การใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*)
ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

Use of Seaweed (*Acanthophora spicifera*) and Green Mussel (*Perna viridis*) for the Treatment of Effluent from Intensive Culture of Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*)

ทิพย์วรรณ เชาวลิต

Tipawan Chauwalit

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา
ผู้เขียน	นางสาวทิพย์วรรณ เชาวลิต
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

…………………………………………….
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

…………………………………………….
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ)

คณะกรรมการสอบ

………………………..ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ)

…………………….................... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา)

…………………………….......... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพดี ชัยสุขสันต์)

……………………… .... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

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

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

………………………………………
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

ผู้เขียน นางสาวทิพย์วรรณ เชาวลิต

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่หนึ่งเป็นการทดลองเลี้ยงสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 0.1, 1 และ 10 กรัม/ลิตร และเลี้ยงหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14, 4.28 และ 8.56 กรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 4 วัน โดยมีการเติมอากาศตลอดการทดลอง พบว่าชุดทดลองที่ใช้สาหร่ายมงกุฎหนามและหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร และ 2.14 กรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา การทดลองที่สองเป็นการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามและหอยแมลงภู่ โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุม ชุดทดลองที่บำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามร่วมกับหอยแมลงภู่ในตู้เดียวกันเป็นเวลา 8 วัน และชุดทดลองที่บำบัดด้วยหอยแมลงภู่ในตู้ที่ 1 เป็นเวลา 4 วัน ตามด้วยการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามในตู้ที่ 2 อีก 4 วัน พบว่าชุดทดลองที่บำบัดด้วยหอยแมลงภู่ในตู้ที่ 1 เป็นเวลา 4 วัน ตามด้วยการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามในตู้ที่ 2 อีก 4 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาได้ดีกว่าชุดทดลองที่บำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามร่วมกับหอยแมลงภู่ในตู้เดียวกันเป็นเวลา 8 วัน และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอย และบีโอดี ได้ร้อยละ 82.00 ± 1.59, 79.01 ± 1.70, 94.08 ± 1.07, 66.02 ± 6.16, 84.99 ± 0.89, 87.00 ± 1.72, 69.00 ± 1.77 และ 9.12 ± 1.38 ตามลำดับ

การทดลองที่สามเป็นการศึกษาการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่ในตู้ที่ 1 และสาหร่ายมงกุฎหนามในตู้ที่ 2 ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำจากตู้ที่ 1 ไปยังตู้ที่ 2 ทุก 4 วัน เป็นระยะเวลา 88 วัน พบว่าการเพาะเลี้ยงโดยใช้ระบบดังกล่าวทำให้หอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามมีอัตราการเจริญเติบโต (ADG) เท่ากับ 0.78 กรัม/วัน และ 3.89 กรัม/วัน ตามลำดับ

Thesis Title	Use of Seaweed (*Acanthophora spicifera*) and Green Mussel (*Perna viridis*) for the Treatment of Effluent from Intensive Culture of Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*)
Author	Miss Tipawan Chauwalit
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2009

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the efficiency of a seaweed (*Acanthophora spicifera*) and green mussel (*Perna viridis*) on the treatment of effluent from intensive culture of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). Three experiments were conducted. The first experiment consisted of a control group and 6 treatment groups, including 0.1, 1 and 10 g seaweed/l and 2.14, 4.28 and 8.56 g mussel/l. After 4 days of aeration, it was found that the groups with 1 g seaweed/l and 2.14 g mussel/l gave the most efficient treatment. In the second experiment, the quality of the effluent was studied after a combined treatment with the seaweed and the green mussel. There were 2 treatment groups and a control group. One treatment group had the effluent treated with the seaweed and the green mussel in the same aquarium for 8 days. Another treatment group consisted of a 4-day treatment in an aquarium with the green mussel, followed by another 4-day treatment in second aquarium with the seaweed. It was found that the group with a consecutive treatment of effluent with the green mussel and the seaweed gave a better reduction of chlorophyll a, total ammonia, nitrite, nitrate, total nitrogen, orthophosphate, total suspended solids and BOD (82.00$\pm$1.59%, 79.01$\pm$1.70%, 94.08$\pm$1. 07%, 66.02$\pm$6.16%, 84.99$\pm$0.89%, 87.00$\pm$1.72%, 69.00$\pm$1.77% and 9.12$\pm$1.38% respectively).

The third experiment studied on the growth of green mussel and seaweed combined culture using the effluent from intensive culture of Pacific white shrimp. The effluent was treated with 2.14 g green mussel/l in the first aquarium for 4 days then drained to the second aquarium containing 1 g seaweed/l for another 4 days. After 88 days of culture period, the average daily gain (ADG) of green mussel and seaweed were 0.78 and 3.89 g/day, respectively.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการตารางภาคผนวก	(9)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1. บทนำ	
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	17
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	
วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	18
วิธีดำเนินการวิจัย	21
การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	25
การวิเคราะห์ข้อมูล	25
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	27
4. สรุปผลการทดลอง	56
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย	57
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	
ก	66
ข	76
ค	86
ง	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
จ	99
ฉ	110
ประวัติผู้เขียน	114

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ	4
2	คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวในช่วงการจับกุ้ง	4
3	คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่เป็นระยะเวลา 4 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	27
4	ประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาเป็นระยะเวลา 4 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด))	28
5	อัตราการตายของหอยแมลงภู่ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาเป็นระยะเวลา 4 วัน	32
6	คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนาม (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	33
7	ประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด))	34
8	คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นระยะเวลา 8 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	36
9	ประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาเป็นระยะเวลา 8 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด))	37
10	อัตราการตายของหอยแมลงภู่ที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นระยะเวลา 8 วัน	40
11	อัตราการตายของหอยแมลงภู่ที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.14 กรัม/ลิตร ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม(แยกตู้) เป็นระยะเวลา 88 วัน	42

รายการตารางภาคผนวก

ตารางที่		หน้า

ตารางที่		หน้า
ก.1	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	67
ก.2	ปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	68
ก.3	ปริมาณไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	69
ก.4	ปริมาณไนเตรท ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	70
ก.5	ปริมาณไนโตรเจนรวม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	71
ก.6	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	72
ก.7	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	73
ก.8	ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	74
ก.9	ค่าความเค็มในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	75
ข.1	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	77
ข.2	ปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	78
ข.3	ปริมาณไนไตรท์ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	79
ข.4	ปริมาณไนเตรท ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	80

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.5	ปริมาณไนโตรเจนรวม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	81
ข.6	ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	82
ข.7	ปริมาณของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	83
ข.8	ปริมาณบีโอดี ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	84
ข.9	ค่าความเค็ม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน	85
ค.1	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	87
ค.2	ปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	88
ค.3	ปริมาณไนไตรท์ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	89
ค.4	ปริมาณไนเตรท ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	90
ค.5	ปริมาณไนโตรเจนรวม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	91

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.6	ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	92
ค.7	ปริมาณของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	93
ค.8	ปริมาณบีโอดี ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	94
ค.9	ค่าความเค็ม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน	95
ง.1	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎหนามที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ร่วมกับหอยแมลงภู่เป็นเวลา 88 วัน	97
ง.2	น้ำหนักของหอยแมลงภู่ที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา เป็นเวลา 88 วัน	98
จ.1	ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่ใช้เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นเวลา 88 วัน	100
จ.2	ค่าความเค็ม (ส่วนในพันส่วน) ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่ใช้เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นเวลา 88 วัน	101
จ.3	ค่าบีโอดี (มก./ล.) ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน	102
จ.4	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน	103

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

จ.5 ปริมาณแอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน 104

จ.6 ปริมาณไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน 105

จ.7 ปริมาณไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน 106

จ.8 ปริมาณไนโตรเจนรวม (มก./ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน 107

จ.9 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน 108

จ.10 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน 109

ฉ.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 0, 2.14, 4.28 และ 8.56 ก./ล. 111

ฉ.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 0, 0.1, 1 และ 10 ก./ล. 112

ฉ.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม ชุดทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามตู้เดียวกันและแยกตู้ 113

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของหอยแมลงภู่ที่ใช้ในการทดลอง	10
2	ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายมงกุฎหนามที่ใช้ในการทดลอง	13
3	การขนย้ายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง (ก) การปรับสภาพหอยแมลงภู่ก่อนการทดลอง (ข) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้หอยแมลงภู่ (ค) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม (ง) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม(แยกตู้) (จ) และชุดควบคุม (ฉ)	24
4	น้ำหนักของสาหร่ายมงกุฎหนามที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลาการทดลอง	43
5	ประสิทธิภาพการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	46
6	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	47
7	ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	48
8	ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทในน้ำทิ้งจากการ เลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	49
9	ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	50
10	ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	51

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	52
12	ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	53
13	ค่าความเค็มในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้)	54
14	อุณหภูมิในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้)	55

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

กุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) หรือเรียกกันทั่วไปว่า “กุ้งขาว” เป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้เป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก สำหรับประเทศไทย การเลี้ยงกุ้งขาวมีการขยายตัวขึ้นอย่างต่อเนื่อง สังเกตได้จากปัจจุบันพบว่าประเทศไทยมีอัตราการผลิตกุ้งขาวได้มากเป็นอันดับสองของโลกรองจากประเทศจีน (อุตสาหกรรมกุ้งไทย, 2552) การเลี้ยงกุ้งขาวส่วนใหญ่จะเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (กรมประมง, 2547) ซึ่งเป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่นใช้ลูกกุ้งจากโรงเพาะฟักมาปล่อยเลี้ยงอย่างเดียว มีการจำกัดพื้นที่บ่อให้มีขนาดเล็กลงคือบ่อเลี้ยงมีขนาดประมาณ 3-6.5 ไร่ ลึกประมาณ 1.2-1.5 เมตร ใช้เทคโนโลยีในการเลี้ยงที่ทันสมัย มีการให้อาหารสำเร็จรูปตลอดการเลี้ยง ใช้ยาและสารเคมีในการจัดการคุณภาพน้ำและป้องกันโรคเพื่อให้ได้ผลตอบแทนสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ซึ่งการเลี้ยงกุ้งด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปจะมีอาหารเพียงบางส่วนเท่านั้นที่กุ้งใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนที่เหลือจะตกค้างอยู่ในน้ำและพื้นบ่อ รวมทั้งของเสียที่ขับถ่ายออกจากตัวกุ้งและสารเคมีที่เหลือตกค้างจะทำให้ตะกอนดินและน้ำในบ่อเน่าเสีย ทำให้ต้องมีการจัดการคุณภาพน้ำโดยการถ่ายน้ำในบ่อออกไปภายนอกและนำน้ำใหม่ที่มีคุณภาพดีกว่าเข้ามาใช้ในบ่อแทน ผู้ประกอบการบางรายมีการสร้างบ่อตกตะกอนและบ่อพักน้ำโดยนำน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งมาผ่านการบำบัดด้วยคลอรีนและปูนขาวเพื่อฆ่าเชื้อโรคและปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น แต่เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น เพราะจากการศึกษาพบว่า ฟาร์มเลี้ยงกุ้งประมาณร้อยละ 93.5 ยังไม่มีบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งส่วนใหญ่ถูกระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัด (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) จนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ ปริมาณสัตว์น้ำ และคุณภาพน้ำบริเวณแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น บริเวณชายฝั่งทะเล และปากแม่น้ำมีปริมาณสัตว์น้ำลดลงอย่างมาก ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ แหล่งน้ำมีธาตุอาหารมากเกินไป เนื่องจากน้ำที่ถ่ายออกจะมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง มีการปนเปื้อนและเกิดการสะสมสารเคมีและธาตุอาหาร ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงซึ่งมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์และความสมดุลของระบบนิเวศ คุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมลง ทำให้สัตว์น้ำไม่สามารถปรับตัวได้ทัน เกิดอาการผิดปกติ มีการเจริญเติบโตลดลง อ่อนแอ และก่อให้เกิดการติดเชื้อจนเกิดโรคได้ ทำให้อัตราการตายสูงขึ้นตามไปด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงน้ำทิ้งจากการ

เลี้ยงกุ้งให้มีคุณภาพดีก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นต่อแหล่งน้ำ และเป็นการรักษาระบบนิเวศและสภาพแวดล้อมในพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงอีกด้วย

แนวทางในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งมีหลายวิธี เช่น การบำบัดน้ำทิ้งทางกายภาพ (physical process) ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดสิ่งที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ การกรองน้ำ และการทำให้ตกตะกอนโดยการสร้างบ่อพัก เป็นต้น การบำบัดน้ำทางเคมี (chemical process) ได้แก่ การเติมสารส้ม การใส่ปูนขาวเพื่อลดความเป็นกรด และกระบวนการบำบัดน้ำทางชีวภาพ (biological treatment) ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ควรนำมาใช้ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ใช้ต้นทุนต่ำ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการนี้จะใช้สิ่งมีชีวิตในการลดปริมาณสารอาหารหรือปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545) ซึ่งระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพเป็นระบบจัดการปรับปรุงคุณภาพน้ำระบบหนึ่งที่นักวิชาการเชื่อว่าสามารถลดปริมาณธาตุอาหารและสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงกุ้งหรือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอื่นๆได้ (Skjolstrup *et al*., 1998) โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้หอยแมลงภู่ในการกรองกินอาหารจากน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง (มนทกานติ ท้ามติ้น และคณะ, 2547) การใช้สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา (สันติ ปริยะวาที และคณะ, 2546) การใช้สาหร่ายหนาม (*Najas indica* (Willd) Chane) ซึ่งเป็นวัชพืชน้ำชนิดหนึ่งในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา (นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ, 2549) แม้กระทั่งการใช้ปลาหรือหอยบางชนิดในการลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น ซึ่งแนวทางในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบชีวภาพนั้นเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ การปลูกพืชน้ำจำพวกสาหร่ายจะสามารถช่วยดูดซับธาตุอาหารจากการขับถ่ายของเสียของกุ้ง นอกจากนี้สัตว์น้ำพวกหอยสองฝายังเป็นตัวกรองทางชีวภาพซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงให้ดีขึ้นสามารถนำกลับมาใช้ในบ่อเลี้ยงหรือปล่อยออกสู่ธรรมชาติได้ (ชีวิน อรรถสาสน์ และคณะ, 2545) การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งของระบบชีวภาพซึ่งประกอบด้วยหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และสาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) เพื่อเป็นแนวทางในการบำบัด และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาให้มีคุณภาพดีขึ้น สามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ หรือปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในบ่อเลี้ยงและแหล่งน้ำ และยังสามารถได้ผลผลิตสัตว์น้ำและสาหร่ายเป็นรายได้เสริมของเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย

2. การตรวจเอกสาร

2.1 การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในประเทศไทย

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา หมายถึง การเลี้ยงที่มีการปล่อยลูกกุ้งที่ความหนาแน่นสูง โดยนำลูกกุ้งจากโรงเพาะฟักมาปล่อยเลี้ยงอย่างเดียว มีการใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูป ยา และสารเคมีในการจัดการคุณภาพน้ำ และป้องกันโรคตลอดการเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลตอบแทนสูงสุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนานิยมเลี้ยงในบ่อที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีขนาดตั้งแต่ 3-6.5 ไร่ และมีความลึกของบ่อประมาณ 1.2-1.5 เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ปล่อยลูกกุ้งด้วยความหนาแน่นประมาณ 100,000-150,000 ตัวต่อไร่ (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547) มีการเพิ่มอากาศในน้ำโดยใช้เครื่องมือเพิ่มอากาศเป็นแกนกังหันหมุนในน้ำเพื่อช่วยให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงไปในน้ำได้ดีขึ้น และป้องกันการแบ่งชั้นของอุณหภูมิให้สม่ำเสมอเท่ากันทั้งบ่อ (Apud, 1988)

การเลี้ยงกุ้งขาวในพื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่จะใช้น้ำที่ความเค็มประมาณ 10 ส่วนในพันส่วนขึ้นไป และจะมีการถ่ายเปลี่ยนน้ำโดยใช้ระบบปิดที่ไม่มีการระบายน้ำออกจากบ่อจนกว่าจะจับกุ้ง ซึ่งอาจมีการเติมน้ำจากบ่อพักน้ำบ้างเพื่อชดเชยการระเหย หรือเป็นระบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อเลี้ยงไปบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ หรือระบบการเลี้ยงแบบกึ่งปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ้างประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำในบ่อเฉพาะในเดือนสุดท้ายของการเลี้ยง (ชะลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

2.2 น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง

น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง หมายถึง น้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆของการเลี้ยงกุ้ง และถูกถ่ายลงสู่คลองระบายน้ำหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพเปลี่ยนแปลงไป มวลน้ำที่ปล่อยออกมาอาจจะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมธรรมชาติ (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณิต ไชยาคำ, 2537)

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาจะมีน้ำทิ้งจากบ่ออยู่ 2 ช่วง คือ น้ำทิ้งระหว่างการเลี้ยง และน้ำทิ้งในช่วงที่จับกุ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับคุณภาพน้ำทิ้งและตะกอนดินจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของเกษตรกรในจังหวัดสงขลา จำนวน 25 บ่อ ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549 โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและตะกอนดิน

จากบ่อดินที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวขนาด 1.5-5.0 ไร่ ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในความหนาแน่น 100,000-240,000 ตัวต่อไร่ ผลจากการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวทุกบ่อมีค่าแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม ตะกอนแขวนลอย และค่าบีโอดี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์ น้ำชายฝั่ง กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ

พารามิเตอร์	หน่วย	คุณภาพน้ำทิ้ง[1]	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (เกณฑ์กำหนดสูงสุด)[2]
แอมโมเนียรวม	มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.	0.4-37.2	1.1
ไนโตรเจนรวม	มก.ไนโตรเจน/ล.	7.8-61.0	4.0
ฟอสฟอรัสรวม	มก.ฟอสฟอรัส/ล.	0.14-1.03	0.4
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	87-480	70
บีโอดี	มก./ล.	12.2-40.2	20

ที่มา : [1]พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ (2549) และ [2]กรมควบคุมมลพิษ (2544)

โดยมีค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งถึง 4.9, 7.6, 1.7, 3.6 และ 1.4 เท่า ตามลำดับ

กรมควบคุมมลพิษ (2549) ได้รายงานคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวในช่วงการจับกุ้ง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวในช่วงการจับกุ้ง

พารามิเตอร์	หน่วย	คุณภาพน้ำทิ้ง
ความเป็นกรด-ด่าง	-	8.6
บีโอดี	มก./ล.	22
สารแขวนลอย	มก./ล.	513
แอมโมเนีย	มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.	4.9
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	มก./ล.	0.01
ฟอสฟอรัสรวม	มก.ฟอสฟอรัส/ล.	1.2
ไนโตรเจนรวม	มก.ไนโตรเจน/ล.	18.4

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2549)

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาถึงแม้จะมีผลผลิตที่ดี และสามารถเลี้ยงด้วยความหนาแน่นที่สูง แต่ผลจากการจัดการบ่อที่ไม่เหมาะสม จะทำให้มีสารอาหารและของเสียสะสมอยู่ทั้งในน้ำทิ้งและตะกอนดินซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความเสื่อมโทรมของบ่อและสิ่งแวดล้อมที่รองรับการเลี้ยงกุ้ง เกษตรกรจึงควรให้ความสำคัญกับการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติให้มากขึ้น (พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ, 2549)

2.3 ผลกระทบจากการเลี้ยงกุ้งต่อคุณภาพน้ำและทรัพยากรชายฝั่ง

แหล่งน้ำธรรมชาติมีความอุดมสมบูรณ์ของปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมจากแหล่งนั้นๆ อยู่แล้วโดยไม่เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ การที่ปริมาณธาตุอาหารในแหล่งน้ำธรรมชาติมีเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น จากการระบายน้ำทิ้งที่ผ่านจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) อีกทั้งในปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งมีการเปลี่ยนแปลงจากการเลี้ยงแบบธรรมชาติมาเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาหรือการเลี้ยงแบบหนาแน่น (intensive) ซึ่งเป็นการเลี้ยงที่มีผลตอบแทนสูง การเลี้ยงแบบนี้มีการใช้สารเคมีทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ มีการใช้ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันรักษาโรค รวมทั้งการให้อาหารเสริมทำให้น้ำจากนากุ้งมีปริมาณธาตุอาหารสูง ซึ่งเกิดจากการให้อาหารกุ้งมากเกินไป รวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้ง และซากสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เช่น แพลงก์ตอน ปริมาณแพลงก์ตอนที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาบางครั้งสูงถึง 6 ล้านเซลล์ต่อลิตร ในขณะที่แหล่งน้ำชายฝั่งธรรมชาติมีแพลงก์ตอนประมาณ 10,000-500,000 เซลล์ต่อลิตรเท่านั้น

น้ำทิ้งจากนากุ้งประกอบด้วยธาตุอาหารได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่จะปล่อยออกสู่ทะเล ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรชายฝั่ง กล่าวคือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิด ได้สารประกอบที่มีแอมโมเนีย (NH_3) เป็นส่วนใหญ่ (ถ้า pH ต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส) NH_3 จะถูกออกซิไดซ์โดย nitrifying bacteria เปลี่ยนเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และ NO_2^- จะถูกย่อยสลายอีกขั้นหนึ่ง เปลี่ยนเป็นไนเตรท (NO_3^-) และถ้าอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจน NO_3^- จะถูกพวกแบคทีเรีย (denitrifying bacteria) เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ N_2 แล้ว N_2 ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือบรรยากาศซึ่งไนเตรทมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ เนื่องจากพืชเหล่านี้ใช้ไนเตรทในการปรุงแต่งอาหาร ถ้าในน้ำมีปริมาณไนเตรทมากอาจก่อให้เกิดการเพิ่มประชากรของพืชน้ำอย่างรวดเร็วได้ (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2538)

ฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟต มีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชและสัตว์ โดยเฉพาะพืชชั้นต่ำซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์แสงเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความ

จำเป็นต่อพืชโดยเฉพาะแพลงก์ตอนสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นการสร้างความอุดมสมบูรณ์แก่แหล่งน้ำ (ประเทือง เชาว์วันกลาง, 2534) ฟอสฟอรัสในน้ำมักอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ หรือรูปของออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) ได้แก่ $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-} โดยทั่วไปฟอสเฟตที่มีอยู่ในน้ำมักมีปริมาณน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร (แฟรดาซ์ มาเหล็ม, 2536)

การที่มีสารอาหารเพิ่มมากขึ้นย่อมทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ในแง่เกี่ยวกับธาตุอาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลดีต่อสัตว์น้ำวัยอ่อนที่หากินบริเวณชายฝั่งและสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ที่กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารรวมถึงสัตว์น้ำขนาดเล็กๆในห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้นไป แต่ในขณะเดียวกันก็อาจส่งผลเสียคือทำให้เกิดกระบวนการ eutrophication และก่อให้เกิดปรากฏการณ์ plankton bloom (Gerlach, 1982)

Eutrophication คือ กระบวนการที่สาหร่ายและพืชน้ำเจริญขึ้นอย่างรวดเร็วเต็มผิวน้ำเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมทางเคมีและกายภาพที่เหมาะสม มีผลทำให้คุณภาพของน้ำเสื่อมโทรมลง น้ำเปลี่ยนสีและมีกลิ่นเกิดขึ้น (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

Plankton bloom เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชเนื่องจากมีปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมทำให้น้ำทะเลนั้นมองเห็นเป็นสีแดง สีเขียว หรือน้ำตาลตามแต่ชนิดของแพลงก์ตอน ก่อให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำในช่วงที่ไม่มีการไหลเวียนหรือแลกเปลี่ยนมลสาร (สิริ ทุกข์วินาศ, 2535) มีรายงานการเกิด Plankton bloom ขึ้นในที่ต่างๆทั่วโลก รวมทั้งในอ่าวไทยและบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณชายฝั่งเป็นอย่างมาก เช่น ทำให้สัตว์น้ำตายเนื่องจากการอุดตันของสาหร่ายบริเวณเหงือก หรือทำให้น้ำขาดออกซิเจนโดยเฉพาะในตอนกลางคืน การแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายนอกจากทำให้น้ำเปลี่ยนสีแล้วยังสร้างสารประกอบทางเคมีที่ทำให้โคลนและน้ำมีกลิ่น เมื่อสาหร่ายตายน้ำจะเน่าเสีย ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง และเกิดสารพิษ (toxin) ซึ่งส่งผลต่อสัตว์น้ำ ทำให้เกิดการสะสมและถ่ายทอดพิษไปยังผู้บริโภคอีกทอดหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแพลงก์ตอน (สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย และแววตา ทองระอา, 2536) เช่น การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสาหร่ายในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต *Gonyaulax* และ *Gymnodinium* จะทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "red tide" เนื่องจากสาหร่ายประเภทนี้จะมีธีกา (theca) ซึ่งเป็นสารพวกเซลลูโลส มีสีน้ำตาลห่อหุ้มเซลล์อยู่ โดยปกติจะมองเห็นสาหร่ายเหล่านี้เป็นสีแดงอยู่แล้ว เมื่อเกิดเป็นปริมาณมากๆ จึงทำให้มองเห็นทะเลเป็นสีน้ำตาลหรือสีแดง (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

ไดโนแฟลกเจลเลตที่เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ได้แก่ จิมโนดิเนียม (*Gymnodinium*) ไดโนไฟซีส (*Dinophysis*) น็อคติลูกา (*Noctiluca*) อเล็กซานเดรียม (*Alexandrium*) นอกจากนี้ ไดโนแฟลกเจลเลตยังเพิ่มจำนวนในน้ำจืดได้อีกด้วย ชนิดที่เป็นสาเหตุ ได้แก่ ซีราเตียม (*Ceratium*) จิมโนดิเนียม (*Gymnodinium*) และเพอริดิเนียม (*Peridinium*) เป็นต้น การเกิด "red tide" มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำอย่างมาก กล่าวคือ ไดโนแฟลกเจลเลตสามารถสร้างสารพิษ (toxins) ซึ่งเมื่อสัตว์น้ำอื่นมากินพิษจะสะสมไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่จะเป็นพิษต่อผู้บริโภคถึงขั้นเสียชีวิตได้ สารพิษที่พบในไดโนแฟลกเจลเลต เช่น สารพิษที่มีผลต่อระบบประสาทมีชื่อว่า paralytic shellfish poisoning (PSP) เมื่อสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปู ปลา กินสาหร่ายชนิดนี้อาจทำให้สัตว์น้ำเหล่านี้ตายเป็นจำนวนมาก และเมื่อคนกินสัตว์น้ำดังกล่าว สารพิษ PSP อาจมีผลต่อระบบประสาทของผู้บริโภคในระดับต่างๆนั้นด้วย ถ้าได้รับมากอาจมีผลถึงขั้นอัมพาตได้ และสารพิษ neosaxitoxin ซึ่งเกิดจากสาหร่าย *Gonyaulax* sp. เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น หอยนางรม หอยเชลล์ กุ้ง ปลา ทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการท้องร่วง และอาเจียน เนื่องจากมีการวิจัยพบว่าสารพิษชนิดนี้จะยับยั้งกระบวนการขนถ่ายแร่ธาตุ โดยเฉพาะโซเดียม (Na^+) ในร่างกาย เป็นต้น (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

2.4 การบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพ

กระบวนการทางชีวภาพเข้ามามีบทบาทในการบำบัดน้ำทิ้งในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือพืช กระบวนการทางชีวภาพเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำทิ้งโดยมีบทบาทในการลดมลสารต่างๆ (Carole *et al*., 1988) ดังนี้

2.4.1 การบำบัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ เนื่องจากมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าบีโอดีในน้ำเสียจะเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ วิธีที่น่าสนใจในการลดค่าบีโอดีวิธีหนึ่งคือ algal-bacterial culture (Carole *et al*., 1988) ในสภาวะที่มีแสงแดด การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะเกิดขึ้นพร้อมกับการผลิตก๊าซออกซิเจน และจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำให้เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เรียกกระบวนการนี้ว่า “photosynthetic oxygenation” โดยกระบวนการนี้จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่อนข้างสูง เนื่องจากมีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องถึง 2 ปฏิกิริยาด้วยกัน คือปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโดยจุลินทรีย์และปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

2.4.2 การบำบัดธาตุอาหาร วิธีบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่จะทำการลดปริมาณแอมโมเนียโดยวิธีแลกเปลี่ยนอิออนหรือโดยการให้อากาศ มีการลดปริมาณไนเตรทโดยการเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยปฏิกิริยา anoxic reduction และลดปริมาณฟอสเฟตโดยการตกตะกอนด้วยปูนขาว ซึ่งบางครั้งวิธีเหล่านี้จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธี photosynthetic oxygenation ซึ่งสามารถใช้ได้

เหมือนกัน คือ สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียหรือก๊าซไนโตรเจน โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นโดยจุลินทรีย์ และบางส่วนระเหยไปในอากาศ ก๊าซแอมโมเนียจะถูกสาหร่ายใช้ในการเจริญเติบโตหรือระเหยสู่บรรยากาศเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้น สำหรับฟอสฟอรัสจะถูกสาหร่ายใช้หรือบางส่วนตกตะกอนเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาพบว่าในการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัส และใช้น้ำเป็นแหล่งออกซิเจน นอกจากนั้นบทบาทที่สำคัญของสาหร่ายอีกประการหนึ่งคือการผลิตก๊าซออกซิเจนออกมาสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในบ่อรับน้ำเสียที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย สาหร่ายจะผลิตก๊าซออกซิเจนออกมาเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดของเสีย (Carol *et al.*,1988) โดยสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria*) สามารถกำจัดแอมโมเนียในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแซลมอนอย่างได้ผลดี โดยสามารถกำจัดแอมโมเนียได้สูงสุดถึงร้อยละ 90-95 (Troell *et al.*, 1999) ในขณะที่ Enander และ Hasselstrom (1994) พบว่าระบบบำบัดด้วยหอยสองฝาและสาหร่ายทะเล สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Tookwinas และ Thiraksapan (1997) นำหอยแมลงภู่มาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยใช้หอยแมลงภู่ขนาด 50 ตัวต่อกิโลกรัม ในปริมาณ 1-7 กิโลกรัมต่อน้ำทิ้ง 1 ตัน พบว่าสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์เอลงจาก 95.9 มิลลิกรัมต่อลิตรเหลือ 11.9 มิลลิกรัมต่อลิตร

Tookwinas *et al.* (2001) รายงานผลการทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยวิธีผสมผสานระหว่างระบบชีวภาพและกายภาพ โดยสูบน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งไปยังบ่อบำบัดแบบชีวภาพที่ใส่ปลาน้ำกร่อยชนิดต่างๆ และสาหร่ายผมนางเป็นเวลา 3 วัน แล้วสูบน้ำทะเลกลับบ่อเลี้ยงผ่านทรายกรองพบว่าระบบสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงโดยลดปริมาณสารแขวนลอย บีโอดี แอมโมเนียรวม ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม และคลอโรฟิลล์เอได้ร้อยละ 59.05, 32.27, 23.61, 61.7, 59.71 และ 63.24 ตามลำดับ

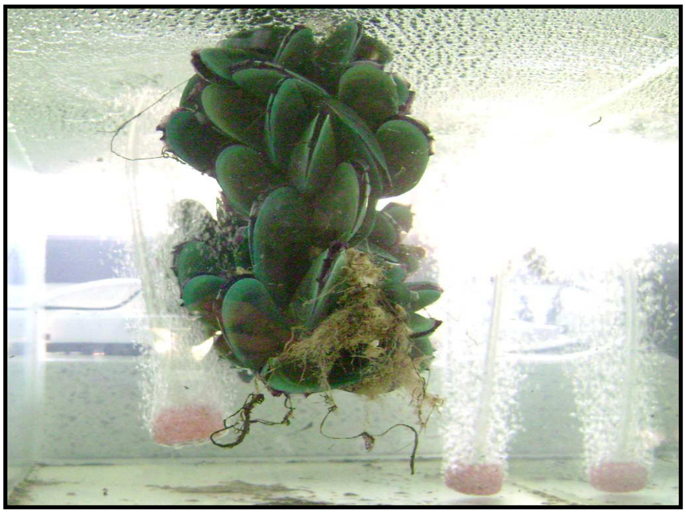
คณิต ไชยาคำ และดุสิต ตันวิไลย (2535) ได้ทดลองใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายผมนางเพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยทดลองในถังขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้สาหร่ายผมนางหนัก 168±2 กรัม และหอยแมลงภู่หนัก 200±2 กรัม ครั้งที่ 2 ใช้สาหร่ายผมนางหนัก 340±2 กรัม และหอยแมลงภู่หนัก 400 ±1.5 กรัม แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ คือชุดควบคุม ชุดสาหร่ายผมนาง ชุดหอยแมลงภู่ และชุด

สาหร่ายผมนางกับหอยแมลงภู่ ศึกษาคุณภาพน้ำในช่วงที่ 0, 6, 12, 18, 24 และ 48 วัน จากการทดลองพบว่าชุดสาหร่ายผมนางและชุดหอยแมลงภู่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ แพลงก์ตอน และสารแขวนลอยได้ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของค่าบีโอดี ซีโอดี แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์เอในชุดควบคุมไม่แตกต่างจากการใช้สาหร่ายผมนางกับหอยแมลงภู่ เพราะค่าแอมโมเนียสูงขึ้นจากการขับถ่ายของหอยแมลงภู่ และแนะนำให้แก้ไขโดยการใช้เครื่องเติมอากาศเพื่อให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น

อุปถัมภ์ ภวภูตานนท์ ณ มหาสารคาม (2540) ได้ทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบยั่งยืนโดยการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีวภาพ โดยทำการทดลองเลี้ยงกุ้งในบ่อทดลองและปล่อยน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งเข้าสู่บ่อรับน้ำเสีย 3 บ่อที่มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่ในบ่อที่ 1 เลี้ยงสาหร่ายผมนางในบ่อที่ 2 และบ่อที่ 3 ปล่อยเป็นบ่อผึ่ง เป็นเวลาทั้งหมด 3 เดือนและเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อบำบัดทั้ง 3 บ่อ พบว่าการเลี้ยงสาหร่ายผมนางและหอยแมลงภู่มีส่วนในการดูดซับและลดปริมาณสารต่างๆได้ โดยเฉพาะสาหร่ายมีส่วนในการลดสารประกอบไนโตรเจนได้มาก ถึงแม้หอยแมลงภู่จะเป็นตัวเพิ่มแอมโมเนียก็ตาม ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และบีโอดีเพิ่มขึ้น ในขณะที่ในบ่อบำบัด ค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และบีโอดีมีค่าลดลง

พุทธ ส่องแสงจินดา และสำรอง อินเอก (2546) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของหอยนางรม (*Crassostrea lugubris*) หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าในระบบบำบัดที่ใช้หน่วยบำบัดแตกต่างกันจะมีจุดเด่นและจุดด้อยอยู่ด้วยกันเสมอ เช่น การใช้หอยจะทำให้เกิดการบำบัดตะกอนแขวนลอยได้ดี แต่มีจุดด้อยที่การกรองตะกอนจะทำให้หอยขับถ่ายของเสียที่อยู่ในรูปตะกอนอินทรีย์ของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกมา และระบบบำบัดที่ใช้สาหร่ายก็จะเหมาะสมสำหรับการบำบัดสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ดังนั้นการจัดระบบบำบัดที่ผสมผสานจุดเด่นของระบบบำบัดในแต่ละระบบย่อย จึงเป็นรูปแบบที่เหมาะในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 หอยแมลงภู่ (Green mussel)



ภาพที่ 1 ลักษณะของหอยแมลงภู่ที่ใช้ในการทดลอง

หอยแมลงภู่ (Green mussel) เป็นหอยสองฝา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* Linneaus มีลำตัวอ่อนนุ่มอยู่ภายในเปลือก ประกอบด้วยเยื่อหุ้มลำตัวคลุมอวัยวะภายในทั้งสองด้านซึ่งอยู่ติดกับฝาทั้งสองข้าง เท้ามีขนาดเล็กและมีต่อมสร้างเส้นใยยึดติด เหงือกขนาดใหญ่ยาวเท่ากับลำตัว ภายในลำตัวหอยแมลงภู่ประกอบด้วยหัวใจอยู่เหนืออวัยวะภายในเป็นระบบเลือดเปิด เลือดของหอยแมลงภู่จะไม่มีสี อวัยวะที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซคือเหงือก (วิทยา หะวานนท์ และสิริพร ลือชัย, 2542) ลักษณะของเปลือกยาวเรียวรูปไข่ ส่วนท้ายเรียวแหลม ส่วนปลายแบนป้านกาบซ้ายและกาบขวายาวเท่ากัน (ดังแสดงในภาพที่ 1) โคนกาบแคบ เปลือกค่อนข้างหนา กาบซ้ายมีฟัน 2 ซี่ เปลือกด้านนอกมีสีเขียวอมน้ำตาล มีวงเป็นชั้นแสดงถึงการเจริญเติบโตของหอยในแต่ละปี เปลือกด้านในสีขาวคล้ายหอยมุก จากลักษณะภายนอกไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเพศของหอยแมลงภู่ได้ แต่สามารถแยกได้จากสีของเนื้อหอยหรือลำตัว โดยเพศเมียจะมีสีแดงหรือสีแสด เพศผู้จะมีสีขาวครีมหรือสีน้ำตาลอมเหลือง หอยแมลงภู่เป็นหอยที่เกาะหลักอยู่กับที่ เท้าจึงเล็กแต่มีเส้นใยหยาบ และหนาสำหรับช่วยในการเกาะเสาหรือหลัก เมื่อหอยต้องการเกาะ หอยจะขับของเหลวชนิดหนึ่งมีลักษณะคล้ายวุ้นออกมาตามเท้า เมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะคล้ายเส้นไหมมีสีน้ำตาลปนดำ หอยแมลงภู่กินอาหารโดยการกรองอาหารจากมวลน้ำทะเล อวัยวะที่ใช้ในการกรองอาหารคือ เหงือก หอยจะดูดน้ำทะเลผ่านเข้ามาในเปลือก และเหงือกจะกรองอาหารและส่งเข้าปาก ผ่านทางเดินอาหาร ส่วนกากอาหารและตะกอนจะถูกขับออกทางทวาร

หนัก ซึ่งเปิดออกทางท้ายลำตัว อาหารส่วนใหญ่เป็นแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ขนาดเล็ก โปรโตซัว และอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยในน้ำทะเล

หอยแมลงภู่จะอาศัยอยู่ในบริเวณปากแม่น้ำที่มีความลึก 3-10 เมตร พบมากในเขตน้ำขึ้นน้ำลงตลอดจนบริเวณที่น้ำท่วมตลอด ในอ่าวไทยพบตามที่ตื้นบริเวณชายฝั่งทะเลจนถึงที่ลึกในระดับน้ำประมาณ 10 เมตร พบมากในจังหวัดตราด ชลบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม เพชรบุรี และนครศรีธรรมราช หอยแมลงภู่เป็นหอยที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง เพราะสามารถเกาะเลี้ยงลำตัวได้ตามพื้นที่ต่างๆ โดยการสร้างเส้นใยสำหรับเกาะกับวัสดุที่เรียกว่าหนวด (Byssal threads) และสามารถนำมาเลี้ยงได้ง่าย วิธีการเลี้ยงหอยที่นิยมใช้เลี้ยงในประเทศต่าง ๆ มีอยู่ด้วยกันสามวิธีคือ การเลี้ยงระบบปักหลัก การเลี้ยงแบบพื้นทะเล และการเลี้ยงแบบแขวน

2.5.1 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่

หอยแมลงภู่เป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว ไม่จำเป็นต้องให้อาหารหรือใช้ปุ๋ยอย่างการเลี้ยงปลาในบ่อ เพราะว่าหอยแมลงภู่จะกรองกินพวกแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ขนาดเล็กรวมทั้งอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยในน้ำเป็นอาหารซึ่งสิ่งมีชีวิตดังกล่าวเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และล่องลอยอยู่ในน้ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่มีดังนี้

1. อาหารของหอยแมลงภู่ ได้แก่ พืชน้ำและสัตว์เล็กๆ ที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เช่น ไดอะตอม (diatom) โปรโตซัว (protozoa) และแพลงก์ตอน (plankton) ต่างๆ อาหารเหล่านี้มีขนาดและชนิดต่าง ๆ กัน มีอยู่ทั่วไปในทะเล เมื่อถูกน้ำพัดผ่านแหล่งที่หอยเกาะ หอยก็จะดูดกินเป็นอาหาร หอยแมลงภู่จะกินโดยการดูดน้ำเข้าไปแล้วกรองเอาอาหารโดยใช้การโบกพัดของขนตามซี่เหงือก ถ้าบริเวณเลี้ยงหอยมีอาหารอุดมสมบูรณ์หอยจะเจริญเติบโตเร็ว

2. ความเค็มของน้ำทะเลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่มาก หอยจะเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม ความเค็มที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยแมลงภู่จะอยู่ในช่วง 25-33 ส่วนในพันส่วน

3. กระแสน้ำ การเคลื่อนไหวของน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหอย โดยแหล่งที่มีกระแสน้ำไหลแรงเกินไป ความแรงของน้ำจะทำให้หลักหอยสั่นสะเทือน หอยอาจจะได้รับอาหารไม่สะดวก ทำให้เจริญเติบโตช้า แต่ถ้าน้ำไม่ไหลหอยก็มีโอกาสได้อาหารน้อยเช่นกัน กระแสน้ำที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของหอยนั้นควรไหลช้าๆ และสม่ำเสมอ

4. อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ หอยแมลงภู่ชอบอยู่ในที่มีอุณหภูมิระหว่าง 24-29 องศาเซลเซียส

5. แหล่งเลี้ยงหอยแมลงภู่ควรเป็นแหล่งน้ำตื้นชายฝั่ง ซึ่งเป็นแหล่งน้ำลึกประมาณ 3-10 เมตร

6. ความขุ่นของน้ำ ถ้าน้ำขุ่นมากตะกอนจะไปเกาะตามซี่เหงือกของหอย ทำให้ระบบหายใจและการกรองอาหารทำงานไม่ปกติ นอกจากนี้ยังมีผลทำให้แพลงก์ตอนที่เป็นอาหารของหอยแมลงภู่มีน้อยลง เนื่องจากไปบังแสงแดดซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสง (นิพนธ์ ศิริพันธ์, 2543)

สำหรับในด้านการบำบัดน้ำหอยสองฝาแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการลดปริมาณของสารอาหารในน้ำได้แตกต่างกัน โดยในการศึกษาประสิทธิภาพของหอยนางรม (*Crassostrea lugubris*) หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าหอยแมลงภู่มีความสามารถในการบำบัดตะกอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส อินทรีย์สารคาร์บอนในอนุภาคตะกอนแขวนลอย และแพลงก์ตอนพืชในรูปคลอโรฟิลล์เอในน้ำทิ้ง เฉลี่ยในอัตรา 50.14 มก./ก.นน. แห้ง/ชม., 0.190 มก.ไนโตรเจน/ก.นน. แห้ง/ชม., 0.009 มก.ฟอสฟอรัส/ก.นน.แห้ง/ชม., 0.507 มก.คาร์บอน/ก.นน.แห้ง/ชม. และ 26 มก./ก.นน.แห้ง/ชม. ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าประสิทธิภาพของหอยนางรมประมาณ 2-57 เท่า (พุทธ ส่องแสงจินดา และสำรอง อินเอก, 2546)

การศึกษาประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Linn., 1758) ในการกรองกินอาหารจากบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยนำหอยแมลงภู่ความยาวเฉลี่ย 4.47 $\pm$ 0.44 เซนติเมตร ความหนาแน่น 1 ตัวต่อน้ำ 2 ลิตร มาเลี้ยงในน้ำซึ่งมีแหล่งที่มาแตกต่างกัน 3 แหล่ง ได้แก่ น้ำทะเลผสมสาหร่าย *Tetraselmis chuii* น้ำเลี้ยงกุ้งความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน และ 20 ส่วนในพันส่วน พบว่าหอยแมลงภู่ที่ได้รับอาหารทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกรองกินอาหารในระดับร้อยละ 72-96 (มนทกานติ ท้ามติ้น และคณะ, 2547)

นอกจากประโยชน์ในด้านการบำบัดน้ำเสียแล้ว หอยแมลงภู่ยังเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีคุณค่า เลี้ยงง่ายและเป็นที่นิยมบริโภคอีกชนิดหนึ่งด้วย

2.6 สาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*)

สาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) มีอันดับอนุกรมวิธาน ดังนี้

Division : Rhodophyta

Class : Rhodophyceae

Order : Ceramiales

Family : Rhodomelacedae

Genus : Acanthophora

Species : *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen

ภาพที่ 2 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายมงกุฎหนามที่ใช้ในการทดลอง

สาหร่ายมงกุฎหนาม จะมีลักษณะอวบน้ำ เปราะหักง่ายมีแขนงสั้นๆ เกิดอยู่ทั่วไป ปลายแขนงเป็นแฉกรูปดาว (ดังแสดงในภาพที่ 2) จะพบบริเวณก้อนหินหรือซากปะการัง ที่พื้นทรายปนโคลนในระดับน้ำขึ้นน้ำลงจนถึงน้ำลงต่ำสุด (มูลนิธิโลกสีเขียวเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมไทย, 2550)

2.6.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ เพราะนอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตแล้วยังมีผลต่อคุณภาพของสาหร่ายด้วย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสาหร่าย ได้แก่

1. แสง (light) แสงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต การเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์ของสาหร่าย เนื่องจากแสงมีผลต่อการดูดซึมสารอาหารในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549) ความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับระดับความลึก ความขุ่นของน้ำและความหนาแน่นของสาหร่าย ซึ่งการเลี้ยงสาหร่ายที่มีความหนาแน่นมากเกินไป จะทำให้ผลผลิตของสาหร่ายลดลงเนื่องจากสาหร่ายจะเกิดการบังแสงกันเอง (เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต, 2537)

2. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมของเซลล์ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายอยู่ที่ช่วง 20-28 องศาเซลเซียส

3. การเคลื่อนตัวของน้ำ (water movement) การเคลื่อนตัวของมวลน้ำมีผลต่อการแพร่กระจายของธาตุอาหาร สาหร่ายที่เลี้ยงในบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของมวลน้ำมากจะดูดซับธาตุอาหารได้มาก โดยได้มีการทดลองเลี้ยงสาหร่ายผมนางแบบผลผลิตสูงในบ่อดิน พบว่าสาหร่ายที่อยู่ในแถวที่ใกล้กับเครื่องตีน้ำจะมีผลผลิตสูงกว่าสาหร่ายที่อยู่ในแถวที่ห่างออกไปจากเครื่องตีน้ำ (วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์, 2538)

4. ความเค็ม (salinity) สาหร่ายกลุ่ม *Acanthophora spicifera* เป็นสาหร่ายที่อาศัยในน้ำที่มีความเค็มอยู่ในช่วง 15-50 ส่วนในพันส่วน (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

5. ความขุ่นของน้ำ (turbidity) โดยทั่วไปสาหร่ายจะสามารถอาศัยในแหล่งน้ำที่มีความขุ่นไม่มากนักเนื่องจากความขุ่นจะเป็นตัวขัดขวางปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

6. ธาตุอาหาร (nutrient) เนื่องจากสาหร่ายสกุล *Acanthophora spicifera* เจริญเติบโตได้ในหลากหลายสภาพแวดล้อม สาหร่ายจะใช้ธาตุอาหารที่มีในสภาพนั้นๆในการเจริญเติบโต โดยใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัส และน้ำเป็นแหล่งออกซิเจน สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารมาก ไม่ว่าจะเป็นการเติมน้ำเสีย ปุ๋ยหรือการเลี้ยงร่วมกับสัตว์น้ำจะเป็นการเพิ่มการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้

ในระบบที่มีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่าย ออกซิเจนที่สาหร่ายผลิตออกมาจะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการออกซิไดซ์สารพิษต่างๆในน้ำ การเจริญเติบโตของสาหร่ายและการ

ออกซิไดซ์สารพิษของแบคทีเรียจะเกิดขึ้นได้ต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำและเวลาที่เหมาะสม โดยหากระยะเวลา ธาตุอาหาร และความเข้มแสงเพียงพอ ระหว่างที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตจะให้ออกซิเจนออกมาดังสมการ (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543)

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{Light, Plant}} (CH_2O)_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

นอกจากสาหร่ายจะช่วยเพิ่มออกซิเจนและลดธาตุอาหารในน้ำแล้ว การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายยังช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในแหล่งน้ำด้วย ปริมาณออกซิเจนที่ถูกผลิตออกมาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด อายุของสาหร่าย และแหล่งของไนโตรเจนด้วย (De Boer, 1978) มีการศึกษาพบว่า สาหร่ายที่ใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจนจะมีการเจริญเติบโตสูงกว่าสาหร่ายที่ใช้ไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน และมีการทดลองที่สนับสนุนว่าการเลี้ยงสาหร่าย *G. verrucosa* ในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำทิ้งหรือเลี้ยงรวมกับสัตว์น้ำจะมีผลผลิตมากกว่า และคุณภาพของสาหร่ายจะดีกว่าสาหร่ายที่ไม่ได้เลี้ยงร่วมกับสัตว์น้ำเนื่องจากสัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียจำพวกแอมโมเนียออกมาเป็นธาตุอาหารสำหรับสาหร่ายใช้ในการเจริญเติบโต (Cancino *et al.*, 1987)

ธวัช ศรีวีระชัย และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในการบำบัดคุณภาพน้ำทะเลและน้ำทิ้งจากโรงเพาะอนุบาลสัตว์น้ำ พบว่าสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 0.1 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งในน้ำทิ้งและน้ำทะเลได้ดีที่สุด โดยสามารถบำบัดแอมโมเนียรวม ไนเตรท ไนโตรเจนรวมและออร์โธฟอสเฟตในน้ำทิ้งและน้ำทะเลได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.6575, 0.2220; 0.6654, 0.0829; 1.3229, 0.3050 และ 0.2181, 0.1339 กรัมต่อลิตรต่อวันตามลำดับ

ธวัช ศรีวีระชัย และสุริยะ แพงดี (2548) ได้ทำการเลี้ยงสาหร่ายเขากวาง *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva และสาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในบ่อบำบัดน้ำทิ้งของโรงเพาะอนุบาลสัตว์น้ำพบว่า น้ำทิ้งจากโรงเพาะอนุบาลสัตว์น้ำก่อนปล่อยลงบ่อบำบัดมีปริมาณแอมโมเนียค่อนข้างสูง (0.3354 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไนไตรท์มีค่าเฉลี่ย 0.0854 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทมีค่าเฉลี่ย 0.4141 มิลลิกรัมต่อลิตร และบีโอดีมีค่าเฉลี่ย 2.9 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากการเลี้ยงสาหร่ายเขากวาง และสาหร่ายหนามในบ่อบำบัดแล้วคุณภาพดีขึ้นจากเดิมมาก โดยค่าแอมโมเนียเฉลี่ยเป็น 0.0075 และ 0.0050 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยไนไตรท์เป็น 0.0060 และ 0.00112 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยไนเตรทเป็น 0.0549 และ 0.0251 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยบีโอดีเป็น 2.8 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

นอกจากประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียแล้ว สาหร่ายมงกุฎหนามยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นได้อีก เช่น นำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น หอย โดยมีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับผลของสาหร่ายผมนาง และสาหร่ายมงกุฎหนามต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของหอยเป๋าฮื้อ พบว่าหอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามมีการเจริญเติบโตดีที่สุดอาจเนื่องมาจากคุณค่าทางโภชนาการที่ดีกว่าสาหร่ายผมนาง โดยมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า (ash) ซึ่งหมายถึงแร่ธาตุในสาหร่ายมงกุฎหนามสูงกว่าในสาหร่ายผมนาง นอกจากนั้น สาหร่ายมงกุฎหนามยังมีองค์ประกอบกรดอะมิโนในโปรตีนใกล้เคียงกับหอยเป๋าฮื้อมากกว่าสาหร่ายผมนาง และยังพบว่าสาหร่ายมงกุฎหนามประกอบด้วยกลุ่มของกรดอะมิโนจำเป็น กรดไขมันในเนื้อหอยเป๋าฮื้อจากธรรมชาติแสดงถึงชนิดของกรดไขมันที่ถูกสะสมไว้เพื่อการเจริญเติบโต คือพบกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่พบมากคือ n-3 HUFA และกลุ่มกรดโอเมก้า-6 ชนิดที่พบมาก คือ 20 : 4n-6 และ 22 : 4n-6 ทั้งนี้สาหร่ายมงกุฎหนามก็มีกรดไขมัน n-3 HUFA เป็นองค์ประกอบด้วยในขณะที่ไม่พบในสาหร่ายผมนาง แสดงว่า n-3 HUFA ในสาหร่ายมงกุฎหนามอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้หอยเป๋าฮื้อ เจริญเติบโตดี (สุพิศ ทองรอด และคณะ, 2545)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าการจัดการคุณภาพน้ำโดยการใช้ระบบบำบัดทางชีวภาพเป็นอีกแนวทางในการจัดการเลี้ยงกุ้งที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย แพลงก์ตอน ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำบางชนิด เช่น หอย ปลา หรือแพลงก์ตอนสัตว์ การปลูกพืชน้ำพวกสาหร่ายจะสามารถช่วยดูดซับธาตุอาหารจากการขับถ่ายของเสียของกุ้ง รวมทั้งสัตว์น้ำพวกหอยสองฝาก็ยังเป็นตัวกรองทางชีวภาพซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงให้มีคุณภาพดี สามารถนำกลับมาใช้ในบ่อเลี้ยงหรือปล่อยออกสู่ธรรมชาติได้ (ชีวิน อรรถสาสน์ และคณะ, 2545) การวิจัยนี้จึงได้นำหอย และสาหร่ายมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยจะเป็นการศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งของหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และสาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาให้มีคุณภาพดีขึ้น สามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ หรือปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในบ่อเลี้ยงและแหล่งน้ำ และยังสามารถได้ผลผลิตสัตว์และพืชน้ำเป็นรายได้เสริมอีกทางหนึ่งของเกษตรกร

3. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบชีวภาพซึ่งประกอบด้วยหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และสาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1.1 น้ำทะเล

ใช้น้ำทะเลบริเวณชุมชนเก้าเส้ง ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา เก็บน้ำทะเลโดยใช้เครื่องสูบน้ำ สูบน้ำบริเวณชุมชนเก้าเส้งใส่รถบรรทุกน้ำ นำมาพักไว้ในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร จำนวน 10 ถัง เพื่อให้ตกตะกอน จากนั้นใส่สารละลายคลอรีนความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน เพื่อฆ่าเชื้อ พร้อมให้อากาศจนคลอรีนหมด แล้วนำน้ำส่วนบนผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดตากรอง 25 ไมโครเมตร ลงถังพักน้ำขนาด 200 ลิตร เพื่อใช้สำหรับทดลอง

1.2 น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

นำมาจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวบริเวณ ต.กระดังงา อ.สทิงพระ จ.สงขลา ซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวในระบบพัฒนาที่ได้รับมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่ดี (Good Aquaculture Practice, GAP) เก็บน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาบริเวณประตูระบายน้ำออกเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้ง 120 วัน โดยสูบน้ำที่ระดับกึ่งกลางความลึกของน้ำ ใส่รถบรรทุกซึ่งบรรทุกถังน้ำขนาด 2,000 ลิตร แล้วนำไปใส่ในถังน้ำขนาด 200 ลิตร (ภาพที่ 3 (ก)) ซึ่งบ่อเลี้ยงกุ้งขาวระบบพัฒนานี้มีขนาด 2 ไร่ มีการเตรียมบ่อโดยการตากให้แห้งประมาณ 1 สัปดาห์ ไถพรวนและเก็บซากหอยในบ่อ จากนั้นโรยปูนขาวเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน แล้วเติมน้ำที่เตรียมไว้ในบ่อพัก ใส่จุนสีกำจัดหอย 5 กิโลกรัมต่อไร่ต่อน้ำลึก 1 เมตร ให้กากชา 20 กิโลกรัมต่อไร่ต่อน้ำลึก 1 เมตร หลังจากนั้นใส่ปูนโดโลไมท์ ปุ๋ยอินทรีย์ และมูลไก่เพื่อปรับสีน้ำ เปิดเครื่องตีน้ำเพื่อให้ออกซิเจนประมาณ 3 วัน เพื่อให้สารเคมีที่ใส่ไปออกฤทธิ์ ก่อนปล่อยกุ้ง 3 วัน ให้รำกับปลาป่นอย่างละ 10 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อสร้างสัตว์หน้าดิน รอให้สารเคมีสลายแล้วใส่ลูกกุ้งระยะ 1 เดือนลงไป เริ่มเปลี่ยนถ่ายน้ำครั้งแรกที่ 80 วัน หลังจากเริ่มปล่อยกุ้งให้อาหารสำเร็จรูปยี่ห้อ Thailux วันละ 5 มื้อ หรือ 4 มื้อ แล้วแต่สภาวะในบ่อ ให้อาหารเสริมพวกโปรไบโอติกผสมกับอาหารหรือวิตามินทุกวัน

โดยในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา จะเลือกบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีลักษณะการเลี้ยงที่เหมือนกันๆ จากนั้นนำน้ำที่ได้มาพักไว้ในถังขนาด 200 ลิตร ที่มีฝาปิดสนิท ก่อนทำการทดลอง 1 วัน เพื่อป้องกันคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลง โดยทำการเก็บน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวใช้สำหรับการทดลอง ดังนี้

1. การทดลองที่ 2.1 (ในการทดลองที่ 2.1.1 และ 2.1.2 จะต้องทำการทดลองแยกกัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ และจำนวนตู้ปลา ทำให้ต้องเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่ใช้ในการทดลองคนละรอบ)

- การทดลองที่ 2.1.1 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ.2551
- การทดลองที่ 2.1.2 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ.2551

3. การทดลองที่ 2.2 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ.2551

4. การทดลองที่ 2.3 จะทำการเก็บน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา 6 ครั้ง แต่ละครั้งใช้สำหรับการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 2 รอบ (เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องยานพาหนะ และงบประมาณในการทดลอง) โดยทำการเก็บน้ำทิ้ง ดังนี้

- ครั้งที่ 1 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 9 เมษายน 2551
- ครั้งที่ 2 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 25 เมษายน 2551
- ครั้งที่ 3 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 12 พฤษภาคม 2551
- ครั้งที่ 4 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 29 พฤษภาคม 2551
- ครั้งที่ 5 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 5 มิถุนายน 2551
- ครั้งที่ 6 ทำการเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 22 มิถุนายน 2551

1.3 หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*)

หอยแมลงภู่ได้จากการรวบรวมจากแหล่งน้ำธรรมชาติ บริเวณทะเลสาบสงขลาขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4.65$\pm$0.44 ซม. น้ำหนักเฉลี่ย 8.56$\pm$0.57 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อตัว นำมาปรับสภาพก่อนการทดลองโดยนำหอยใส่ในถังซึ่งบรรจุน้ำทะเลที่มีความเค็มใกล้เคียงกับน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา เป็นระยะเวลา 7 วันก่อนการทดลอง (ภาพที่ 3 (ข))

1.4 สาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*)

รวบรวมสาหร่ายมงกุฎหนามที่ใช้ในการทดลองจากบ่อเลี้ยงปลาของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ มาทำความสะอาด กำจัดสิ่งปนเปื้อนและสาหร่ายมงกุฎหนามชนิดอื่นออก นำมาพักไว้ในถังซึ่งบรรจุน้ำทะเลที่มีความเค็มใกล้เคียงกับน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนการทดลองนำสาหร่ายมงกุฎหนามมาชั่งตามแผนการทดลองแล้วนำไปใส่ในถุงอวนขนาด 10 x 15 เซนติเมตร ผูกมัดให้ดี แล้วใช้ก้อนหินถ่วง ผูกติดกับเชือกไนลอน โดยถุงตาข่ายบรรจุสาหร่ายอยู่ต่ำจากระดับผิวน้ำประมาณ 20 เซนติเมตร เพื่อให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงได้

1.5 อุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง

- ตู้ปลาขนาด 40 x 80 x 40 ซม. ความจุ 60 ลิตร
- ขวดพลาสติกขนาด 1,000 มล.
- เครื่องเติมอากาศ
- ถังพลาสติกบรรจุน้ำขนาด 200 ล.
- ตาข่าย
- เชือกไนลอน

1.6 อุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

- กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C; glass microfibre filter)
- ตู้อบแห้ง (Oven)
- โถดูดความชื้น (Dessiccator)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 2 และ 5 ตำแหน่ง)
- สารเคมีที่จำเป็นในการทดลอง
- เครื่องแก้วที่จำเป็นในการทดลอง

1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์น้ำ

- เครื่องวัดความเค็ม (Salinorefractometer)
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

2.1.1 ศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมของหอยแมลงภู่ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

ทำการทดลองในช่วงระหว่างวันที่ 3-7 มีนาคม 2551 โดยทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่น้ำหนักเฉลี่ย 8.56$\pm$0.57 กรัม (น้ำหนักเปียก)/ ตัว ในตู้ปลาที่บรรจุน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา 60 ลิตร ทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่โดยการสอดผูกกับเชือก และถ่วงด้วยก้อนหิน (ภาพที่ 3(ค)) การทดลองละ 5 ซ้ำ ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 - 3 ใช้หอยแมลงภู่ 2.14, 4.28 และ 8.56 กรัมต่อน้ำทิ้ง 1 ลิตร
- ชุดการทดลองที่ 4 ไม่ใช้หอยแมลงภู่ (ชุดควบคุม) (ภาพที่ 3 (ฉ))

2.1.2 ศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมของสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

ทำการทดลองในช่วงระหว่างวันที่ 10-14 มีนาคม 2551 โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 0.1, 1 และ 10 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อน้ำ 1 ลิตร โดยทำการทดลองในตู้ปลาที่บรรจุน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา 60 ลิตร (เลี้ยงสาหร่ายมงกุฎหนามโดยใส่ในถุงอวนขนาด 10$\times$15 เซนติเมตร) (ภาพที่ 3 (ง)) การทดลองละ 5 ซ้ำ ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 5 - 6 ใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม 0.1, 1 และ 10 กรัมต่อน้ำทิ้ง 1 ลิตร
- ชุดการทดลองที่ 7 ไม่ใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม (ชุดควบคุม) (ภาพที่ 3 (ฉ))

ในการทดลองที่ 2.1.1 และ 2.1.2 จะทำการทดลองเป็นเวลา 4 วัน ให้แสงสว่างโดยใช้หลอดไฟฟ้า ความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง 550 ลักซ์ โดยให้แสงสว่างวันละ 12 ชม. และให้อากาศตลอดเวลา โดยระหว่างการทดลองไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ระยะ 4 วัน มาตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับกึ่งกลางความลึกของน้ำ) เพื่อดูว่าหอยแมลงภู่และสาหร่าย

มงกุฎหนามที่ความหนาแน่นใดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำได้ดีที่สุด โดยคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำตามสูตรในข้อ 4.3 และคำนวณหาอัตราการตายของหอยแมลงภู่ตามสูตรในข้อ 4.4

2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่เปลี่ยนแปลงไปจากการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม

ทำการทดลองในช่วงระหว่างวันที่ 21 -29 มีนาคม 2551 โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 5 ซ้ำ โดยในชุดการทดลองที่ 1 บำบัดด้วยหอยแมลงภู่ในตู้ที่ 1 เป็นเวลา 4 วัน ตามด้วยการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามในตู้ที่ 2 อีก 4 วัน (ภาพที่ 3 (จ)) ชุดการทดลองที่ 2 บำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามร่วมกับหอยแมลงภู่ในตู้เดียวกันเป็นเวลา 8 วัน ชุดการทดลองที่ 3 เป็นชุดควบคุมซึ่งปล่อยน้ำทิ้งไว้นาน 8 วัน (ภาพที่ 3 (ฉ)) โดยไม่ได้บำบัดด้วยวิธีใดๆ ให้แสงสว่างโดยใช้หลอดไฟฟ้า ความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง 550 ลักซ์ โดยให้แสงสว่างวันละ 12 ชม. และให้อากาศตลอดเวลา เก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการบำบัดมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

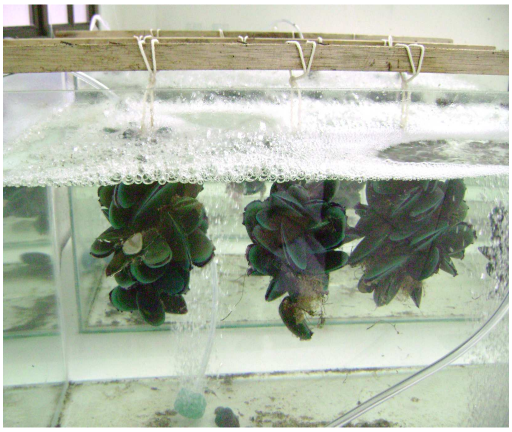
โดยใช้ปริมาณหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.1.1 และ 2.1.2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถบำบัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ แอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต ไนโตรเจนรวม บีโอดี และปริมาณของแข็งแขวนลอย ให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำ และหอยแมลงภู่กับสาหร่ายมงกุฎหนามไม่ตาย โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองจะกำหนดให้มีระยะการเปลี่ยนถ่ายน้ำเท่ากันที่ 8 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการบำบัดมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับกึ่งกลางความลึกของน้ำ) เพื่อดูประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของแต่ละชุดการทดลอง ตามสูตรในข้อ 4.3 และคำนวณหาอัตราการตายของหอยแมลงภู่ตามสูตรในข้อ 4.4

2.3 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

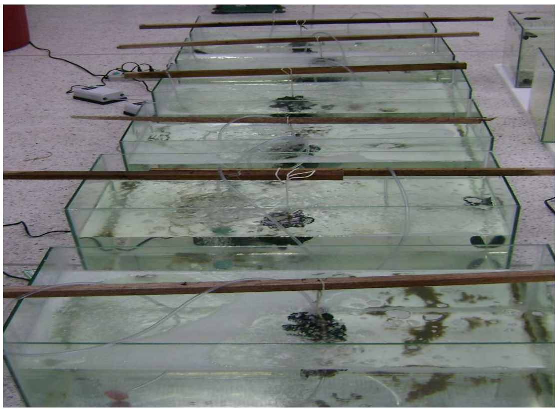
ทำการทดลองในช่วงระหว่างวันที่ 10 เมษายน – 7 กรกฎาคม 2551 โดยเลือกชุดทดลองจากการทดลองที่ 2.2 ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาได้ดีกว่าชุดอื่นๆมาทำการทดลองเลี้ยงหอยแมลงภู่โดยการผูกติดกับเชือกและเลี้ยงสาหร่ายมงกุฎหนามโดยใส่ในตาข่ายผูกติดกับเชือก ให้แสงสว่างจากหลอดไฟฟ้า ความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง 550 ลักซ์ โดยให้แสงสว่างวันละ 12 ชม. และให้อากาศตลอดเวลา ส่วนชุดควบคุมใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งอย่างเดียว ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ ระยะเวลาการทดลอง 88 วัน

เก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการบำบัดมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อดูประสิทธิภาพในการบำบัดตามสูตรในข้อ 4.3 พร้อมทั้งเก็บข้อมูลอัตราการตาย และน้ำหนักของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม มาคำนวณหาอัตราการตายของหอยแมลงภู่ และอัตราการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม ตามสูตรในข้อ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

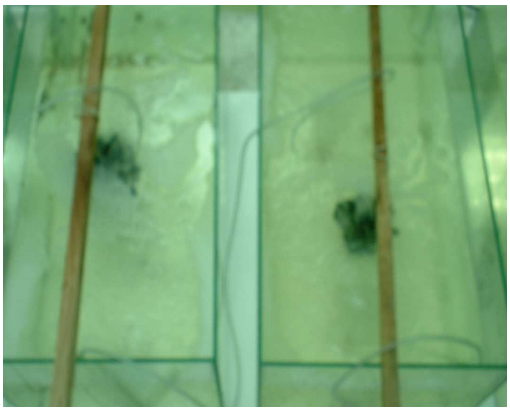
(ก) การขนย้ายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง



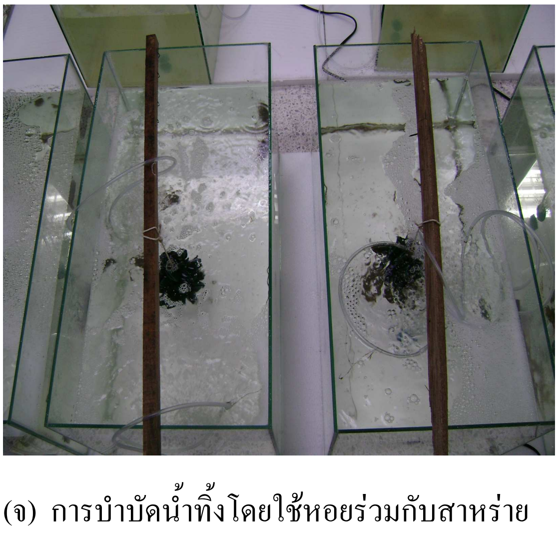
(ข) การปรับสภาพหอยก่อนการทดลอง



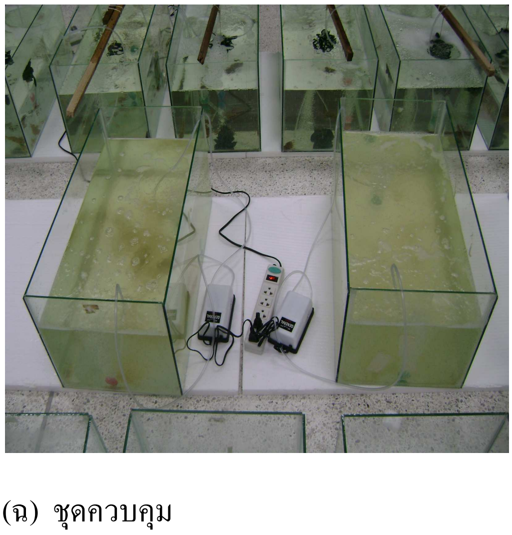
(ค) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้หอยแมลงภู่



(ง) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม



(จ) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้หอยร่วมกับสาหร่าย



(ฉ) ชุดควบคุม

ภาพที่ 3 การขนย้ายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง (ก) การปรับสภาพหอยแมลงภู่ก่อนการทดลอง (ข) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้หอยแมลงภู่ (ค) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม (ง) การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม(แยกตู้) (จ) และชุดควบคุม (ฉ)

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

3.1 วิเคราะห์คุณภาพน้ำหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972)

3.2 วิเคราะห์แอมโมเนียรวมด้วยวิธี phenol-hypochlorite ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972)

3.3 วิเคราะห์ไนไตรท์ด้วยวิธี diazotization ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972)

3.4 วิเคราะห์ไนเตรทด้วยวิธี cadmium reduction ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972)

3.5 วิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟตด้วยวิธี phosphomolybdate ตามวิธีของ Strickland และ Parsons (1972)

3.6 วิเคราะห์หาไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) ด้วยวิธี persulfate oxidation ตามวิธีของ Hansen และ Koroleff (1999)

3.7 วิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยวิธี total suspended solids dried at 103-105 $^{\circ}$C ตามวิธีของ APHA, AWWA และ WPCF (1995)

3.8 วิเคราะห์บีโอดีโดยใช้วิธี 5-day BOD test ตามวิธีของ APHA, AWWA และ WPCF (1995)

3.9 วัดค่าความเค็มโดยใช้ salinorefractometer

3.10 วัดอุณหภูมิของน้ำใช้ mercury thermometer

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Microsoft Excel คำนวณค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (analytical statistics) ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียว (one-way analysis of variance, ANOVA) ด้วยวิธี Duncan’s multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ $\propto$ = 0.05 จากโปรแกรม SPSS for Windows (version 13.0)

4.3 คำนวณประสิทธิภาพการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยใช้สูตรอ้างถึงใน นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ (2549)

$$\text{ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)} = \frac{(C_i - C_f)x100}{C_i}$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นของธาตุอาหารเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

C_f = ความเข้มข้นของธาตุอาหารเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

4.4 อัตราการตาย

ตรวจสอบอัตราการตายของหอยแมลงภู่โดยดูการเปิด-ปิดของเปลือกหอยทุกวัน ถ้าเปลือกหอยเปิดตลอดเวลาแสดงว่าหอยตาย เมื่อพบว่าหอยแมลงภู่ตายก็ให้นำออก หากหอยแมลงภู่ตายตั้งแต่ร้อยละ 10 ขึ้นไปให้หยุดการทดลอง สำหรับอัตราการตายคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราการตาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{จำนวนหอยที่ตายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตัว) x 100}}{\text{จำนวนหอยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (ตัว)}}$$

4.5 เก็บข้อมูลน้ำหนักสาหร่ายมงกุฎหนาม และหอยแมลงภู่ก่อนและหลังการทดลองเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตเฉลี่ย (average daily gain, ADG) (กรัม/วัน) โดยใช้สูตร

$$ADG = \frac{W_2 - W_1}{t}$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักเปียกเริ่มต้น (กรัม)

W_2 = น้ำหนักเปียกสุดท้าย (กรัม)

t = ระยะเวลาในการเลี้ยง (วัน)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ความหนาแน่นที่เหมาะสมของหอยแมลงภู่ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

จากการทดลองใช้หอยแมลงภู่บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาขนาดน้ำหนัก 8.56 $\pm$ 0.57 กรัม (น้ำหนักเปียก) / 1 ตัว ที่อัตราความหนาแน่น 4 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม), 2.14, 4.28 และ 8.56 กรัม/ลิตร พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่เป็นระยะเวลา 4 วัน (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำก่อนบำบัด	คุณภาพน้ำหลังบำบัด			
		ชุดควบคุม	หอย 2.14 กรัม/ลิตร	หอย 4.28 กรัม/ลิตร	หอย 8.56 กรัม/ลิตร
คลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.)	259.88±0.00	126.51±2.50	67.68±1.01	51.41± 2.68	50.72±1.57
แอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.)	0.5641±0.00	0.2813±0.0038	0.5801±0.0420	0.7462±0.1229	0.9073±0.0069
ไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/ล.)	0.0492±0.00	0.0515±0.0019	0.0313±0.0015	0.0403±0.0013	0.0540±0.0041
ไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ล.)	0.0782±0.00	0.0904±0.0047	0.0808±0.0054	0.0942±0.0030	0.1028±0.0409
ไนโตรเจนรวม (มก.ไนโตรเจน/ล.)	0.6339±0.00	0.0917±0.0050	0.5351±0.0481	0.6743±0.0336	0.7101±0.0337
ออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสฟอรัส/ล.)	0.1034±0.00	0.3101±0.0220	0.2314±0.0400	0.2833±0.0129	0.3035±0.0285
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	148.22±0.00	122.03±6.89	71.93±4.46	81.00±4.60	100.62±2.68
บีโอดี (มก./ล.)	17.53±0.00	14.59±0.45	16.14±0.56	15.92±0.50	16.68±0.60
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	24.0±0.0	24.2±0.2	24.3±0.3	24.3±0.2	24.3±0.1

1.1 ประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ด้วยวิธี Duncan's multiple range test ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) ของหอยแมลงภู่ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาเป็นระยะเวลา 4 วัน (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด))

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	หอย 2.14 กรัม/ลิตร	หอย 4.28 กรัม/ลิตร	หอย 8.56 กรัม/ลิตร
คลอโรฟิลล์ เอ	51.32 ± 0.96[a] (50.28, 52.67)	73.96 ± 0.39[b] (73.41, 74.39)	80.22 ± 1.03[c] (78.80, 81.28)	80.48 ± 0.60[c] (79.83, 81.01)
แอมโมเนีย	51.17 ± 4.00[d] (49.25, 58.82)	-2.84 ± 7.46[c] (-15.17, 2.71)	-32.28 ± 21.79[b] (-45.90, 6.22)	-60.84 ± 1.23[a] (-62.17, -59.74)
ไนไตรท์	-4.68 ± 3.93[a] (-11.18, -1.63)	36.38 ± 3.14[c] (32.32, 40.65)	18.09 ± 2.72[b] (14.23, 21.34)	-9.75 ± 8.29[a] (-15.04, -0.20)
ไนเตรท	-15.60 ± 6.02[b] (-22.38, -10.74)	-3.33 ± 6.89[c] (-9.85, 6.90)	-20.46 ± 3.88[a] (-25.96, -15.86)	-31.46 ± 52.26[a] (-85.42, 18.92)
ไนโตรเจนรวม	85.53 ± 0.80[c] (84.27, 86.45)	15.59 ± 7.59[b] (7.13, 23.50)	-6.37 ± 5.30[a] (-11.64, - 1.59)	-12.02 ± 5.32[a] (-18.00, -7.81)
ออร์โธฟอสเฟต	-199.90 ± 21.28[a] (-235.59 , -181.24)	-123.79 ± 38.68[b] (-183.08, -93.42)	-173.98 ± 12.49[a] (-191.30, -160.54)	-193.52 ± 27.52[a] (-220.60, -165.57)
ของแข็งแขวนลอย	17.67 ± 4.65[a] (14.06, 25.37)	51.47 ± 3.01[d] (46.50, 54.36)	45.35 ± 3.10[c] (41.24, 48.96)	32.12 ± 1.81[b] (30.27, 33.88)
บีโอดี	16.77 ± 2.58[b] (14.43, 20.14)	7.95 ± 3.17[a] (3.59, 11.12)	9.17 ± 2.83[a] (5.59, 13.53)	4.83 ± 3.45[a] (2.17, 8.73)

หมายเหตุ ในแนวนอนตัวอักษรยกกำลังที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม) 2.14 4.28 และ 8.56 กรัม/ลิตร ในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และบีโอดี พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ ภายหลังการทดลองของชุดการทดลองที่ใช้หอย 8.56 กรัม/ลิตร มีค่าสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้หอย 4.28 และ 2.14 กรัม/ลิตร ส่วนชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุด โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 80.48$\pm$0.60, 80.22$\pm$1.03, 73.96$\pm$0.39 และ 51.32$\pm$0.96 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ ของชุดการทดลองที่ใช้หอย 8.56 กรัม/ลิตร มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับชุดการทดลองที่ใช้หอย 4.28 กรัม/ลิตร แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดควบคุมและชุดการทดลองที่ใช้หอย 2.14 กรัม/ลิตร (ตารางที่ 4)

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของชุดการทดลองที่ใช้หอย 2.14 กรัม/ลิตร มีค่าสูงสุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้หอย 4.28 และ 8.56 กรัม/ลิตร ส่วนชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุดร้อยละ 51.47$\pm$3.01, 45.35$\pm$3.10, 32.12$\pm$1.81 และ 17.67$\pm$4.65 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของทั้ง 4 ความหนาแน่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4)

ผลการศึกษาในครั้งนี้เห็นได้ชัดเจนว่าการใช้หอยแมลงภู่ ซึ่งเป็นสัตว์น้ำประเภทหอยสองฝานั้นสามารถทำให้เกิดการบำบัดตะกอนแขวนลอย และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ มนทกานติ ท้ามติ้น และคณะ (2547) ที่ศึกษาการศึกษาประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Linn., 1758) ในการกรองกินอาหารจากน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยใช้หอยแมลงภู่ขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4.47$\pm$0.44 เซนติเมตร พบว่า หอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 4.55 กรัมต่อน้ำทิ้ง 1 ลิตร มีประสิทธิภาพในการกรองกินอาหารร้อยละ 72-96 เนื่องจากหอยแมลงภู่มีความสามารถในการกรองตะกอนแขวนลอยและตอบสนองต่อตะกอนที่ทำให้เกิดการอุดตันได้ในปริมาณที่สูงถึง 220-330 มิลลิกรัม.น้ำหนักแห้ง/ลิตร (Widdows *et al*., 1979 อ้างถึงใน พุทธ ส่องแสงจินดา และ สำรอง อินเอก, 2546) และนอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นหอยแมลงภู่กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เป็นไปในลักษณะแปรผกผันกัน กล่าวคือเมื่อหอยมีความหนาแน่นมากขึ้นก็จะมีการกรองกินแพลงก์ตอนพืชมากขึ้นทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง ส่วนของแข็งแขวนลอย พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงเมื่อปริมาณหอยเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของคลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอยเกิดจากการกรองกินโดยหอยแมลงภู่ และบางส่วนเกิดจากการตกตะกอน แต่หลังจากหอยแมลงภู่กรองกิน

ตะกอน และแพลงก์ตอนเข้าไปจะมีการขับถ่ายของเสียออกมาที่เรียกว่า “มูลเทียม” (Pseudo-fecal production) ซึ่งชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่นมากจะมีการขับถ่ายของเสียออกมามาก ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยน้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่นน้อย (ประทีป สองแก้ว, 2543)

นอกจากนี้จากการศึกษาจะเห็นว่าหอยแมลงภู่ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณออร์โธฟอสเฟต แอมโมเนีย และไนเตรท เห็นได้ชัดจากผลการทดลองครั้งนี้พบว่าสารละลายไนโตรเจน และฟอสฟอรัสออกออกมาในน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้หอยแมลงภู่ โดยเฉพาะแอมโมเนียเพิ่มความเข้มข้นขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าเป็นลบ เนื่องมาจากหอยแมลงภู่ปล่อยสิ่งขับถ่ายออกในรูปแอมโมเนีย และยูเรีย ภายหลังการกรองกินอาหารทำให้ส่วนใหญ่ชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาดีกว่าชุดทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ พุทธ ส่องแสงจินดา และสำรอง อินเอก (2546) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของหอยนางรม หอยแมลงภู่ และสาหร่ายผมนางในการปรับปรังคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่า หอยแมลงภู่มีประสิทธิภาพในการบำบัดตะกอนแขวนลอยได้ดี และดีกว่าหอยนางรมถึง 37 เท่า แต่ภายหลังการบำบัดหอยจะปล่อยตะกอนแขวนลอยออกมา ทำให้น้ำทิ้งมีปริมาณสารละลายไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม และออร์โธฟอสเฟต ยิ่งความหนาแน่นของหอยแมลงภู่มากขึ้นก็จะทำให้ค่าของตัวแปรเหล่านี้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากเมื่อหอยแมลงภู่มีความหนาแน่นมาก ก็จะขับถ่ายของเสีย “มูลเทียม” ออกมามากซึ่งอาจก่อความเสียหายต่อระบบบำบัดน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงได้ ดังนั้นควรใช้ความหนาแน่นของหอยที่ไม่มากและน้อยเกินไป เพราะหากใช้หอยแมลงภู่ที่หนาแน่นเกินไปก็จะทำให้คุณภาพของน้ำยิ่งต่ำลงได้

แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะหาความหนาแน่นที่เหมาะสมของหอยแมลงภู่โดยเน้นไปที่การกำจัดของแข็งแขวนลอย และไม่มีการตายของหอย เพื่อจะได้น้ำที่ใส และยังคงไว้ซึ่งธาตุอาหารบางส่วนที่จะใช้ในการเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎ และส่งต่อไปบำบัดปริมาณสารอาหารต่างๆโดยสาหร่ายมงกุฎหนามต่อไป ซึ่งในส่วนของของแข็งแขวนลอย พบว่า หอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุดคือร้อยละ 51.47 ± 3.01 และตลอดระยะเวลาการทดลอง 4 วันไม่มีการตายของหอย ในขณะที่ชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 4.28 และ 8.56 กรัม (น้ำหนักเปียก) /ลิตร มีการตายของหอยเกิดขึ้น (ตารางที่ 5) ดังนั้นจากการศึกษาจะได้ความหนาแน่น 2.14 กรัม/ลิตร เป็นความหนาแน่นที่เหมาะสม ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามที่สุด

โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ ไนไตรท์ ไนโตรเจนรวม ของแข็งแขวนลอย และบีโอดีได้ร้อยละ 73.96±0.39, 36.38±3.14, 15.59±7.59, 51.47±3.01 และ 7.95±3.17 ตามลำดับ

1.2 อัตราการตายของหอย

จากการทดลองใช้หอยแมลงภู่บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาขนาดน้ำหนัก 8.56 ± 0.57 กรัม (น้ำหนักเปียก) / 1 ตัว ที่อัตราความหนาแน่น 4 ระดับ คือ ชุดควบคุม, 2.14, 4.28 และ 8.56 กรัม/ลิตร ปรากฏว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 4 วัน หอยมีอัตราการตายสะสมเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0 ถึง 8.67 โดยชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม) และ 2.14 กรัม/ลิตร ไม่มีหอยตาย ส่วนชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 8.56 กรัม/ลิตร เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 วัน เริ่มมีหอยตาย และมีอัตราการตายสะสมของหอยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป โดยมีอัตราการตายสะสมเฉลี่ยมากที่สุดร้อยละ 8.67 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 4.28 กรัม/ลิตร โดยชุดการทดลองนี้เริ่มมีหอยตายที่ระยะเวลา 3 วัน และมีอัตราการตายของหอยเพิ่มขึ้นที่ 4 วัน เช่นกัน โดยมีอัตราการตายสะสมเฉลี่ยของหอยร้อยละ 6.00 ซึ่งอัตราการตายของหอยเกิดจากเมื่อหอยแมลงภู่มีการกรองกินอาหารจะมีการขับถ่ายของเสียออกมา “มูลเทียม” โดยเมื่อหอยแมลงภู่กรองตะกอนแขวนลอยเข้าไป หอยจะไม่ได้รับพลังงานจากตะกอนที่กรองเข้าไปทั้งหมด เนื่องจากมีตะกอนบางส่วนที่ไม่ได้ย่อยและดูดซับเข้าไปสู่ตัวหอยได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้หอยเสียพลังงานเนื่องจากการกรองน้ำและสร้างมูลเทียม หากความหนาแน่นของหอยมากก็จะมีการปล่อยมูลเทียมออกมามาก ทำให้เกิดปัญหาในระบบบำบัดทำให้คุณภาพน้ำลดลง เช่น สารอินทรีย์และแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ออกซิเจนในน้ำมีระดับต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของหอยลดลง หรือมีการตายของหอยเกิดขึ้น (พุทธ ส่องแสงจินดา และ สำรอง อินเอก, 2546) ดังนั้นชุดทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่หนาแน่น 8.56 และ 4.28 กรัม/ลิตร จึงมีการตายของหอยแมลงภู่เกิดขึ้น (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 อัตราการตายของหอยแมลงภู่ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา เป็นระยะเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**วันที่**				**อัตราการตายของหอย (ร้อยละ)**
		1	**2**	**3**	**4**	
2.14	1	-	-	-	-	0
	2	-	-	-	-	0
	3	-	-	-	-	0
	4	-	-	-	-	0
	5	-	-	-	-	0
	เฉลี่ย					0
4.28	1	-	-	-	1	3.33
	2	-	-	1	3	13.33
	3	-	-	-	-	0
	4	-	-	-	2	6.67
	5	-	-	2	-	6.67
	เฉลี่ย					**6.00**
8.56	1	-	-	2	4	10
	2	-	-	-	2	3.33
	3	-	1	-	5	10
	4	-	-	-	7	11.67
	5	-	-	2	3	8.33
	เฉลี่ย					**8.67**

1.3 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อน และหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนาม

จากการทดลองใช้สาหร่ายมงกุฎหนามบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่ความหนาแน่น 4 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม), 0.1, 1 และ 10 กรัม (น้ำหนักเปียก)/ลิตร พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนาม (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำก่อนบำบัด	คุณภาพน้ำหลังบำบัด			
		ชุดควบคุม	สาหร่าย 0.1 กรัม/ลิตร	สาหร่าย 1 กรัม/ลิตร	สาหร่าย 10 กรัม/ลิตร
คลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.)	208.54±0.00	115.22±8.04	121.05±1.89	130.12±3.90	134.46±6.22
แอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.)	0.2184±0.00	0.0898±0.0029	0.0787±0.0043	0.0738±0.0034	0.0962±0.0118
ไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/ล.)	0.0409±0.00	0.0438±0.0023	0.0176±0.0016	0.0094±0.0014	0.0145±0.0027
ไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ล.)	0.0641±0.00	0.5120±0.0210	0.0287±0.0038	0.0279±0.0030	0.0199±0.0026
ไนโตรเจนรวม (มก.ไนโตรเจน/ล.)	0.2798±0.00	0.5518±0.0380	0.0474±0.0042	0.0552±0.0051	0.1033±0.0142
ออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสฟอรัส/ล.)	0.2024±0.00	0.3964±0.0489	0.0492±0.0090	0.0440±0.0029	0.0497±0.0074
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	134.78±0.00	119.62±11.76	133.42±5.37	132.80±9.29	142.83±12.10
บีโอดี (มก./ล.)	11.70±0.00	11.00±0.35	10.83±0.24	10.08±0.24	10.91±0.49
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	22.0±0.0	22.4±0.5	22.6±0.4	22.5±0.4	22.5±0.5

1.4 ประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาด้วยวิธี Duncan's multiple range test ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) ของสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา (ค่าเฉลี่ย$\pm$ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด))

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	สาหร่าย 0.1 กรัม/ลิตร	สาหร่าย 1 กรัม/ลิตร	สาหร่าย 10 กรัม/ลิตร
คลอโรฟิลล์ เอ	44.75 ± 3.86^{b} (41.24, 50.31)	41.95 ± 0.91^{b} (40.99, 43.20)	37.60 ± 1.87^{a} (35.11, 39.95)	35.52 ± 2.98^{a} (32.21 , 38.45)
แอมโมเนีย	58.88 ± 1.31^{a} (60.35, 57.14)	63.96 ± 1.99^{b} (61.08, 65.93)	66.21 ± 1.58^{b} (64.15, 67.86)	55.95 ± 5.42^{a} (48.08, 63.19)
ไนไตรท์	-7.09 ± 5.60^{a} (-13.94, 1.47)	56.97 ± 3.90^{b} (52.32, 62.84)	77.02 ± 3.54^{c} (73.10, 82.15)	64.55 ± 6.60^{b} (54.52, 71.88)
ไนเตรท	-698.75 ± 32.72^{a} (-753.82, -675.66)	55.23 ± 5.98^{b} (48.05, 63.34)	56.47 ± 4.65^{b} (50.55, 61.93)	68.95 ± 4.04^{b} (62.56, 73.17)
ไนโตรเจนรวม	-97.21 ± 13.56^{a} (-113.62, -81.92)	83.06 ± 1.50^{c} (81.74, 85.52)	80.27 ± 1.84^{c} (77.27, 81.92)	63.08 ± 5.08^{b} (54.90, 68.80)
ออร์โธฟอสเฟต	-95.85 ± 24.18^{a} (-130.19, -69.07)	75.69 ± 4.46^{b} (70.60, 81.82)	78.26 ± 1.46^{b} (76.28, 80.24)	75.44 ± 3.64^{b} (70.70, 78.66)
ของแข็งแขวนลอย	11.24 ± 8.73^{b} (2.87, 25.46)	1.01 ± 3.98^{ab} (-4.39, 4.56)	1.47 ± 6.89^{ab} (-6.71, 10.56)	-5.96 ± 8.98^{a} (-15.60, 6.59)
บีโอดี	5.98 ± 3.02^{a} (1.71, 10.26)	7.40 ± 2.01^{a} (5.98, 10.26)	13.85 ± 2.04^{b} (10.26, 15.38)	6.75 ± 4.15^{a} (1.71, 13.25)

หมายเหตุ ในแนวนอนตัวอักษรภาษาอังกฤษยกกำลังที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนามที่ระดับความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม) 0.1, 1 และ 10 กรัม/ลิตร ในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอย และบีโอดี พบว่า สาหร่ายมงกุฎหนามมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม และออร์โธฟอสเฟตได้ดี โดยชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายมงกุฎหนาม 1 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนโตรเจนรวม และออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 66.21 $\pm$ 1.58, 77.02 $\pm$ 3.54, 80.27 $\pm$ 1.84 และ 78.26 $\pm$ 1.46 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ซึ่งการลดลงของสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสดังกล่าวเกิดจากสาหร่ายมงกุฎหนามดูดซึมไปใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างโปรตีนและการเจริญเติบโต ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท (Hargreaves, 1998) นอกจากนี้จากการทดลองจะเห็นได้ว่าชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียเช่นเดียวกับชุดทดลอง ซึ่งการลดลงของแอมโนเนียในชุดควบคุมนี้อาจเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่นของแบคทีเรียที่ติดมากับน้ำ (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543) โดยเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ทำให้ปริมาณไนไตรท์ และไนเตรท ในชุดควบคุมมีค่าสูงขึ้น (Hargreaves, 1998)

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอย พบว่าชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากการลดลงของคลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอย ไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากสาหร่ายมงกุฎหนาม แต่เกิดขึ้นจากกระบวนการตกตะกอน ซึ่งเป็นกระบวนการทางกายภาพ Songsangjinda *et al* (อ้างถึงใน พุทธ ส่องแสงจินดา และสำรอง อินเอก, 2546) และจากการทดลองยังพบว่า ความหนาแน่นของสาหร่ายที่หนาแน่นมากจะทำให้เกิดการบดบังแสง ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัด และการเจริญเติบโตของสาหร่ายไม่ดี สาหร่ายเกิดการเน่าเปื่อยทำให้ตะกอนในชุดทดลองเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดจึงลดลงเมื่อสาหร่ายหนาแน่นขึ้น

จากการศึกษานี้จึงพบว่าสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร เป็นความหนาแน่นที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาร่วมกับหอยแมลงภู่ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาดีกว่าชุดทดลองอื่นๆ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต และบีโอดี สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริวรรณ คิดประเสริฐ (2538) ซึ่งศึกษาการใช้สาหร่าย 3 ชนิด ได้แก่ *Caulerpa macrophysa, Sargassum polycystum* และ *Gracilaria salicornia* เพื่อช่วยลดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่า อัตราการดูดซึมแอมโมเนียและไนเตรทของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ที่ความหนาแน่น 1 กรัมต่อลิตร ดีกว่าที่ความหนาแน่น 5 และ 10

กรัมต่อลิตร และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีความโปร่งใสขึ้น มีคุณภาพดีกว่าตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทะเล โดยความหนาแน่นของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นหรือมากเกินไป จะทำให้เกิดการบังแสงกันเอง ทำให้สาหร่าย บางส่วนเริ่มเน่าและตