	/		/
	Synechococcus elongatus	/	/	/	/	/
	Dermocapa sp.1					/
	Xenococcus kerneri		/	/	/	/
	Myxosarcina spectobilis					/
Chlorophyta	Unknown[1]	/		/		/
Bacillariophyta	*Navicula* sp.1	/	/	/	/	/
	Navicula sp.2				/	/
	Amphora bigibba		/		/	/
	Amphora sp.	/	/	/	/	/
	Cymbella sp.1		/	/	/	/
	Cymbella sp.2		/	/	/	
	Nitzchia sp.1			/		
รวม (ชนิด)		9	15	18	17	17

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรง
ในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ดิวิชั่น	ชนิดสาหร่ายที่พบ	สัปดาห์ที่		
		0	4	8
Cyanophyta	*Oscillatoria amphigranulata*	/	/	/
	O. chorina	/	/	/
	O. subbrevis		/	/
	O. tennue	/	/	/
	Oscillatoria sp.1		/	/
	Oscillatoria sp.2		/	
	Phormidium tennue	/		/
	Phormidium sp.1	/		/
	Synechococcus elongatus	/	/	
	Dermocapa sp.1		/	
	Xenococcus kerneri			/
	Myxosarcina spectobilis			/
Chlorophyta	Unknown	/	/	/
Bacillariophyta	*Navicula* sp.1	/	/	/
	Navicula sp.2			/
	Amphora sp.	/	/	/
	Cymbella sp.1		/	/
	Cymbella sp.2		/	/
รวม (ชนิด)		9	13	15

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนตะแกรง (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร) โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่	สัปดาห์ที่					รวม
	0	2	4	6	8	
2	0.010±0.002	0.166±0.014	0.225±0.012	0.326±0.017	0.805±0.064	1.522±0.102
3	0.008±0.001		0.400±0.038		1.058±0.055	1.458±0.065

หมายเหตุ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

2.2 สารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen Compound)

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลทั้ง 3 ระบบ ทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ได้ผลดังนี้

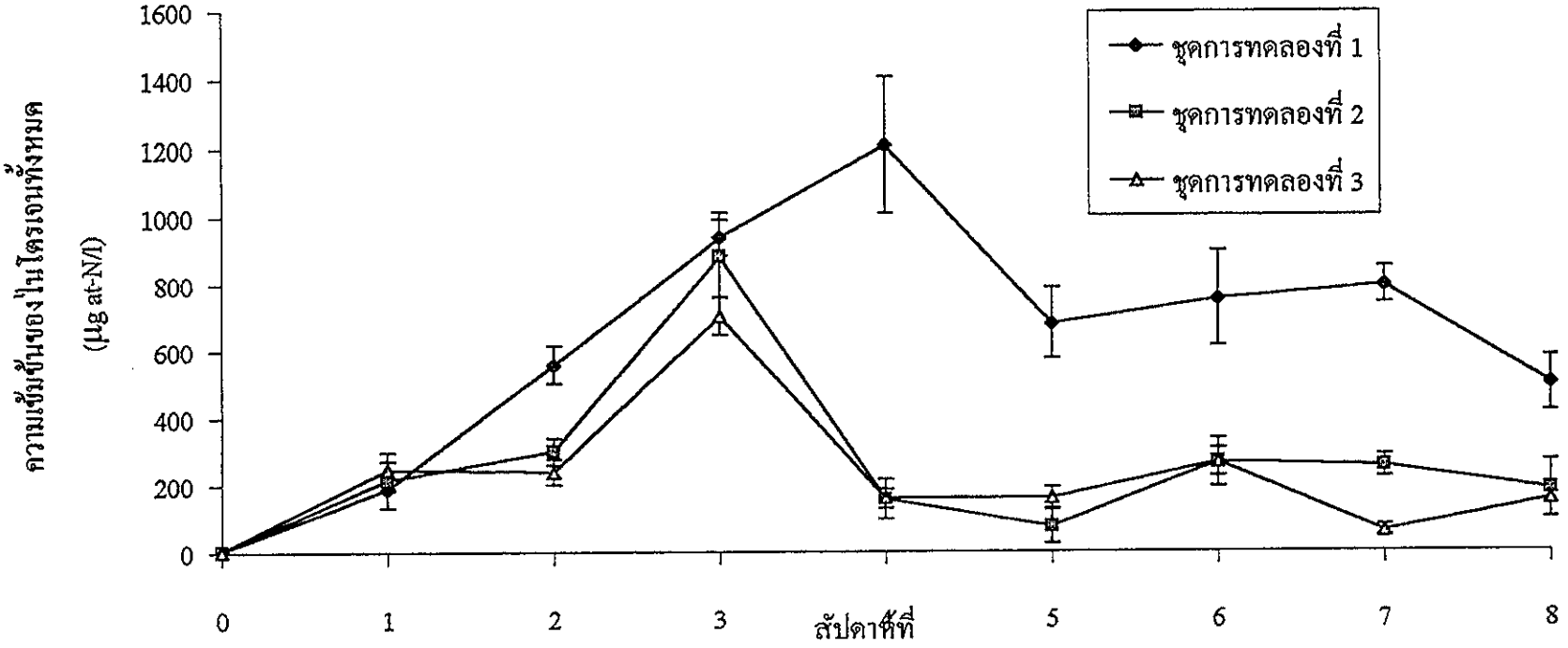
2.2.1 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (Mean±SE) น้อยที่สุด (220.05 ± 38.22 μg at – N/l) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง (229.57 ± 41.83 μg at – N/l) และชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (624.31 ± 73.44 μg at – N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 แต่ชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (รูปที่ 10 และตารางภาคผนวก ก ที่ 8)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลจะมีปริมาณสูงตอนเริ่มต้น หลังสัปดาห์ที่ 3 จะลดลงในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ยกเว้นชุดการทดลองที่ 1 จะลดลงหลังสัปดาห์ที่ 4 (รูปที่ 10) โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้ง 3 ชุดการทดลอง แต่ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 5, 6, 7 และ 8 พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 พบว่า เกือบทุกสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นสัปดาห์ที่ 7 (ตารางภาคผนวก ก ที่ 9)

2.2.2 แอมโมเนีย (NH_3-N and NH_4^+-N)

ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Mean±SE) น้อยที่สุด (12.30 ± 4.05 μg at -- N/l) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง (12.49 ± 4.29 μg at – N/l) และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (56.89 ± 19.33 μg at – N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 แต่ชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (รูปที่ 11 และตารางภาคผนวก ก ที่ 8)

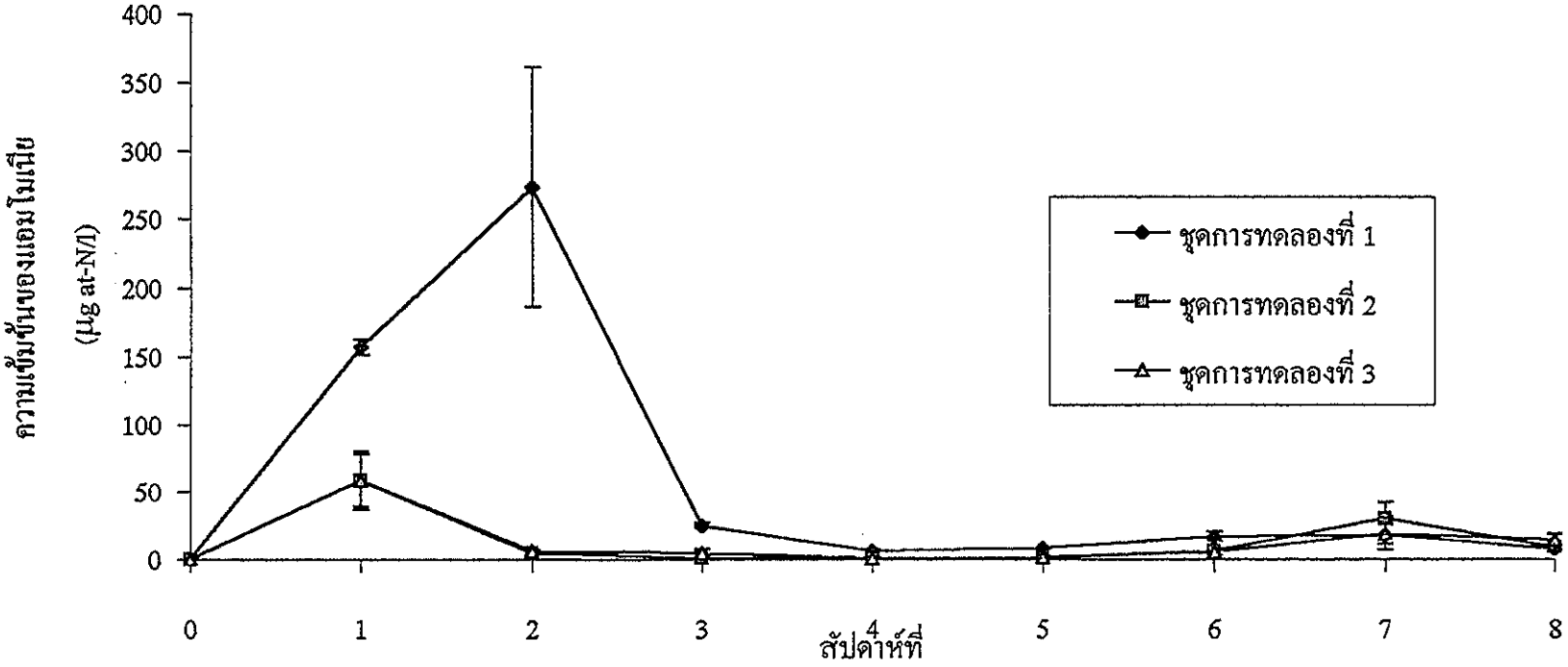


รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (Mean±SE) ในแต่สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่าย จากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง



รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแอมโมเนียในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูงในสัปดาห์ที่ 1 ทั้ง 3 ชุดการทดลอง แต่ลดลงในสัปดาห์ 2 ของชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 ส่วนชุดการทดลองที่ 1 ลดลงในสัปดาห์ที่ 3 (รูปที่ 11) โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียในสัปดาห์ที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ของชุดการทดลองที่ 3 และ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 ส่วนสัปดาห์ที่ 7 และ 8 ของทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียระหว่างชุดการทดลองที่ 2 กับ ชุดการทดลองที่ 3 พบว่าทุกสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 10)

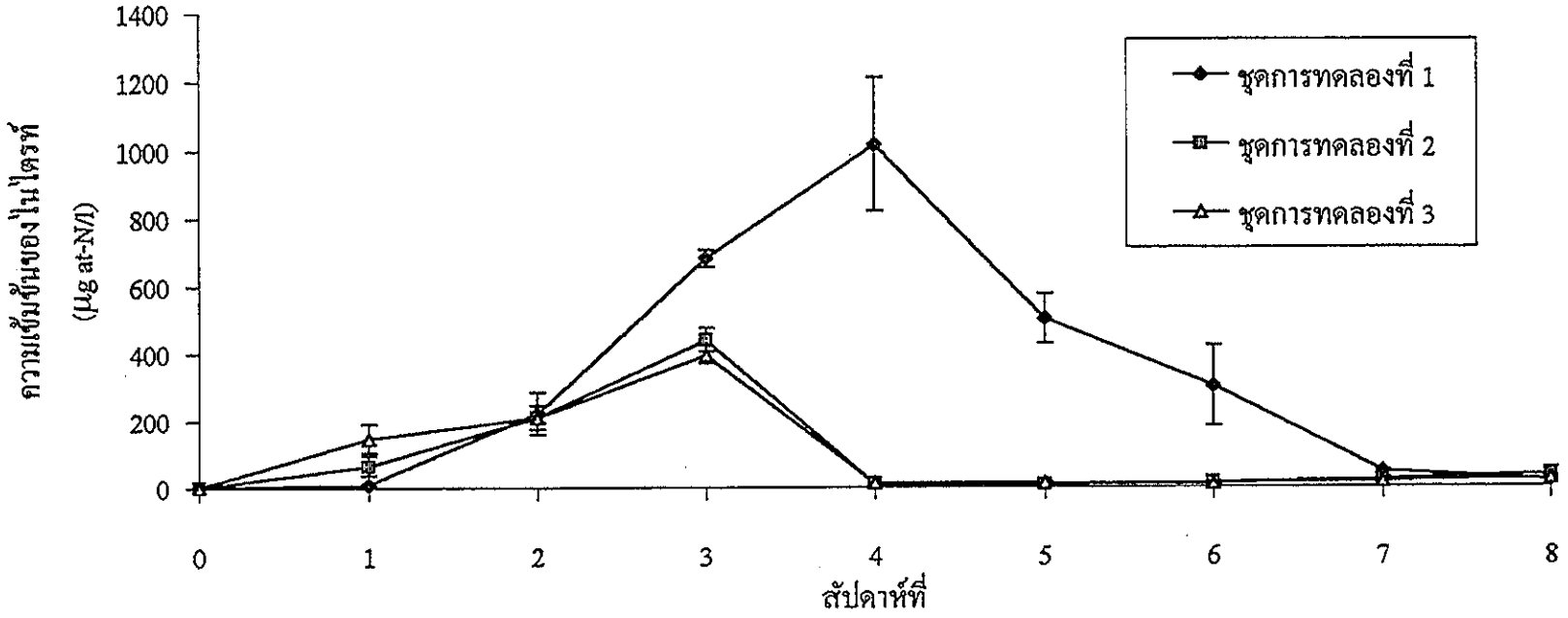
2.2.3 ไนไตรท์

ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง มีความเข้มข้นของไนไตรท์ (Mean±SE) น้อยที่สุด (88.39 ± 27.61 μg at – N/l)รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง (91.64 ± 25.73 μg at – N/l) และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (310.21 ± 70.23 μg at – N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนไตรท์ในชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 แต่ชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (รูปที่ 12 และตารางภาคผนวก ก ที่ 8)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนไตรท์ในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของไนไตรท์เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1, 2 และ3 ทั้ง 3 ชุดการทดลอง แต่ลดลงในสัปดาห์ที่ 4 ยกเว้นชุดการทดลองที่ 1 ลดลงในสัปดาห์ที่ 5 (รูปที่ 12) โดยความเข้มข้นของไนไตรท์ในสัปดาห์ที่ 3, 4, 5, 6 และ 7 ของชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไนไตรท์ระหว่างชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 พบว่าทุกสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 11)

2.2.4 ไนเตรท

ชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีความเข้มข้นของไนเตรท (Mean±SE) น้อยที่สุด (116.12 ± 20.79 μg at – N/l) รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ครั้ง (128.69 ± 22.15 μg at – N/l) และชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทาง



รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนไตรท์ (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชีวภาพ (257.21 ± 46.70 μg at – N/l) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนเตรทในชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 แต่ชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (รูปที่ 13 และตารางภาคผนวก ก ที่ 8)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนเตรทในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ความเข้มข้นของไนไตรทเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 1, 2 และจะเพิ่มสูงขึ้นมากในสัปดาห์ที่ 3 แต่ค่อยลดต่ำลงในสัปดาห์ที่ 4, 5 อย่างไรก็ตามจะเพิ่มสูงขึ้นอีกในสัปดาห์ที่ 6 ยกเว้นในชุดทดลองที่ 1 ความเข้มข้นของไนเตรทลดลงในสัปดาห์ที่ 8 ส่วนในชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 หลังจากสัปดาห์ที่ 6 ความเข้มข้นของไนเตรทก็ลดต่ำลง (รูปที่13) โดยความเข้มข้นของไนเตรทในสัปดาห์ที่ 2, 3, 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้ง 3 ชุดการทดลอง อย่างไรก็ตามในสัปดาห์ที่ 1, 6, 7 และ 8 ชุดการทดลองที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไนเตรทระหว่างชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 พบว่าทุกสัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นสัปดาห์ที่ 7 (ตารางภาคผนวก ก ที่ 12)

2.3 คุณภาพน้ำบางประการ

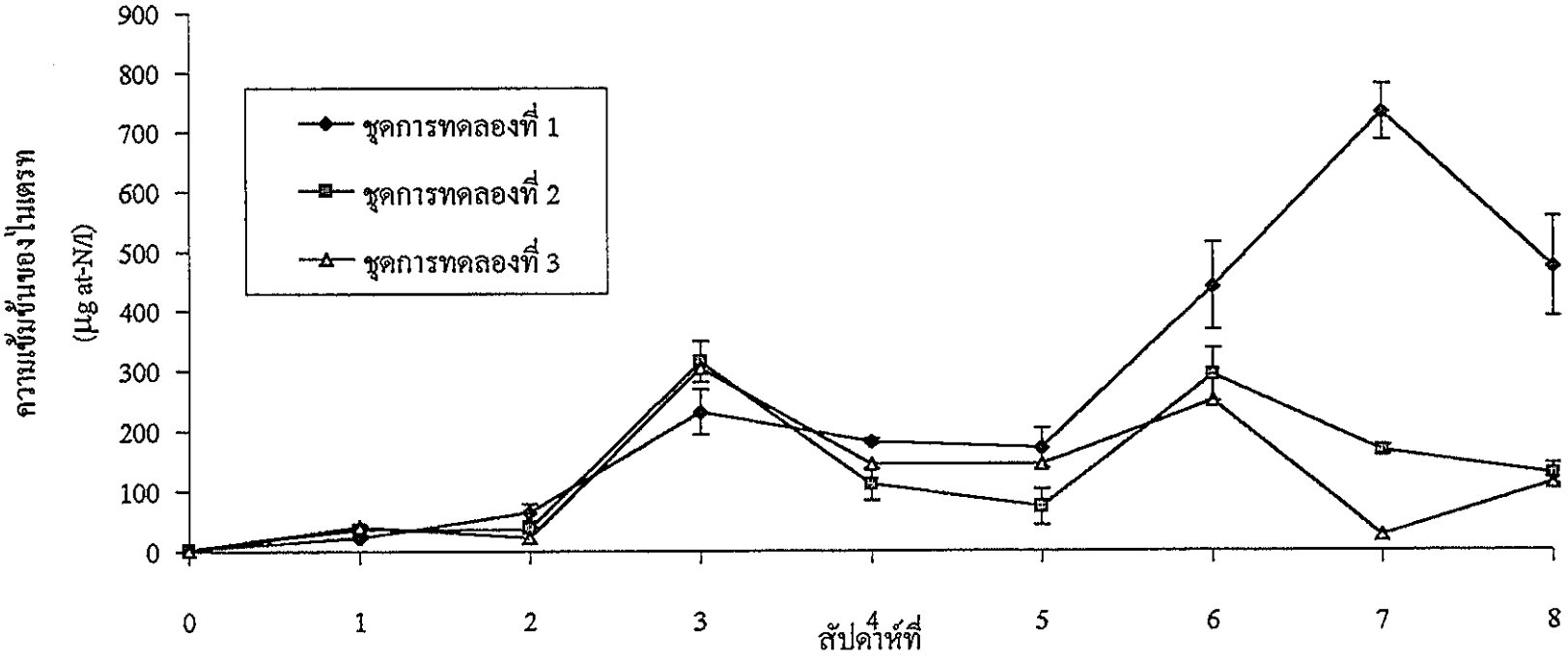
คุณภาพน้ำบางประการที่ตรวจวัดทุกวัน คือ pH อุณหภูมิ และความเค็ม พบว่า

2.3.1 pH

pH ของน้ำทุกชุดการทดลองเท่ากับ 8.0 ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ (Mean±SE) ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ อยู่ระหว่าง 7.3 - 8.1 (เฉลี่ย 7.6 ± 0.0) ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้งอยู่ระหว่าง 7.7 – 8.2 (เฉลี่ย 8.0 ± 0.0) และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้งอยู่ระหว่าง 7.7 – 8.2 (เฉลี่ย 8.0 ± 0.0) ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก ก ที่ 13) (รูปที่ 14)

2.3.2 อุณหภูมิ

ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Mean±SE) อยู่ระหว่าง 26.0 – 30.0 °C (เฉลี่ย 26.6 ± 0.1) และชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง กับชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง อยู่ระหว่าง 26.0 – 31.5 °C (เฉลี่ย 30.2 ± 0.1) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 13)

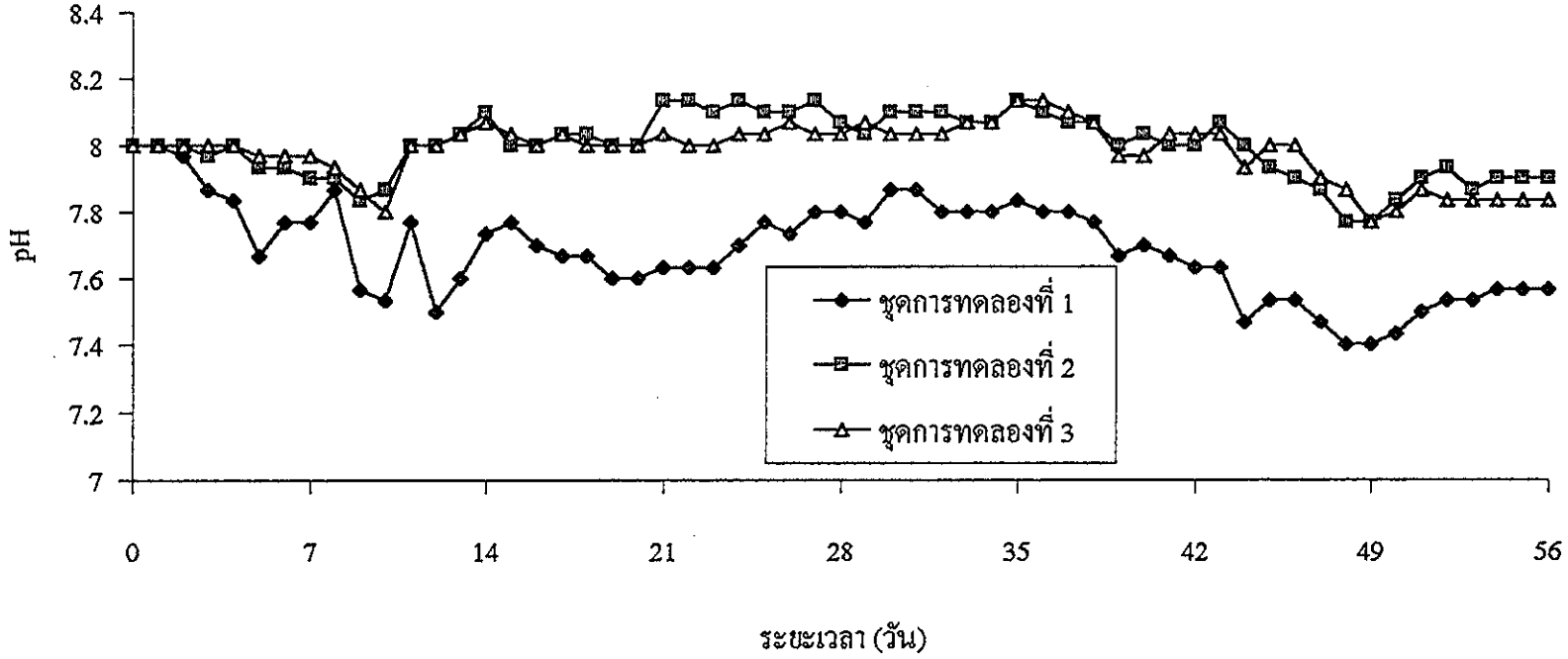


รูปที่ 13 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนเตรท (Mean±SE) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการชูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ชูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ชูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง



รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ย pH ในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ระยะเวลา 8 สัปดาห์

หมายเหตุ ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

2.3.3 ความเค็ม

ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงของความเค็ม (Mean±SE) อยู่ระหว่าง 27.0 – 31.0 ppt (เฉลี่ย 28.0 ± 0.1) ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้งอยู่ระหว่าง 26.0 – 33.0 ppt (เฉลี่ย 29.1 ± 0.1) และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้งอยู่ระหว่าง 27.0 – 34.0 ppt (เฉลี่ย 29.1 ± 0.1) ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก ก ที่ 13)

2.4 อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ น้ำหนัก และความยาวของกุ้งกุลาดำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

2.4.1 อัตราการรอดของกุ้งกุลาดำ

หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ อัตราการรอดของกุ้งกุลาดำสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง และต่ำสุดในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ มีค่าเท่ากับ 66.7 ± 13.3, 66.7 ± 6.7 และ 33.3 ± 6.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยอัตราการรอดของกุ้งกุลาดำในชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 (ตารางภาคผนวก ก ที่ 14)

2.4.2 อัตราการแลกเนื้อ

หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า อัตราการแลกเนื้อต่ำสุดในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.809 ± 0.019, 1.827 ± 0.255 และ 1.966 ± 0.256 ตามลำดับ โดยอัตราการแลกเนื้อทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 14)

2.4.3 ความยาวของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีความยาวเริ่มต้นในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง เท่ากับ 9.6 ± 0.1, 9.5 ± 0.1 และ 9.6 ± 0.1 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ความยาวของกุ้งกุลาดำสูงสุดในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.2 ± 0.1, 10.7 ± 0.3 และ 10.6 ± 0.4 เซนติเมตร ตามลำดับ โดย

ความยาวของกุ้งกุลาดำทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 14)

2.4.4 น้ำหนักกุ้งกุลาดำ

น้ำหนักเริ่มต้นของกุ้งกุลาดำในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีค่าเท่ากับ 6.4 ± 0.1, 6.5 ± 0.1 และ 6.4 ± 0.1 กรัม ตามลำดับ หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ น้ำหนักกุ้งกุลาดำสูงสุดในชุดการทดลองที่ 2, 1 และ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13.0 ± 0.9, 12.3 ± 0.3 และ 11.9 ± 0.9 กรัม ตามลำดับ โดยน้ำหนักกุ้งกุลาดำทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก ก ที่ 14)

บทที่ 4

วิจารณ์

1. ประสิทธิภาพของสาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

จากผลการศึกษาระบบการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยวิธีทางชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงสัตว์ทะเล 3 ระบบ คือ ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า

1.1 ชนิดและปริมาณของสาหร่าย

1.1.1 ชนิดของสาหร่าย

ชนิดของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงจากการปลูกเลี้ยงก่อนการทดลอง (ซึ่งจะนำไปใช้ในระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน) ส่วนใหญ่เป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน รองลงมาเป็นไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียว คิดเป็นร้อยละ 69.23, 23.08 และ 7.69 ตามลำดับ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลที่พบมากที่สุดคือ *Oscillatoria*

หลังจาก 6 สัปดาห์ ชนิดของสาหร่ายที่พบทั้งในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำและบนตะแกรงสาหร่ายมี 3 กลุ่มเช่นเดียวกันคือ พวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียว คิดเป็นร้อยละ 80.00, 15.00 และ 5.00 ตามลำดับ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลที่พบมากคือ *Oscillatoria* ได้แก่ *O. chlorina O. subbrevis O. nagraviridis* และสกุล *Phormidium* ได้แก่ *P. tennue* จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างชนิดของสาหร่ายในระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อนกับระบบที่ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโตเป็นเพราะใช้น้ำทะเลจากแหล่งเดียวกัน ซึ่งกลุ่มของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงโดยใช้น้ำจากตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำจะให้ผลคล้ายกันกับ Smithsonian Coral Reef and Lagoon Microcosm ซึ่งใช้น้ำจากการเลี้ยงปะการัง โดยเป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สกุล *Oscillatoria* กลุ่มไดอะตอม สกุล *Navicula, Nitzschia* และ *Amphora* (Adey and Loveland, 1991) ส่วนใน Great Barrier Reef Aquarium มีการใช้สาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำจากตู้เลี้ยงปลาฉลามและตู้เลี้ยงปะการัง โดยพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Phormidium* และสาหร่ายสีเขียวสกุล *Enteromorpha* เป็นชนิดที่เด่นบนตะแกรงที่ปลูกเลี้ยงสาหร่ายที่ใช้น้ำจากตู้เลี้ยงปลาฉลาม แต่ในตะแกรงสาหร่ายที่ใช้น้ำจากตู้เลี้ยงปะการังไม่มีสาหร่ายชนิดใดเด่น แต่ในบางช่วงมีสาหร่ายสกุล

Giffordia เจริญเป็นจำนวนมาก (Morrissey *et al.*, 1988) ส่วนใน Omaha Zoo Aquarium ซึ่งใช้สาหร่ายในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำจากตู้เลี้ยงปะการังเช่นกัน พบสาหร่ายสีเขียวสกุล *Enteromorpha* เป็นชนิดเด่นบนตะแกรง แต่บริเวณผิวน้ำในตู้เลี้ยงปะการังพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไดอะตอมเป็นชนิดเด่น (Pryor *et al.*, 1988)

ชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลและบนตะแกรง ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเดียวกัน โดยสาหร่ายที่พบมากในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ คือ *P. tennue, L. lagerheimii* และ *Navicula* sp.1 ส่วน *O. chlorina, O. subbrevis* และ *L. cinerescens* พบมากบนตะแกรงที่ใช้ในการปลูกเลี้ยงสาหร่าย แต่จากการศึกษาของ Adey and Loveland (1991) พบว่า ชนิดของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงในตู้เลี้ยงปะการัง ขนาด 130 แกลลอน ที่เลี้ยงตามบ้านเรือน เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้แก่ *Oscillatoria limosa,* และ *Oscillatoria* spp. และไดอะตอมพวก centric type สาหร่ายสีเขียวได้แก่ *Cladophora glaucescens, Derbesia lamourouxii* และ *Enteromorpha lingulata* สาหร่ายสีแดงได้แก่ *Polysiphonia subtilissima, Callithamnion halliae* และ *Erythrotrichea carnea*

1.1.2 ปริมาณของสาหร่าย

ในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน พบว่า ปริมาณสาหร่ายบนตะแกรงเพิ่มขึ้นหลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งเพิ่มตามปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่เพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณสาหร่ายที่เจริญเติบโตในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่ไม่มีการกำจัดของเสียจะมีปริมาณสาหร่ายเกาะตามตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลมากกว่าระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (ตารางที่ 3) ซึ่งปริมาณสาหร่ายที่เกาะตามตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงในการเลี้ยงสัตว์ทะเลเพื่อการแสดง เนื่องจากสาหร่ายจะมีผลต่อทัศนียภาพในการชมตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล หากมีสาหร่ายเกาะตามตู้ก็ต้องขูดออก ซึ่งในการเลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิดของ Omaha Zoo Aquarium ในตู้เลี้ยงปะการังขนาด 30,000 ลิตร ได้มีการขูดสาหร่ายออกจากตู้เลี้ยงปะการังทุก 7 วัน (Pryor *et al.*, 1988) แต่ในระบบที่มีการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ สาหร่ายที่เจริญตามตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลมีปริมาณน้อย ซึ่งระบบนี้จะช่วยลดความถี่ในการทำความสะอาดตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยช่วยลดแรงงานและค่าใช้จ่ายในการดูแลจัดการตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล นอกจากนี้จากการสังเกตปริมาณตะกอนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลทั้ง 3 ระบบ พบว่าตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 3 ในระบบที่ไม่มีการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน น้ำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลจะขุ่นมาก จนไม่สามารถมองเห็นตัวกุ้งกุลาดำในตู้ แต่ในระบบที่มีการกำจัดของเสียน้ำจะใสสามารถมองเห็นตัวกุ้งได้ชัดเจน

ฉะนั้นระบบที่ไม่มีการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนเพียง 3 สัปดาห์ก็จะต้องทำความสะอาดตู้หรือจะต้องเปลี่ยนน้ำทะเลใหม่

เมื่อพิจารณาปริมาณสาหร่ายทั้งหมด (สาหร่ายในตู้กับสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง) จะเห็นได้ว่าในระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อนปริมาณสาหร่ายมีปริมาณมากที่สุดทำให้สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียตามลำดับ เนื่องจากกำหนดเวลาให้แสงสว่าง 16 ชั่วโมง และมืด 8 ชั่วโมง เพื่อให้สาหร่ายเจริญเติบโตบนตะแกรงดี ซึ่งก็ส่งผลให้สาหร่ายเจริญเติบโตในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ดีด้วย หากต้องการลดปริมาณสาหร่ายในตู้ควรกำหนดเวลาให้แสงสว่าง 14 ชั่วโมง และมืด 10 ชั่วโมง (Little, Brown and Company, 1994) แต่ก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนตะแกรง

ปริมาณสาหร่ายในระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อนมีปริมาณสาหร่ายมากกว่าระบบที่ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเอง เป็นเพราะสาหร่ายที่ปลูกก่อนสามารถนำแอมโมเนียและไนเตรทซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่กุ้งปล่อยออกมาไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้เลย แต่ในระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนสาหร่ายจะเจริญบนตะแกรงก็ใช้เวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งกว่าสาหร่ายจะเจริญเติบโตปริมาณไนโตรเจนก็เพิ่มสูงเรื่อยๆ จึงส่งผลให้ปริมาณสาหร่ายหลังสัปดาห์ที่ 6 ในระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนน้อยกว่าระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของสาหร่าย เช่น pH อุณหภูมิ ความเค็ม และสารอาหาร จากการทดลองทั้ง 3 ระบบค่า pH อยู่ในช่วง 7.5 – 8.4 จึงพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาก แต่พบสาหร่ายสีเขียวน้อย ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria laetevirens* สามารถเจริญได้ดีที่ pH 7.5 – 8 (Mehta and Chauhan, 1988) แต่สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* เจริญเติบโตได้ดีที่ pH 6.31 – 6.84 (Mayo, 1997) ส่วนอุณหภูมิและความเค็มหากมีการเปลี่ยนแปลงมากก็จะมีผลต่อจำนวนชนิดและปริมาณ แต่ในการทดลองมีการควบคุมความเค็ม ส่วนอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก อย่างไรก็ตามปริมาณสารอาหารก็จะส่งผลต่อปริมาณของสาหร่ายในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยในระบบไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพเมื่อทดลองไป 3 สัปดาห์ปริมาณสารอาหารที่มากทำให้สาหร่ายเจริญเป็นจำนวนมากส่งผลให้ความหลากหลายของชนิดสาหร่ายต่ำ (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527)

1. 2 สารประกอบไนโตรเจนที่สาหร่ายนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต

ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนสามารถลดความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย และไนไตรท์ได้ดีกว่า ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนเตรทในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนกับระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย กับระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ไม่แตกต่างกัน (ตารางภาคผนวก ก ที่ 1)

1.2.1 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนสามารถลดความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีกว่า ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ตามลำดับ เป็นเพราะระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อนสาหร่ายสามารถนำไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียและไนเตรทไปใช้ได้เลย (Boyd, 1990) ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีปริมาณน้อยกว่าระบบอื่น

ในระบบที่ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโตบนตะแกรงเอง สาหร่ายเริ่มเจริญบนตะแกรงได้เล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 2 และเจริญเติบโตเต็มตะแกรงในสัปดาห์ที่ 4 ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในช่วงสัปดาห์ที่ 1 – 2 ถูกสาหร่ายนำไปใช้ได้ในปริมาณน้อย นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่มากก็ลดการดูดซึมแอมโมเนียและไนเตรทของสาหร่าย (Maclsaac and Dusdale, 1972 อ้างโดย Laohavisuti, 1997) ด้วยเหตุนี้ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียจึงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูง

หลังจากสัปดาห์ที่ 4 ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียมีความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน (ตารางภาคผนวก ก ที่ 2) เนื่องจากระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียมีตะกอนมาก ซึ่งตะกอนสามารถดูดซับสารประกอบไนโตรเจนไว้ (Hargreaves, 1998) ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาในน้ำน้อย ส่วนระบบที่มีการกำจัดของเสียแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนมีระบบการหมุนเวียนน้ำโดยการสูบน้ำจากตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลไปสู่ตะแกรง ซึ่งจะทำให้ไม่มีการจับตัวของตะกอน ส่งผลให้ไนโตรเจนละลายในน้ำสูงตามไปด้วย (Boyd, 1990)

นอกจากนี้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียลดลงในสัปดาห์ที่ 3 สืบเนื่องมาจากในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 เมื่ออินทรีย์สารมากส่งผลให้เกิดแพลงก์ตอนพืชเจริญเป็นจำนวนมากในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527; McGowan and George, 1999) ซึ่งมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชเท่ากับ 3.63×10^6 cell/ml โดยแพลงก์ตอนพืชก็สามารถนำไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตอีกด้วย (Kanda *et al.*, 1985) ซึ่ง Wheeler and Kirchman (1986) พบว่า Picoplankton จะนำสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียและกรดอะมิโนไปใช้มาก แต่จะนำไนเตรทและยูเรียไปใช้น้อยมาก

1.2.2 แอมโมเนีย

ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนสามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียได้ดีกว่าระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ตามลำดับ โดยระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน กับระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่แตกต่างกัน เป็นเพราะทั้งสองระบบมีปริมาณสาหร่ายมากกว่าระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย โดยสาหร่ายสามารถนำสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียไปใช้ได้ดีที่สุด (Boyd, 1990) เนื่องจากแอมโมเนียจะเป็นตัวรีดิวซ์ดีกว่าไนเตรท ดังนั้นแอมโมเนียจึงถูกดูดซึมได้ดีกว่า (Harrison, 1983) เมื่อสาหร่ายดูดซึมแอมโมเนียเข้าในเซลล์มากก็จะยับยั้งการดูดซึมไนเตรทเข้าสู่เซลล์ (Collos and Slawyk, มปท. อ้างโดยศักดิ์อนันต์ ปลาทอง, 2534)

เมื่อพิจารณาในแต่ละสัปดาห์จะเห็นได้ว่า ในระบบที่มีการกำจัดของเสียความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงในสัปดาห์ที่ 2 แต่ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียลดลงในสัปดาห์ที่ 3 เป็นเพราะในระบบที่มีการกำจัดของเสียจะมีการหมุนเวียนของน้ำจึงส่งผลให้แอมโมเนียเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนไตรท์ได้ก่อน (Forster, 1974 อ้างโดย Laohavisuti, 1997) นอกจากนี้หลังจากสัปดาห์ที่ 3 ความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำทั้ง 3 ระบบ อาจเป็นเพราะแอมโมเนียถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนไตรท์โดยแบคทีเรีย (Boyd, 1990)

1.2.3 ไนไตรท์

ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนสามารถลดความเข้มข้นของไนไตรท์ได้ดีกว่าระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ตามลำดับ สืบเนื่องจากสาหร่ายนำไนไตรท์ไปใช้น้อยมาก (Laohavisuti, 1997; วราห์ เทพาหุดี, 2534) เป็นผลให้ความเข้มข้นของไนไตรท์ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลแปรผันตามแอมโมเนียที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งจะเห็นว่าในระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อนมีความเข้มข้นของไนไตรท์ต่ำที่สุด เป็น

เพราะแอมโมเนียถูกสาหร่ายนำไปใช้มากจึงเหลือปริมาณแอมโมเนียที่จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนไตรท์น้อยกว่าระบบอื่น (Boyd, 1990)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียกับระบบที่มีการกำจัดของเสียแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของไนไตรท์ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 – 4 ในระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายจะเพิ่มสูงขึ้นก่อนระบบไม่มีการกำจัดของเสีย ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของแอมโมเนียในระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนที่ลดลงก่อน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของไนไตรท์ในระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนลดในสัปดาห์ที่ 4 แต่ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียลดลงในสัปดาห์ที่ 6 สืบเนื่องมาจากเป็นไปตามการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจน (Boyd, 1990; Emmens, 1995)

1.2.4 ไนเตรท

ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียมีความเข้มข้นของไนเตรทน้อยที่สุด รองลงมาเป็นระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพแต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย ตามลำดับ สืบเนื่องมาจากในสัปดาห์ที่ 6 ความเข้มข้นของไนไตรท์ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียเริ่มลดลง เป็นผลมาจากไนไตรท์ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนเตรท (Boyd, 1990; Emmens, 1995) ซึ่งการทดลองในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำใช้เวลา 6 สัปดาห์ ถ้าหากระยะเวลาทำการทดลองมากกว่านี้ความเข้มข้นของไนเตรทในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพมีแนวโนมที่จะสูงขึ้น

จากการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพระหว่างระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อนกับไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน พบว่าหลังจากสัปดาห์ที่ 4 ระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน สามารถกำจัดไนเตรทได้ดีกว่า เป็นเพราะระบบปลูกสาหร่ายก่อนสาหร่ายสามารถนำสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ได้ทันที (ศิริวรรณ คิดประเสริญ, 2538)

วัฏจักรของสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลก็จะใกล้เคียงธรรมชาติ (Emmens, 1995) แต่แหล่งของไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลมาจาก อาหารที่เหลือ ขี้กุ้ง (Morrissey *et al.*, 1988) และจากบรรยากาศ (N_2) โดยแบคทีเรียกลุ่ม Heterocystous cyanobacteria (สมถวิล วัลลิสุต, 2531; Hargreaves, 1998) โดยของเสียจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งแบคทีเรียกลุ่ม Nitrifying bacteria จะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ (Hargreaves, 1998; Laohavisuti, 1997) ซึ่งสาหร่ายสามารถนำสารประกอบไนโตรเจนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต โดยไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญต่อกระบวนการสร้างสารพันธุกรรมของสาหร่าย โดยเป็นองค์ประกอบของนิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) กรดอะมิโน และรงควัตถุบางชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ (Lobban *et al.*, 1985 อ้างโดย

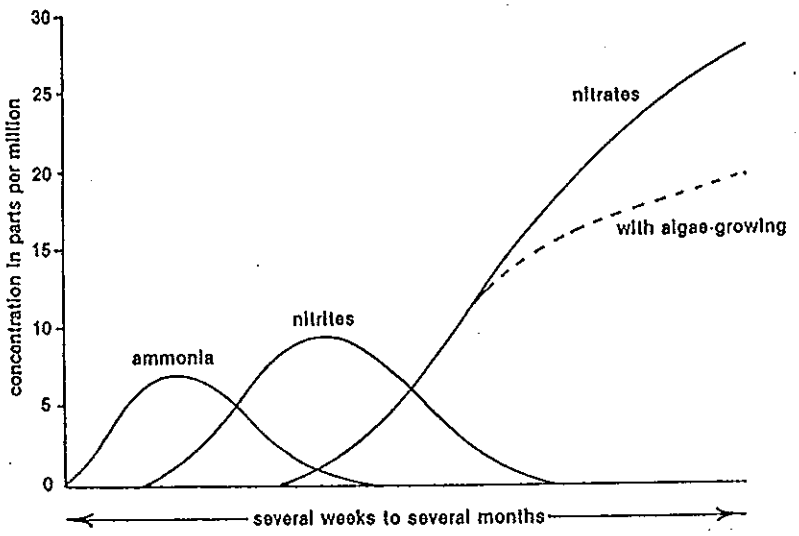
ศิริวรรณ คิดประเสริญ, 2538) Fogg (1964) พบว่า สาหร่ายใช้ไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างโปรตีนและเจริญเติบโต ซึ่งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท หรืออาจใช้ยูเรียแต่ปริมาณน้อย (วราห์ เทพาหุดี, 2534; McCarthy, 1972; Kanda *et al.*, 1985; Harrison, 1983; ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมสิริ, 2528; Hargreaves, 1998)

จากผลการทดลองจะพบว่าระบบที่มีการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนดีที่สุด โดยสามารถลดความเข้มข้นของ ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย และไนเตรท ซึ่ง Morrissey *et al.* (1988) พบว่า สาหร่ายขนาดเล็กที่เจริญเติบโตบนตะแกรงขนาด 80 ตารางเมตร สามารถลดปริมาณไนเตรทจากตู้ปะการังขนาด 2,850 ลูกบาศก์เมตร ใน Great Barrier Reef Aquarium แต่ตะแกรงสาหร่ายซึ่งมีพื้นที่ 64 ตารางเมตรไม่สามารถลดปริมาณไนเตรทจากตู้เลี้ยงปลาฉลามขนาด 750 ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ Omaha Zoo Aquarium สาหร่ายขนาดเล็กบนตะแกรงสาหร่ายมีขนาด 4.5 ตารางเมตรไม่สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต และออกซิเจน ในตู้เลี้ยงปะการังขนาด 30,000 ลิตร (Pryor *et al.*, 1988)

อย่างไรก็ตามสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ชนิด *Oscillatoria* sp. และ ไดอะตอม ชนิด *Phaeodactylum tricornutum* ซึ่งเลี้ยงใน Corrugated raceway สามารถกำจัดแอมโมเนีย และออร์โทฟอสเฟต (Orthophosphate)ได้หมดภายใน 24 ชั่วโมง (Craggs *et al.*, 1997) สอดคล้องกับ ศิริวรรณ คิดประเสริญ (2538) พบว่า ความสามารถในการบำบัดความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนเตรทของสาหร่ายขนาดใหญ่ *Gracilaria salicornia, Caulerpa maccrophysa* และ *Sargassum polycystum* จะมีค่าสูงในระยะ 6 - 12 ชั่วโมงแรกหลังจากนำสาหร่ายลงไปเลี้ยงในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งในการใช้สาหร่ายกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบไนโตรเจนกับปริมาณสาหร่าย นอกจากนี้ควรจะปลูกสาหร่ายก่อนเพราะสาหร่ายจะนำสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ทันที

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล พบว่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตอนเริ่มต้นทั้ง 3 ระบบ โดยในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียแอมโมเนียจะลดลงในสัปดาห์ที่ 3 แต่ชุดที่มีการกำจัดของเสียแอมโมเนียจะลดลงในสัปดาห์ที่ 2 เป็นเพราะระบบที่มีการกำจัดของเสียมีการหมุนเวียนของน้ำซึ่งจะช่วยเพิ่มการสลายของสารอินทรีย์ (Morrissey, 1988) การหมุนเวียนของน้ำยังเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมไนโตรเจนของสาหร่าย (Hurd *et al.*, 1996) และในสัปดาห์ที่ 3 เมื่อแอมโมเนียลดลง แต่ไนไตรท์ก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 ไนไตรท์จะลดลงในระบบที่มีการกำจัดของเสีย แต่ในระบบ

ที่ไม่มีการกำจัดของเสียจะลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งในสัปดาห์นี้แอมโมเนียจะมีในปริมาณน้อย และเมื่อไนไตรท์ลดลงไนเตรทก็เริ่มเพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 5, 6 และ 7) ซึ่งจากการทดลองการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Emmens (1995) และ Mills *et al.* (1987) (รูปที่ 15)



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล
ที่มา : Emmens, 1995

ในการทดลองนี้ไม่ได้ตรวจวัดปริมาณของฟอสฟอรัสในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ เนื่องจากในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลพบว่าไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียและไนไตรท์ หากมีปริมาณมากก็จะส่งผลต่อกุ้งกุลาดำ จึงเป็นเป้าหมายในการศึกษาครั้งนี้ ถึงแม้ว่าฟอสฟอรัสก็เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน (Kilham and Hecky, 1988) การใช้ฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟต สาหร่ายสามารถดึงไปใช้ได้โดยผลิตเอนไซด์ฟอสโฟเอสเทอเรสหรือฟอสฟาเทส เพื่อเปลี่ยนออร์โธฟอสเฟตให้อยู่ในรูปฟอสเฟตอิออนและดูดซึมเข้าในเซลล์ (Kuhl, 1974 อ้างโดย สุภาพร แซ่อึ่ง) สาหร่ายบางชนิด เช่น *Skeletonema costatum* และ *Amphidinium carteri* สามารถใช้โพลีฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัสเมื่อมีปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้น (Solorzano and Strickland, 1968) ซึ่งสาหร่ายสีเขียวและไดโนแฟลกเจลเลทจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อสัดส่วนของไนเตรทต่อฟอสเฟตต่ำ (Sverdrup *et al.*, 1974 อ้างโดย วราห์ เทพาหุดี, 2534)

1.3 คุณภาพน้ำบางประการ

คุณภาพน้ำที่ตรวจวัด คือ pH อุณหภูมิ และความเค็ม พบว่า

1.3.1 pH

ค่า pH เริ่มต้นของน้ำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลเท่ากับ 8.0 เมื่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ปรากฏว่า ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย และระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน ค่า pH จะลดลง แต่ในระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน pH ค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 8) โดยค่า pH ของน้ำจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนียในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล เนื่องจากในกระบวนการออกซิเดชั่นแอมโมเนียส่งผลให้ pH ลดลง (Boyd, 1990) ดังสมการ

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

ซึ่งหากค่า pH ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลมีการเปลี่ยนแปลงมากก็จะมีผลต่อสัตว์ทะเลในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอด (Boyd, 1990) รวมถึงประสิทธิภาพการนำแอมโมเนียและไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria, Phormidium* และ *Nitzschia* บางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 7.2 – 8.0 (Benson and Williams, 1975 อ้างโดย ทิพวรรณ แต้วสกุล, 2530) แต่ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล pH ไม่ควรต่ำกว่า 7.8 (Moe, 1992) ส่วนในตู้เลี้ยงปะการัง pH ควรอยู่ระหว่าง 8.1 – 8.3 (Tullock, 1994)

1.3.2 อุณหภูมิ

ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลอุณหภูมิของน้ำทะเลจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศในแต่ละวันและแสงจากหลอดไฟเหนือตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ซึ่งอุณหภูมิในระบบที่มีการกำจัดของเสีย ทั้งสองระบบ (25.0 - 30.0 °C) จะสูงกว่าระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ (24.5 - 29 °C) แต่ไม่มีความแตกต่างกัน เป็นเพราะปริมาณน้ำในตู้ระบบที่มีการกำจัดของเสีย ทั้ง 2 ระบบมีปริมาณน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนหนึ่งอยู่ในถาดเลี้ยงสาหร่าย นอกจากนี้ในถาดเลี้ยงสาหร่ายจะอยู่ใกล้กับหลอดไฟทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น การดูดซึมสารอาหารของแพลงก์ตอนพืชสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและแสงเพิ่มขึ้น (Kanda *et al.*, 1985)

1.3.3 ความเค็ม

ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพค่าความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงมาก เป็นเพราะทั้ง 2 ระบบนี้มีการหมุนเวียนของน้ำเค็มระหว่างตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลกับถาดปลูกเลี้ยงสาหร่ายส่งผลให้มีพื้นที่ผิวน้ำสามารถสัมผัสกับอากาศได้มากกว่าระบบที่ไม่มีระบบหมุนเวียนของน้ำทะเล ทำให้น้ำระเหยได้มากกว่าส่งผลให้ปริมาณน้ำทะเลและความเค็มในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลสูง จึงต้องเติมน้ำจืดบ่อยกว่าเพื่อรักษาความเค็มให้คงที่ แต่ไม่มีผลต่อกุ้งกุลาดำเพราะกุ้งกุลาดำสามารถทนความเค็มในช่วงกว้าง (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2535) แต่ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลความเค็มที่เหมาะสมเท่ากับ 34 ppt โดยการเปลี่ยนแปลงของความเค็มไม่ควรต่ำกว่า 28 ppt และไม่สูงกว่า 38 ppt (Valenti, 1968)

1.4 อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความยาวกุ้ง และน้ำหนักของกุ้งกุลาดำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

1.4.1 อัตราการรอดของกุ้งกุลาดำ

หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าอัตราการรอดของกุ้งกุลาดำทั้ง 3 ระบบไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางภาคผนวก ก ที่ 7) ซึ่งอาจมีผลมาจากหลายสาเหตุ เช่น จำนวนกุ้งกุลาดำที่ใช้ 5 ตัวต่อตู้นั้นอาจจะน้อยไป (เนื่องจากกุ้งกุลาดำที่ใช้ทดลองมีขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องลดจำนวนลงเพื่อลดอัตราความหนาแน่น) หากกุ้งตายเพียงตัวเดียวก็จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์อัตราการรอดมาก (Allan *et al.*, 1990)

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าในบางช่วงอยู่ในระดับที่มีผลต่อกุ้งกุลาดำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

- ความเป็นพิษของแอมโมเนีย

ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อนเท่ากับ 3.7 mg/l Total ammonia nitrogen (TAN) (Chen and Lei, 1990) และต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเท่ากับ 4.26 mg/l TAN (Chen *et al.*, 1990a) เมื่อใช้เกณฑ์นี้เปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ พบว่า ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียกับระบบที่มีการกำจัดของเสียโดยไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียอยู่ในช่วงกว้างและความเข้มข้นอยู่ในระดับสูง ส่วนในระบบที่มีการกำจัดของเสียแต่มีการปลูกสาหร่ายก่อนปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับต่ำ โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้ง 3 ระบบอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของแอมโมเนีย โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลองที่	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ระบบที่ไม่มีการ กำจัดของเสีย	11.43±0.62µg-at N/l (0.16 mg/l TAN)	223.74±8.58 µg-at N/l (3.13 mg/l TAN)
2. ระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน	4.92±0.47 µg-at N/l (0.07 mg/l TAN)	188.05±53.91µg-at N/l (2.63 mg/l TAN)
3. ระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน	5.17±0.22 µg-at N/l (0.07 mg/l TAN)	112.92±44.20µg-at N/l (1.58 mg/l TAN)

- ความเป็นพิษของ ไนไตรท์

ความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อนเท่ากับ 3.8 mg/l NO_2-N (Chen and Lei,1990) และต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเท่ากับ 10.60 mg/l NO_2-N (Chen *et al.*, 1990a) เมื่อใช้เกณฑ์นี้เปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ พบว่า ในระบบที่มีการกำจัดของเสียแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนและระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียมีการเปลี่ยนแปลงของไนไตรท์อยู่ในช่วงกว้างและอยู่ในระดับที่สูง โดยในระบบที่มีการกำจัดของเสียแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนปริมาณไนไตรท์อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนไตรท์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลองที่	ความเข้มข้นของไนไตรท์	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ	9.66±1.05 µg-at N/l (0.14 mg/l NO_2-N)	658.85±34.72 µg-at N/l (9.22 mg/l NO_2-N)
2. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน	15.44±5.23 µg-at N/l (0.22 mg/l NO_2-N)	815.86±186.17µg-at N/l (11.42 mg/l NO_2-N)
3. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน	10.72±5.13 µg-at N/l (0.15 mg/l NO_2-N)	128.98±16.18 µg-at N/l (1.81 mg/l NO_2-N)

- ความเป็นพิษของไนเตรท

ความเข้มข้นของไนเตรทที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำระยะ Postlarva อยู่ในช่วง 30-50 mg/l NO_3 -N (Catedral *et al.*, 1977) เมื่อใช้เกณฑ์นี้เปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรททั้ง 3 ชุดการทดลองอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของไนเตรทในระบบที่มีการกำจัดของเสียแต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อนอยู่ในช่วงกว้างอีกสองระบบ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนเตรท โดยเปรียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลองที่	ความเข้มข้นของไนเตรท	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ	33.43±1.79 µg-N/l (0.47 mg/l NO_3 -N)	539.86±95.34 µg-N/l (7.56 mg/l NO_3 -N)
2. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน	42.38±9.16 µg-N/l (0.59 mg/l NO_3 -N)	1,070.99±28.36 µg-N/l (14.98 mg/l NO_3 -N)
3. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน	34.03±7.03 µg-N/l (0.48 mg/l NO_3 -N)	664.75±88.45 µg-N/l (9.31 mg/l NO_3 -N)

จะเห็นได้ว่าในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย และระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน ระดับแอมโมเนียและไนไตรท์จะอยู่ในระดับที่สูง ซึ่งกุ้งกุลาดำไวต่อความความเป็นพิษของแอมโมเนียมากกว่าไนไตรท์และไนเตรท (Alcaraz *et al.*, 1999; Cavalli *et al.*, 1996) โดยในสัปดาห์ที่ 3 กุ้งกุลาดำเริ่มตาย ส่วนตัวที่เหลืออยู่ก็มีอาการไม่ดี กินอาหารน้อย และการเคลื่อนไหวช้า

นอกจากนี้หากกุ้งกุลาดำตัวใดอ่อนแอก็ถูกตัวที่แข็งแรงกว่ากิน (Allan *et al*, 1990) ซึ่งอาจแก้ไขโดยการสร้างคอกให้อยู่เพียงตัวเดียว (พิษณุ นาอนันต์, 2542) จากสาเหตุเหล่านี้ก็ส่งผลกระทบต่ออัตราการรอดและจะส่งผลต่อน้ำหนักของกุ้งและอัตราการแลกเนื้อของกุ้งกุลาดำอีกด้วย ซึ่งในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำน้ำหนัก 4.0 กรัมในตู้ทะเล ความหนาแน่น 30 ตัวต่อลิตร มีอัตรารอด 84.8 – 92.8 เปอร์เซ็นต์ (Akiyama, 1990) ส่วนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อของฟิลิปปินส์มีอัตรารอดเท่ากับ 79.7 เปอร์เซ็นต์ (Mancebo, 1992) และเท่ากับ 60-90 เปอร์เซ็นต์ในประเทศไทย (Tookwinas, 1993)

1.4.2 อัตราการแลกเนื้อ

ในระบบที่มีการปลูกสาหร่ายก่อน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารสูงกว่าระบบที่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน และระบบที่มีไม่มีการกำจัดของเสีย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.4, 1.5 และ 1.6 ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก ก ที่ 7) สืบเนื่องมาจากในระบบที่มีการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์อยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำ ส่งผลให้กุ้งกุลาดำมีสุขภาพดีทำให้กุ้งกินอาหารดีและอัตราการเจริญเติบโตที่ดีด้วย โดยใกล้เคียงกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด 4.0 กรัมในตู้ทะเล ที่ความหนาแน่น 30 ตัวต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าอัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 1.2 (Akiyama, 1990) ส่วนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อของฟิลิปปินส์เท่ากับ 1.68 (Mancebo, 1992) และการเลี้ยงแบบหนาแน่น (Intensive) ในประเทศไทย ที่ความเค็ม 1.5 – 2.0 ppt มีค่าอัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 1.35 และ 1.68 (Tookwinas, 1993) แต่การเลี้ยงแบบกึ่งหนาแน่น (Semi intensive) เท่ากับ 1.35 และ 1.68 (Saha *et al.*, 1999) อย่างไรก็ตามอัตราการแลกเนื้อของกุ้งกุลาดำยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหารที่ใช้เลี้ยงด้วย (สนั่น ร่วมรักษ์ และ คุนิฮิโกะ ชิเงโน่, 2518)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและความถี่ในการขูดสาหร่ายที่เจริญบนถาดเลี้ยงสาหร่ายต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

จากการศึกษาระบบการกำจัดสารประกอบในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล โดยวิธีทางชีวภาพระบบเดียวแต่เปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรงสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และ 4 สัปดาห์ต่อครั้ง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

2.1 ชนิดและปริมาณสาหร่าย

2.1.1 ชนิดของสาหร่าย

ชนิดของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงก่อนนำมาทดลองส่วนใหญ่เป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไดอะตอม ส่วนสาหร่ายสีเขียวพบเพียงชนิดเดียว คิดเป็นร้อยละ 66.67, 25.00 และ 8.33 ตามลำดับ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลที่พบมาก คือ *Oscillatoria* (ตารางที่ 4)

หลังจาก 8 สัปดาห์ ชนิดของสาหร่ายที่เจริญในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำและตะแกรง ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเดียวกัน โดยสาหร่ายที่พบมากในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ คือ *P. tenmue, L. lagerheimii* และ

Navicula sp.1 ส่วน *O. chlorina, O. subbrevis* และ *L. cinerescens* จะพบมากบนตะแกรงที่ใช้ปลูกเลี้ยงสาหร่าย

จากการเปรียบเทียบชนิดของสาหร่ายที่เจริญในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล และสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรง พบว่า ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้งมีจำนวนชนิดของสาหร่ายมากกว่าระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง (ตารางที่ 4) เป็นเพราะความถี่ในการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรงมากกว่า เมื่อตะแกรงมีพื้นที่ยึดเกาะมากสาหร่ายแต่ละชนิดในระบบก็จะแก่งแย่งกันลงเกาะบางช่วงชนิดใดลงเกาะได้ดีกว่าก็สามารถเจริญเติบโต แต่เมื่อมีการขูดสาหร่ายออกอีก สาหร่ายชนิดใหม่ที่ครั้งที่แล้วไม่สามารถเจริญได้ในครั้งที่แล้วแต่สามารถยึดเกาะและเจริญได้ดีในคราวนี้ จึงส่งผลให้ชนิดของสาหร่ายในระบบที่ขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้งจึงมีความหลากหลายชนิดมากกว่า นอกจากนี้ระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ช่วงแรกอาจมีสาหร่ายลงเกาะบนตะแกรงได้หลายชนิดเมื่อเวลาผ่านไปจะมีสาหร่ายเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถเจริญเติบโต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นเพราะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญได้ดีในสภาวะที่มีสารอาหารมาก (Craggs *et al.*, 1997)

2.1.2 ปริมาณสาหร่าย

หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำไป 8 สัปดาห์ ปริมาณสาหร่ายที่เจริญในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีปริมาณสาหร่ายน้อยที่สุด รองลงมาเป็นระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง เหมาะสมที่ใช้กับตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลที่ใช้เพื่อการแสดงมากที่สุดเพราะมีสาหร่ายเกาะในตู้น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาปริมาณสาหร่ายทั้งหมด (สาหร่ายในตู้กับสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงสาหร่าย) ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง มีปริมาณสาหร่ายมากที่สุด รองลงมาเป็นระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งปริมาณสาหร่ายทั้งหมดในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และ ระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ไม่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรททั้ง 2 ระบบไม่แตกต่างกันด้วย

2.2 สารประกอบไนโตรเจน

ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทน้อยที่สุด รองลงมาเป็นระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่ไม่มีระบบการกำจัดของเสีย ตามลำดับ ยกเว้นไนไตรท์ระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้งน้อยกว่าระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางภาคผนวก ก ที่ 8)

สาหร่ายที่มีอายุมากประสิทธิภาพการนำสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ได้ต่ำ Kanda (1985) กล่าวว่า ผลผลิตและการเจริญเติบโตจะสัมพันธ์กับระยะของแพลงก์ตอนพืช (Physiological stage) ซึ่งสาหร่ายที่มีอายุมากอัตราการดูดซึมสารอาหารต่ำด้วย สาหร่ายใหม่จะดูดซึมได้ดีกว่า และสาหร่ายหนาแน่นมากการรับสารอาหารก็ไม่ทั่วถึง จึงควรขูดสาหร่ายที่มีอายุมากออกเพื่อให้เจริญเติบโตใหม่ แต่ในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้งยังสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้

ฉะนั้นในการประยุกต์นำเอาระบบการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนไปใช้กับระบบตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ควรใช้ระบบกำจัดสารประกอบไนโตรเจนโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน และขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง เพราะจะไม่เสียเวลา ช่วยลดแรงงาน และค่าใช้จ่ายในการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง นอกจากนี้การประยุกต์นำเอาระบบการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนไปใช้กับระบบตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลต้องคำนึงปัจจัยในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลอีกหลายปัจจัย เช่น ขนาดตู้ ปริมาณน้ำ ปริมาณสารอาหาร ชนิดและปริมาณสัตว์น้ำ ชนิดและปริมาณสาหร่าย ประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารของสาหร่าย เป็นต้น ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมก่อนนำระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพไปใช้ หากมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ได้มาในตอนต้น เพื่อความเหมาะสมและเป็นผลดีในการใช้ระบบนี้ในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

ใน Great Barrier Reef Aquarium ซึ่งตู้ปะการังขนาด 2,850 ลูกบาศก์เมตร และตู้เลี้ยงปลาฉลามขนาด 750 ลูกบาศก์เมตร ใช้ตะแกรงสาหร่ายมีพื้นที่ 80 และ 64 ตารางเมตร ตามลำดับ จะขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 5 – 14 วันต่อครั้ง สามารถลดความเข้มข้นของไนเตรทลงได้(Morrissey *et al.*, 1988) และในการเลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิดของ Jamecook University จะขูดสาหร่ายออกจาก

ตะแกรงประมาณ 14 – 21 วันต่อครั้ง หรือเมื่อเห็นว่าสาหร่ายเจริญเติบโตมากออกก็สามารถลดความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนลงได้เช่นกัน (ศักดิ์อนันต์ ปลาทอง, 2543)

2.3 คุณภาพน้ำบางประการ

จากการทดลองคุณภาพน้ำที่ตรวจวัด คือ pH อุณหภูมิ และความเค็ม พบว่า pH เริ่มทดลองเท่ากับ 8.0 เมื่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ค่า pH จะลดต่ำลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ค่า pH จะคงที่ (ภาพที่ 14 และ ตารางภาคผนวก ก ที่ 13) เป็นเพราะในระบบที่มีสารประกอบไนโตรเจนมากการแตกตัวของแอมโมเนียทำให้ pH ลดลง (Boyd, 1990) แต่ในระบบที่มีปริมาณสาหร่ายมากก็จะนำสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ทำให้เหลือในระบบน้อย ส่วนอุณหภูมิและความเค็มในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง สูงกว่าระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง กับระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางภาคผนวก ก ที่ 13)

อุณหภูมิก็เช่นเดียวกับการทดลองตอนแรก คือ ระบบที่การกำจัดของเสียทั้ง 2 ระบบมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย ส่วนความเค็มก็เหมือนกัน ระบบที่การกำจัดของเสียทั้ง 2 ระบบมีความเค็มสูงกว่าระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย

2.4 อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ ความยาวกุ้ง และน้ำหนักของกุ้งกุลาดำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

จากการศึกษา น้ำหนัก ความยาวของกุ้งกุลาดำ และอัตราการแลกเนื้อ หลังจากเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 ระบบไม่แตกต่างกัน ยกเว้นอัตราการรอด ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง มีอัตราการรอดของกุ้งกุลาดำสูงกว่าระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสีย อย่างไรก็ตามอัตราการรอด น้ำหนัก ความยาวของกุ้งกุลาดำ และอัตราการแลกเนื้อ ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในแต่ละสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ที่มีผลต่อกุ้งกุลาดำในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล

- ความเป็นพิษของแอมโมเนีย

ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเท่ากับ 4.26 mg/l TAN (Chen *et al.*, 1990a) เมื่อใช้เกณฑ์นี้เปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ พบว่า ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียมีความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ในระดับสูงและการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียอยู่ในช่วงกว้าง แต่ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับต่ำ โดยทั้ง 3 ระบบความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของแอมโมเนีย โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลองที่	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ	6.01±1.39 µg-at N/l (0.08 mg/l TAN)	273.76±87.55 µg-at N/l (3.83 mg/l TAN)
2. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง	0.47±0.33 µg-at N/l (0.00 mg/l TAN)	58.56±21.60 µg-at N/l (0.82 mg/l TAN)
3. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง	1.04±0.85 µg-at N/l (0.01 mg/l TAN)	58.44±19.51 µg-at N/l (0.82 mg/l TAN)

- ความเป็นพิษของไนไตรท์

ความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่นเท่ากับ 10.60 mg/l NO_2-N (Chen *et al.*, 1990a) เมื่อใช้เกณฑ์นี้เปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ พบว่า ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียความเข้มข้นของไนไตรท์อยู่ในระดับสูงและอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำ แต่ในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้งและระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ความเข้มข้นของไนไตรท์อยู่ในระดับต่ำและไม่เป็นอันตรายกุ้งกุลาดำ (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนไตรท์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลองที่	ความเข้มข้นของไนไตรท์	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ	7.57±1.90 µg-at N/l (0.11 mg/l NO_2-N)	1,018.04±196.41µg-at N/l (14.25 mg/l NO_2-N)
2. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง	5.26±2.10 µg-at N/l (0.07 mg/l NO_2-N)	440.09±35.06 µg-at N/l (6.16 mg/l NO_2-N)
3. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง	9.44±3.06 µg-at N/l (0.13 mg/l NO_2-N)	395.38 ±25.49 µg-at N/l (5.54 mg/l NO_2-N)

- ความเป็นพิษของไนเตรท

ความเข้มข้นของไนเตรทที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำระยะ Postlarva อยู่ในช่วง 30-50 mg/l NO_3-N (Catedral *et al.*, 1977) เมื่อใช้เกณฑ์นี้เปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ พบว่า ระดับความเข้มข้นของไนเตรททั้ง 3 ชุดการทดลองอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำ แต่การเปลี่ยนแปลงของไนเตรทในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียอยู่ในช่วงกว้างและอยู่ในระดับที่สูงกว่าระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกทั้ง 2 ระบบ (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของไนเตรท โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลองที่	ความเข้มข้นของไนเตรท	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1. ระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ	21.84±2.09 µg-at N/l (0.31 mg/l NO_3-N)	731.56±47.97 µg-at N/l (10.24 mg/l NO_3-N)
2. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง	5.26±2.10 µg-at N/l (0.07 mg/l NO_3-N)	440.09±35.06 µg-at N/l (6.16 mg/l NO_3-N)
3. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง	21.58±2.89 µg-at N/l (0.30 mg/l NO_3-N)	304.10±34.17 µg-at N/l (4.26 mg/l NO_3-N)

จะเห็นได้ว่าระดับแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียสูงกว่าระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุป

1. ระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนสามารถลดความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย และไนไตรท์ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย และระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของไนเตรทในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อนกับการเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบการกำจัดของเสีย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่าย กับระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ชนิดของสาหร่ายในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลและบนตะแกรงส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) รองลงมาเป็นไดอะตอม (Diatom) และสาหร่ายสีเขียว (Green algae) ตามลำดับ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลที่พบได้หลากหลายมากที่สุดคือ *Oscillatoria* และ *Phormidium* ส่วนปริมาณของสาหร่าย พบว่าระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน มีปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ระบบ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ปริมาณของสาหร่ายทั้งหมด พบว่าระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน มีปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตในตู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำมากที่สุดเมื่อเปรียมเทียบทั้ง 3 ระบบ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

2. การเลี้ยงสัตว์ทะเลที่มีระบบการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง สามารถลดความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่ไม่มีระบบการกำจัดของเสีย ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ชนิดของสาหร่ายในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลและบนตะแกรงส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน รองลงมาเป็นไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียว

ตามลำดับ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลที่พบได้หลากหลายมากที่สุดคือ *Oscillatoria* ส่วนปริมาณของสาหร่ายที่เจริญเติบโตในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลและบนตะแกรง พบว่าในระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง กับระบบที่มีการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ฉะนั้นในการประยุกต์นำเอาระบบการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนไปใช้กับระบบตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล ควรใช้ระบบการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนโดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน และขูดสาหร่ายออก 4 สัปดาห์ต่อครั้ง เพราะจะไม่เสียเวลา ค่าใช้จ่าย และช่วยลดแรงงานในการขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง

3. การเปลี่ยนแปลงชนิดของสาหร่ายที่เจริญบนตะแกรงในระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และขูดสาหร่ายออกจากตะแกรง 4 สัปดาห์ต่อครั้ง พบว่าส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน รองลงมาเป็นไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียว ตามลำดับ ชนิดของสาหร่ายที่พบทุกสัปดาห์ทั้งสองระบบ คือ *Oscillatoria amphigranulata, O. chorina, O. tennue, Amphora* sp. และ *Navicula* sp.1

เอกสารอ้างอิง

กาญจนกาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. *สาหร่าย*, 343 หน้า. กรุงเทพฯ : คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต. 2537. *การใช้สาหร่าย Gracilaria fisheri ช่วยลดปริมาณ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2535. *คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ*, 202 หน้า. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ.

ชาญยุทธ คงภิรมย์ชื่น. 2533. *คู่มือปฏิบัติการคุณภาพน้ำทางการประมง*, 85 หน้า. ชลบุรี : คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ทิพวรรณ แผ้วสกุล. 2530. *การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ โดยสาหร่ายในระบบหมุนเวียนของถังปลานิล.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรเทพ วิรัชวงศ์. 2538. *การจัดการแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, เจ เอฟ เทอร์นบอล และชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2537. *คู่มือการเลี้ยงและการป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ*, 98 หน้า. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง.

พิษณุ นาอนันต์. นักวิชาการประมง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย. 2542. ผู้ให้สัมภาษณ์, 6 ธันวาคม 2542.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. *การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์อื่นๆ : เล่มที่ 1 การจัดการคุณภาพน้ำ*, พิมพ์ครั้งที่ 3. 214 หน้า. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. *คุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับวิจัยทางการประมง*, 310 หน้า. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย.

รวมทรัพย์ ชำนาญธนา. 2540. *การเลี้ยง Dunaliella salina ในช่วงระยะให้แสงที่แตกต่างกัน.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราห์ เทพาหุดี. 2534. *การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนและคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้ง.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภูษิต มัณฑะจิตร. 2540. *การวิเคราะห์สถิติและการออกแบบการทดลอง (ทางวาริชศาสตร์).* 205 หน้า. ชลบุรี : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์. 2538. *ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายผมนาง Gracilaria fisheri ร่วมกับปลานิลแดง Oreochromis niloticus.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศักดิ์อนันต์ ปลาทอง. 2534. *Nitrogen uptake and Assimilation โดย Marine Phytoplankton. รายงานวิชา Marine Productivity.* 9 หน้า. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศักดิ์อนันต์ ปลาทอง. อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2543. ผู้ให้สัมภาษณ์, 31 ตุลาคม 2543.

ศิริวรรณ คิดประเสริญ. 2538. *การใช้สาหร่ายทะเลช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนั่น ร่วมรักษ์ และ คุนิฮิโกะ ชิเงโน่. 2518. การเลี้ยงกุ้งในญี่ปุ่นและไทย. 130 หน้า. กรุงเทพ : สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ.

สมถวิล วัลลิสุต. 2531. *การศึกษาการแพร่กระจายและคัดเลือกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่ตรึงไนโตรเจนได้เพื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริ ทุกข์วินาศ. 2528. *วิธีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง,* 157 หน้า. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 4/2528. สงขลา : สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.

สุภาพร แซ่อึ่ง. 2539. *การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon) แบบพัฒนาโดยใช้เพลงก์ตอนพืช.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุริยะ จันทร์แก้ว. 2540. *ผลของแอมโมเนียและความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโต ระยะเวลาการลอกคราบ และปริมาณแคลเซียมในเปลือกของกุ้งกุลาดำ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adey, W. H. and Loveland, K. 1991. *Dynamic Aquaria,* 643 p. San Diego : Academic Press.

Akiyama, D. M. 1990. The use of soybean meal to replace white fish meal in commercially processed *Penaeus monodon* Fabricius feeds in Taiwan. *Proceedings of the III International Symposium on Feeding and Nutrition in Fish,* Toba, Japan, *28 August -1 September 1989,* pp. 289 – 299. (Abstract)

Alcaraz, G., Chiappa-Carrara, X. and Vanegas, C. 1997. Temperature tolerance of *Penaeus setiferus* postlarvae exposed to ammonia and nitrite. *Aquat. - Toxicol.* 39 : 345 – 353. (Abstract)

Alcaraz, G., Chiappa-Carrara, X., Espinoza, V. and Vanegas, C. 1999. Acute effect of ammonia and nitrite on respiration of *Penaeus setiferus* postlarvae under difference oxygen lavels. *J. World Aquacult. Soc.* 39 : 98 – 106.

Aliotta, G. and Pollio, A. 1982. Long term effects of copper upon physiological processes and growth of *Chlorella saccharophila* (Krueger) and *Cyanidium caldarium* (Geitler). *G. Bot. Ital.* 116 : 123 – 129. (Abstract)

Allan, G. L., Maguire, G.B. and Hopkins, S. J. 1990. Acute and chronic toxicity of ammonia to juvenile *Metapenaeus macleayi* and *Penaeus monodon* and the influence of dissolved oxygen levels. *Aquaculture* 91 : 265-280.

Andrews, C. 1992. *The Ornamental Fish Trade and Fish Conservation,* INFOFISH International 2 : 25-29.

APHA. 1985. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* (6^{th} ed.), 1,270 p. Washington., D.C. : American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation Published.

Bassleer, G. 1994. *The International Trade in Aquarium / Ornamental fish.* INFOFISH International 5 : 45-47.

Boyd, C. E. 1982. *Management for Pond Fish Culture,* 318 p. New York : Elsevier Scientific Publishing.

Boyd, C. E. 1990. *Water Quality in Pond for Aquaculture,* 482 p. Alabama : Birmingham Publishing.

Catedral, F. F., Coloso, R., Valera, N., Casalmir, C. M. and Quibuyen A. T. 1977. Effect of some physico – chemical factors on the survival and growth of *Penaeus monodon* – postlarvae *Q. Res. Rep. Aquacut. Dep. Southeast Asian Fish. Dev. Cent.* 1 : 13-16. (Abstract)

Cavalli, R. O., Wasielesky, W. Jr., Franco, C. S. and Miranda – Filho, K. 1996. Evaluation of the short – term toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to *Penaeus paulensis* (Crustacea, Decapoda) broodstock. *Arq. Biol. Techol.* 39 : 567 –575. (Abstract)

Chen, J. C. and Lei, S. C. 1990. Toxicity of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* juveniles. *J. World Aquacult. Soc.* 21 : 300 – 306.

Chen, J. C. and Lin, C. Y. 1991. Lethal effects of ammonia and nitrate on *Penaeus penicillatus* juveniles at low salinity levels. *Com. Biochem. Physiol., C.* 100 : 477 – 482. (Abstract)

Chen, J. C., Liu, P. C. and Lei, S. C. 1990a. Toxicity of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. *Aquaculture* 89 : 127 – 137.

Chen, J. C., Ting, Y. Y., Lin, J. N. and Lin, M. N. 1990b. Lethal effects of ammonia and nitrate on *Penaeus chinensis* juveniles. *Mar. Biol.* 107 : 427 – 431.

Craggs, R. J., Mcauley, P. J. and Smith, V. J. 1997. Wastewater nutrient removal by marine microalgae grown on a corrugated raceway. *Water Res.* 31 : 1701 – 1997.

Desikachary, T. V. 1959. *Cyanophyta.* (1st ed.), 686 p. New Delhi : Indian Council of Agriculture Research.

Emmens, C. W. 1988. *Marine and Invertebrates in Your Own Home*, 192 p. Sydney : T.F.H. Publication.

Emmens, C. W. 1995. *Miniature Reef Aquarium in Your Home*, 128 p. Boston : T.F.H. Publication.

Escobal, P.R. 1996. *Aquatic System Engineering : Device and How They Function*, 206 p. California : Dimension Engineering Press Publication.

Eyster, C. 1964. Micronutrient requirements for green plant, especially algae. In D. F. Jackson. (ed.), *Algae and Man* pp. 87 – 119. New York : Plenum Press.

Fogg. G. E. 1964. Environmental conditions and the pattern of metabolism in algae. In D. F. Jackson. (ed.), *Algae and Man.*, pp. 77 – 85. New York : Plenum Press.

Goertemiller, T. 1988. Great Barrier Reef Aquarium. In E. Eager and K. Peterson. (eds.), Dawning of the Algae of Aquarium. *Australian Science Magazine.* 3:18-21.

Graham, L. E. and Wilcox, L. W. 2000. *Algae.* 698 p. New Jersey : Prentice Hall.

Hargreaves, V. B. 1981. *The Tropical Marine Aquarium*, 158 p. New York. : McGraw - Hill Book Company.

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

Harrison, W. G. 1983. The time – course of uptake of inorganic and organic nitrogen compounds by phytoplankton from the Eastern Canadian Arctic: A comparison with temperate and tropical populations. *Limnol. Oceanogr.* 28 : 1231 – 1237.

Herbst, D. B. and Blinn, D. W. 1998. Experimental mesocosm studies of salinity effects on the benthic algal community of saline lake. *J. Phycol.* 34 : 772 – 778.

Hovance, T. A. and Delong, E. F. 1996. Comparative analysis of nitrifying bacteria associated with freshwater and marine aquarium. *Appl. Environ. Microbiol.* 62 : 2888 - 2896.

Hurd, C. L., Harrison, P. J. and Druehl, L. D. 1996. Effect of seawater velocity on inorganic nitrogen uptake by morphologically distinct froms of *Macrocystis integrifolia* from wave-sheltered and exposed sites. *Mar. Bio.* 126 : 205 – 214.

Jinnenez, D. R. M., Romazanov, Z. and Garcia, R. G. 1996. *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilter for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents. *Hydrobiologia* 326-327 : 61-66. (Abstract)

Kanda, J., Saino, T. and Hattori., A. 1985. Nitrogen uptake by natural population of phytoplankton and primary production in the Pacific Ocean; Regional variability of uptake capacity. *Limnol. Oceanogr.* 30 : 987 – 999.

Kaplan, D., Richmond, A. E., Dubinsky, Z. and Aaronson, S. 1986. Algal nutrition . In A. Richmond (ed.), *CRC Handbook of Microalgae Mass Culture*, pp. 147 – 198. Florida : CRC Press.

Kilham, P. and Hecky, R. E. 1988. Comparative ecology of marine and freshwater phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 33 : 776 – 795.

Laohavisuti, N. 1997. *Aquatic Plant for Improving Water Quality in Aquaria Fish Culture.* Degree of Doctor. Dissertation, Asian Institute of Technology.

Levinton, J. S. 1982. *Marine Ecology,* 525 p. New Jersey : Prentice – Hall Inc.

Little, Brown and Company, 1994. *The Macdonald Encyclopedia of Aquaria,* 294 p. London : Little, Brown and Company (UK) Limited.

Mancebo, V. J. 1992. A syndrome of mass mortalities in the commercial production of *Penaeus monodon* : A deadly virus or environmental pollution. *Aquaculture' 1992 growing toward the 21st century.* p. 153. (Abstract)

Mayo, A. W. 1997. Effect of temperature and pH on the kinetic growth of unialga *Chlorella vulgaris* cultures containing bacteria. *Water Environ. Res.* 69 : 64 – 72.

McCarthy, J. J. 1972. The uptake of urea by marine phytoplankton. *J. Phycol.* 8 : 216 – 222.

McGowan, S. and George, B. 1999. Note : Ancient blue - green blooms. *Limnol. Oceanogr.* 44 : 436 – 439.

Mehta, B. J. and Chauhan, V. D. 1988. Physiological and nutritional requirements of marine cyanobacterium *Oscillatoria laetevirens* (Crouan) Gom. *Indian J. Mar. Sci.* 17 : 37 – 39. (Abstract)

Mills, D., Keeley, D. and Evans, T. 1987. *The Tetra Encyclopedia of the Marine Aquarium,* 208 p. Singapore : Tetra Press.

Moe, M. A. 1992. *The Marine Aquarium Reference System and Invertebrates*, 512 p. Florida : Green Turtle Publication.

Moreno, J., Rodriguez, H., Varas, M. A., Rivas, J. and Guerrero, M. G. 1994. Nitrogen fixing cyanobacteria as source of phycobiliprotein pigment : Composition and growth performance of ten filamentous heterocystous stains. *Proceedings of the II Asia Pacific Conference on Algal Biotechnology*. Rasa Sentosa Resort, Singapore, 25 – 27 April 1994. pp. 17 – 23.

Morrissey J., Jones, M. S. and Harriott, V. 1988. Nutrient Cycling in the Great Barrier Reef. *Proceedings of the VI International Coral Reef Symposium*, In J. H. Choat., D. Barnes., M. A. Borowitzka., J. C. Coll., P. J. Davies and P. Flood (eds.), Australia, 8-12 August 1988, pp. 563-568.

Ning, X., Cloern, J. E. and Cole, B. C. 2000. Note spatial and temporal variability of picocyanobacteria *Synechococcus* sp. in San Francisco Bay. *Limnol. Oceanogr.* 45 : 283 – 295.

Nona, S. R., Carlos, A., Duarte, M. and Agusti, S. 2000. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. *Limnol. Oceanogr.* 45 : 591 – 600.

Ohno, M. 1979. Culture and field survey of *Sargassum piluliferum. Rep. Usa Mar. Biol. Inst. Kochi Univ.* 1 : 25 – 32. (Abstract)

Ojeda, A., Afonso, A. and Sacristan, D. 1985. Effects of salinity, light and temperature on the growth of the algae *Chlorella* sp. *Inf. Tec. Inst. Esp. Oceanogr.* 21 : 11. (Abstract)

Okauchi, M., Kobayashi, M. and Mizukami, Y. 1997. Water quality management by unicellular algae in shrimp larviculture ponds. *US.-Japan Aquaculture Panel Symp. : Interaction Between Cultured Species and Naturally Curring Species in the Environment,* In B. J. Keller., P. K. Park., J. P. McVey., K. Takayanagi and K. Hosoya (eds.), Corpus Christi, Texas, USA., 8-10 October 1995, UNJR Tech. Rep. no. 24 : 59 - 64. (Abstract)

Prescott, G. W. 1962. *Algae of the Western Great Lakes Area : With an Illustrated Key to the Genera of Desmids and Freshwater Diatoms*, 975 p. Iowa : Wm. C. Brown Co. Inc.

Pryor, W. W., Morris, D. J. and Simmons L. G. 1988. An evaluation of supplementing bacterial filtration with algae scrubbers in a recirculating marine aquarium. *Zoo Biol.* 7 : 281 – 288.

Rezq, T. S., Musallam. L., Shimmari, J. and Dias, P. 1999. Optimum production condition for different high quality marine algae. *Hydrobiologia* 403 : 97 – 107.

Rouen, K.J., Leadbeater, B. S. C. and Reynolds, C. S. 1997. The growth response of *Synura petersenii* (Synurophyceae) to photon flux density, temperature and pH. *J. Phycol.* 36 : 233 – 243.

Rubin, L., Jincai, M., Weiqi, M., Fuhua, C. and Tianyi, C. 2000. Study on cultivating *Spirulina* in diary effuent. *Mar. Sci. Bull.* 19 : 68 – 72. (Abstract)

Saha, S. B., Bhattacharyya, S. B. and Choudhury, A. 1999. Preliminary observation on culture of *Penaeus monodon* in low-saline waters. *Naga.* 22 : 30 – 33. (Abstract)

Solorzano, L. and Strickland, J. D. 1968. Polyphosphate in sea water. *Limnol. Oceanogr.* 13 : 515 – 518.

Stein, J. R. 1975. *Handbook of Phycological Methods Culture : Methods and Growth Measurements.* 448 p. New York : Cambridge University Press.

Stickney, R. R. 1994. *Principles of Aquaculture* 502 p. New York : John Wiley & Sons, Inc.

Strickland, J. D. and Parsons., J. J. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis.* Bull 167 (2nd ed.), 284 p. Ottawa. : Fisheries Research Board of Canada.

Stuecker, D.K., Gustafson, D.E. and Merrell, J. R. 1997. Excystment and growth of Chyrosophytes and Dinoflagellates at low temperature and high salinities in Antarctic Sea – Ice. *J. Phycol.* 33 : 585 – 595.

Sultana, N. and Hossain, M. A. 1989. Mass scale mono culture of marine unicellular algae *Chlorella minutissima.* under different salinity. *Indian J. Fish.* 36 : 307 – 313. (Abstract)

Tadamasa, H. and Yoshikazu, S. 1996. A screening method for antifouling substances using spores of the fouling macroalgae *Ulva conglobata* Kjellman. *Fish. Sci.* 62 : 955 – 958.

Tookwinas., S. 1993. Intensive marine shrimp farming techniques in Thailand. *Proceedings of the I International Symposium on Aquaculture Technology and Invesment Opportunities.* Riyadh - Saudi – Arabia, pp. 230 - 240.

Tullock, J. H. 1994. *Successful Saltwater Aquariums*, 162 p. Harbor City : A Coralife Publication.

Valenti, R. J. 1968. *The Saltwater Aquarium Manual*, 162 p. New York : Aquarium Stock Company.

Wasielesky, W. J., Marchiori, M. A. and Santos, M. H. S. 1994. Ammonia effect on the growth of the shrimp postlarvae *Penaeus paulensis*, Perez – Farfante, 1967 (Decapoda, Penaeidae). *Nauplius* 2 : 99 – 105. (Abstract)

Wheeler, P. A. and Kirchman, D. L. 1986. Utilization of inorganic and organic nitrogen by bacteria in marine systems. *Limnol. Oceanogr.* 31 : 998 – 1009.

Yamaji, I. 1984. *Illustrations of the Marine Plankton of Japan*, (3rd ed.), 538 p. Osaka : Hoikusha Publishing Co.

Zar, J. H. 1996. *Biostatistical Analysis.* (3rd ed.), 918 p. Singapore : Simon & Schuster Asia.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวก ก ที่ 1 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท (μg at - N/l) โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด	แอมโมเนีย	ไนไตรท์	ไนเตรท
1	643.51 ± 87.33^{a}	86.08 ± 20.17^{a}	356.97 ± 63.93^{a}	200.45 ± 43.33^{a}
2	824.53 ± 109.32^{a}	42.12 ± 15.50^{ab}	332.23 ± 74.79^{a}	450.18 ± 107.14^{b}
3	346.12 ± 53.90^{b}	27.05 ± 10.04^{b}	59.51 ± 13.57^{b}	259.56 ± 60.17^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 2 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (μg at - N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่						
	0	1	2	3	4	5	6
1	11.93±0.00^{a}	253.82±5.65^{a}	407.55±6.98^{ab}	1073.49±103.78^{a}	804.89±46.78^{ab}	957.70±23.59^{a}	995.15±20.53^{a}
2	11.93±0.00^{a}	378.67±105.94^{a}	674.18±159.14^{a}	1105.74±197.00^{a}	993.18±165.75^{a}	1299.67±12.76^{b}	1308.32±94.5^{b}
3	11.93±0.00^{a}	279.44±62.66^{a}	191.96±12.69^{b}	186.69±71.34^{b}	457.56±51.90^{b}	613.65±50.12^{c}	681.59±89.90^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 3 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (μg at - N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่						
	0	1	2	3	4	5	6
1	0.46±0.00[a]	210.73±5.34[a]	223.74±8.58[a]	114.58±0.88[a]	20.72±1.82[a]	20.92±0.82[a]	11.43±0.62[a]
2	0.46±0.01[a]	188.05±53.91[a]	13.34±4.19[b]	62.42±10.49[b]	17.82±8.48[a]	7.85±1.65[b]	4.92±0.47[b]
3	0.46±0.02[a]	112.92±44.20[a]	10.25±0.92[b]	47.66±6.18[b]	6.55±0.28[a]	6.34±0.65[b]	5.17±0.22[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 4 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนไตรท์ (μg at - N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่						
	0	1	2	3	4	5	6
1	0.45±0.00^{a}	9.66±1.05^{a}	132.49±18.04^{a}	640.06±65.22^{a}	613.45±36.17^{a}	658.85±34.72^{a}	443.86±87.36^{a}
2	0.45±0.01^{a}	148.24±52.58^{b}	460.16±102.53^{b}	815.86±186.17^{a}	664.62±183.92^{a}	220.83±31.34^{b}	15.44±5.23^{b}
3	0.45±0.02^{a}	85.91±16.18^{ab}	128.98±16.13^{a}	105.00±64.92^{b}	73.85±10.06^{b}	10.72±5.13^{c}	11.66±6.80^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 5 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนเตรท (μg at - N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่						
	0	1	2	3	4	5	6
1	11.03±0.00[a]	33.43±1.79[a]	51.33±4.66[a]	318.85±96.86[a]	170.72±41.51[a]	277.93±11.05[a]	539.86±95.34[a]
2	11.03±0.00[a]	42.38±9.16[a]	200.68±68.16[b]	227.46±21.50[ab]	310.74±21.18[ab]	1070.99±28.36[b]	1287.96±90.84[b]
3	11.03±0.00[a]	80.61±19.31[b]	52.73±5.14[a]	34.03±7.03[b]	377.17±57.13[b]	596.59±48.63[c]	664.75±88.45[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 6 คุณภาพน้ำบางประการ โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ความเป็นกรด- เบส (Mean ± SE)	อุณหภูมิ (Mean ± SE) (°C)	ความเค็ม (Mean ± SE) (ppt)
1	7.6 - 8.1 (7.9 ± 0.1)	24.5 – 29.0 (26.2 ± 0.6)	30.0 – 31.0 (30.1 ± 0.2)
2	7.5 - 8.2 (7.9 ± 0.1)	25.0 – 30.0 (26.9 ± 0.7)	29.0 – 32.0 (30.2 ± 0.3)
3	8.0 -8.4 (8.1 ± 0.1)	25.0 – 30.0 (26.9 ± 0.7)	28 .0 – 33.0 (30.3 ± 0.5)

หมายเหตุ

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 7 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ น้ำหนักและความยาวของกุ้ง โดยเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีการกำจัดของเสียและมีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ ระยะเวลา 6 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการแลกเนื้อ	น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักกุ้งสุดท้าย (กรัม)	ความยาวกุ้งเริ่มต้น (เซนติเมตร)	ความยาวกุ้งสุดท้าย (เซนติเมตร)
1	66.7±6.7^{a}	1.627±0.028^{a}	6.2±0.4^{a}	11.3±0.4^{a}	9.7±0.2^{a}	11.3±0.4^{a}
2	60.0±0.0^{a}	1.464±0.042^{ab}	6.2±0.2^{a}	11.9±0.6^{a}	9.6±0.2^{a}	10.9±0.3^{a}
3	73.3±6.7^{a}	1.396±0.042^{b}	6.2±0.4^{a}	12.4±0.6^{a}	9.4±0.3^{a}	10.8±03^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ แต่ไม่มีการปลูกสาหร่ายก่อน

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยมีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ โดยมีการปลูกสาหร่ายก่อน

ตารางภาคผนวก ก ที่ 8 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท (µg at - N/l) โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด	แอมโมเนีย	ไนไตรท์	ไนเตรท
1	624.31 ± 73.44^{a}	56.89 ± 19.33^{a}	310.21 ± 70.23^{a}	257.21 ± 46.70^{a}
2	229.57 ± 41.83^{b}	12.49 ± 4.29^{b}	88.39 ± 27.61^{b}	128.69 ± 22.15^{b}
3	220.05 ± 38.22^{b}	12.30 ± 4.05^{b}	91.64 ± 25.73^{b}	116.12 ± 20.79^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางภาคผนวก ก ที่ 9 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (μg at - N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขุดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.75±0.02^{a}	186.46±3.50^{a}	558.13±58.26^{a}	938.04±53.32^{a}	1206.50±199.44^{a}	681.13±107.16^{a}	754.31±142.00^{a}	795.56±53.72^{a}	496.90±84.46^{a}
2	1.75±0.02^{a}	158.48±82.68^{a}	251.08±40.23^{b}	756.72±124.18^{ab}	118.47±58.93^{b}	78.77±49.75^{b}	311.67±71.46^{b}	217.20±32.86^{b}	172.01±85.18^{b}
3	1.75±0.02^{a}	245.86±23.54^{a}	236.32±38.09^{b}	704.33±58.02^{b}	157.53±27.79^{b}	158.53±30.75^{b}	264.61±41.16^{b}	59.23±16.47^{c}	152.32±14.52^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางภาคผนวก ก ที่ 10 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (μg at - N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.13±0.10[a]	157.06±5.80[a]	273.76±87.55[a]	25.04±2.18[a]	6.02±1.39[a]	7.87±0.73[a]	16.73±3.28[a]	18.10±7.12[a]	7.26±0.82[a]
2	0.13±0.10[a]	58.56±21.60[b]	4.72±0.96[b]	2.89±0.33[b]	0.47±0.33[b]	0.62±0.41[b]	5.92±0.44[b]	30.10±11.48[a]	9.01±2.49[a]
3	0.13±0.10[a]	58.44±19.51[b]	6.20±0.37[b]	4.85±2.78[b]	1.04±0.85[b]	1.85±0.48[b]	4.98±2.06[b]	19.04±12.30[a]	14.14±4.63[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางภาคผนวก ก ที่ 11 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนไตรท์ (μg at - N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขุดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.05±0.00^{a}	7.57±1.90^{a}	220.16±62.65^{a}	682.31±26.51^{a}	1,018.04±196.41^{a}	502.14±73.40^{a}	297.89±120.59^{a}	45.91±1.89^{a}	17.85±3.02^{a}
2	0.05±0.00^{a}	64.12±29.11^{a}	208.97±16.02^{ab}	440.09±35.06^{b}	7.81±1.59^{b}	5.26±2.10^{b}	13.22±2.67^{b}	19.84±5.84^{b}	36.16±16.73^{a}
3	0.05±0.00^{a}	145.85±44.80^{a}	208.55±36.16^{b}	395.38±25.49^{b}	12.19±1.31^{b}	12.34±3.91^{b}	9.44±3.06^{b}	15.45±4.16^{b}	25.55±6.05^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางภาคผนวก ก ที่ 12 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) ความเข้มข้นของไนเตรท (μg at-N/l) ในแต่ละสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขุดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.57±0.02^{a}	21.84±2.09^{a}	64.21±14.06^{a}	230.68±37.33^{a}	182.44±4.39^{a}	171.13±33.44^{a}	439.69±72.31^{a}	731.56±47.97^{a}	471.79±82.79^{a}
2	1.57±0.02^{a}	35.80±3.58^{ab}	37.39±20.66^{a}	313.74±35.19^{a}	110.19±34.95^{a}	72.88±26.24^{a}	292.54±42.05^{ab}	167.26±11.43^{b}	126.85±51.39^{b}
3	1.57±0.02^{a}	41.57±7.98^{b}	21.58±2.89^{a}	304.10±34.17^{a}	144.30±26.61^{a}	144.34±29.83^{a}	250.19±43.82^{b}	24.75±7.11^{c}	112.64±18.17^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางภาคผนวก ก ที่ 13 คุณภาพน้ำบางประการ โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขุดสาหร่ายจากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลอง	ความเป็นกรด-เบส (Mean±SE)	อุณหภูมิ (Mean±SE) (°C)	ความเค็ม (Mean±SE) (ppt)
1	7.3 - 8.1 (7.6 ± 0.0)	26.0 – 30.0 (26.6 ± 0.1)	27.0 – 31.0 (28.0 ± 0.1)
2	7.7 - 8.2 (8.0 ± 0.0)	26.0 - 31.5 (30.2 ± 0.1)	26.0 – 33.0 (29.1 ± 0.1)
3	7.7 - 8.2 (8.0 ± 0.0)	26.0 - 31.0 (30.2 ± 0.1)	27.0 – 34.0 (29.1 ± 0.1)

หมายเหตุ

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขุดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขุดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ตารางภาคผนวก ก ที่ 14 ค่าเฉลี่ย (Mean±SE) อัตราการรอด อัตราการแลกเนื้อ น้ำหนัก และความยาวของกุ้ง โดยเปรียบเทียบความถี่ในการขูด สาหร่าย จากระบบที่มีการกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลอง	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการแลกเนื้อ	ความยาวกุ้งเริ่มต้น (เซนติเมตร)	ความยาวกุ้งสุดท้าย (เซนติเมตร)	น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักกุ้งสุดท้าย (กรัม)
1	33.3±6.7[a]	1.809±0.019[a]	9.6±0.1[a]	11.2±0.1[a]	6.4±0.1[a]	12.3±0.3[a]
2	66.7±13.3[b]	1.827±0.255[a]	9.5±0.1[a]	10.7±0.3[a]	6.5±0.1[a]	13.0±0.9[a]
3	66.7±6.7[b]	1.966±0.256[a]	9.6±0.1[a]	10.6±0.4[a]	6.4±0.1[a]	11.9±0.9[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวตั้งเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสัตว์ทะเลโดยไม่มีระบบกำจัดของเสียทางชีวภาพ

ชุดการทดลองที่ 2 ขูดสาหร่าย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

ชุดการทดลองที่ 3 ขูดสาหร่าย 4 สัปดาห์ต่อครั้ง

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์น้ำ

1. แอมโมเนีย (Strickland and Parsons, 1972)

1.1 สารเคมี

1. สารละลายไฮโปคลอไรท์

ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) ซึ่งมีคลอรีนประมาณร้อยละ 5.5 ควรเก็บไว้ในภาชนะทึบแสง และไม่ควรเก็บไว้นาน

2. สารละลายอัลคาไลน์

ละลายโซเดียมซิเตรท 100 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม ในน้ำกลั่นกำจัดอิออนได้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

3. ออกซิไดซ์ซิ่งรีเอเจนท์ (Oxidizing reagent)

ผสมสารละลายอัลคาไลน์ 4 ส่วน กับสารละลายไฮโปคลอไรท์ 1 ส่วน สารละลายนี้จะเตรียมเมื่อต้องการใช้ในแต่ละครั้งและจะต้องเก็บไว้ในขวดทึบแสงปิดฝา

4. สารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ $[Na_2(NO)Fe(CN)_5.2H_2O]$

ละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ 1 กรัม ในน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 200 มิลลิลิตร

5. ฟีนอล รีเอเจนท์ (Phenol reagent)

ละลายฟีนอล 5 กรัม ในไดเอทธิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 93 จนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

6. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น ละลายแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4(SO_4)_2$ (อบที่ 110 $^{\circ}$ C 2 ชั่วโมง) 0.100 กรัม ในน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร (1 ml เท่ากับ 1,500 μg at – N/l)

สารละลายแอมโมเนียเจือจาง นำสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 10 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร (1 ml เท่ากับ 30 μg at – N/l)

7. การทำกราฟมาตรฐานของแอมโมเนีย

ดูดสารละลายแอมโมเนียเจือจาง 3.33, 6.67, 16.67, 33.33 และ 66.67 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของแอมโมเนียเท่ากับ 1, 2, 5, 10 และ 20 μg at – N/l

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1. ดูดตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 15 มิลลิลิตร

2. เติมฟีนอลรีเอเจนท์ 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน

3. เติมสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน

4. เติมออกซิไดซ์ซิ่งรีเอเจนท์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันทิ้งไว้ในที่มืดอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร

5. Blank และสารละลายมาตรฐาน ทำเช่นเดียวกันกับน้ำตัวอย่าง

2. ไนไตรท์ (Strickland and Parsons, 1972)

2.1 สารเคมี

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ 5 กรัม ในกรดเจือจาง (กรดเกลือ 50 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น 300 ลิตร) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร (เก็บไว้ในแก้วหรือขวดพลาสติก)

2. สารละลาย *N* - (1 - napthyl) -ethylenediamine dihydrochloride 0.50 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดแก้วสีชา (ถ้าสารละลายมีสีน้ำตาลต้องเตรียมใหม่)

3. สารละลายมาตรฐานไนไตรท์

ละลาย $NaNO_2$ 0.345 กรัม (อบที่ 110 °C 2 ชั่วโมง) เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1 ml เท่ากับ 5,000 μg at – N/l)

สารละลายไนไตรท์เจือจาง นำสารละลายไนไตรท์เข้มข้น 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร (1 ml เท่ากับ 50 μg at – N/l)

2.2. การทำกราฟมาตรฐานของไนไตรท์

ดูดสารละลายไนไตรท์เจือจาง 2, 4, 10, 20 และ 40 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของไนไตรท์เท่ากับ 1, 2, 5, 10 และ 20 $\mu g\ at-N/l$

2.3 การวิเคราะห์

1. ดูดตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 – 8 นาที

3. เติมสารละลาย *N* - (1 - napthyl) -ethylenediamine dihydrochloride 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และต้องทำการวัดภายใน 2 ชั่วโมง ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

4. Blank และสารละลายมาตรฐาน ทำเช่นเดียวกันกับน้ำตัวอย่าง

3. ไนเตรท (Strickland and Parsons, 1972)

3.1 สารเคมี

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาไนไตรท์ในน้ำ

2. สารละลาย *N* - (1 - napthyl) -ethylenediamine dihydrochloride เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาไนไตรท์ในน้ำ

3. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 125 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร (เก็บในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก)

4. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง

เจือจางสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 25 มิลลิลิตร ปรับให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

5. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)

ละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 20 กรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

6. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 2 นอร์มัล

กรดไฮโดรคลอริก 25 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 500 มิลลิลิตร

7. แคดเมียมฟิลลิ่ง (cadmium filling)

ใช้โลหะแคดเมียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร

การเตรียม column cadmium

- ชั่งแคดเมียม 50 กรัม ใส่ลงในฟลาสก์ที่มีกรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มัล 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ใช้แท่งแก้วคนเป็นครั้งคราว

- รินส่วนที่เป็นของเหลวออก ล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้งจนกระทั่งกรดไฮโดรคลอริกถูกล้างหมดไป

- เติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตลงไป 10 มิลลิลิตร แกว่งไปมาจนกระทั่งสีฟ้าของสารละลายหมดไป ผงแคดเมียมจะมีสีแดง (หากเกิดตะกอนแดงให้ดูดออกด้วยหลอดหยดระวังอย่าให้ผงแคดเมียมที่เคลือบผิวแล้วสัมผัสอากาศ)

- ใช้ดีมดีบใยแก้ว (glass wool) ใส่ลงใน column เกลี่ยใยแก้วให้อยู่ที่ก้นของ column เพื่อรองรับผงแคดเมียม แล้วเติมน้ำกลั่นหรือสารละลายแอมโมเนียมเจือจางลงใน column จนเต็ม

- ตักผงแคดเมียมที่เคลือบผิวด้วยคอปเปอร์ซัลเฟตลงใน column ระวังมิให้ผงแคดเมียมอัดตัวแน่นเกินไปและควรให้น้ำเต็ม column อยู่เสมอ เพื่อให้แคดเมียมถูกอากาศน้อยที่สุด

- เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง ปริมาณ 50 มิลลิเมตร ปรับอัตราการไหลผ่าน column ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ภายในเวลา 8 – 12 นาที (ถ้าอัตราการไหลเร็วหรือช้ากว่าที่กำหนด ให้ทำการปรับระดับของสายยางที่ไหลออก)

- ใส่ใยแก้วเหนือผงแคดเมียม แล้วล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมเจือจางอีกครั้ง หากไม่ใช้งานทันทีจะต้องเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง

- เมื่อใช้งาน column ได้ประมาณ 100 ตัวอย่าง ต้องเคลือบผงแคดเมียมใหม่ โดยล้างด้วยกรดเกลือร้อยละ 5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 300 มิลลิลิตร เททิ้ง 2 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น (200 – 300 มิลลิลิตรต่อครั้ง) จนน้ำใสและค่า pH มากกว่า 5 เทน้ำทิ้งให้แห้งแล้วเคลือบผิวใหม่ตามวิธีข้างต้น

8. สารละลายมาตรฐานไนเตรท

ละลาย KNO_3 1.02 กรัม (อบที่ 110 $^{\circ}C$ 2 ชั่วโมง) เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1 ml เท่ากับ 1,000 μg at – N/l)

สารละลายไนเตรทเจือจาง นำสารละลายไนเตรทเข้มข้น 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร (1 ml เท่ากับ 20 μg at – N/l)

3.2 การทำกราฟมาตรฐานของไนเตรท

ดูดสารละลายไนเตรทเจือจาง 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นกำจัดอิออนจนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของไนเตรทเท่ากับ 1, 2, 5, 10 และ 20 μg at – N/l

3.3 การวิเคราะห์

1. ดูดตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C 50 มิลลิลิตร เติมแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 1 มิลลิลิตร เทสารละลายลงใน column

2. เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 – 8 นาที

3. เติมสารละลาย *N* - (1 - napthyl) –ethylenediamine dihydrochloride 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และต้องทำการวัดภายใน 2 ชั่วโมง ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

4. Blank และสารละลายมาตรฐาน ทำเช่นเดียวกันกับน้ำตัวอย่าง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายสมรักษ์ รอดเจริญ

วัน เดือน ปีเกิด 25 สิงหาคม พ.ศ. 2517

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2540

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนพัฒนาอาจารย์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล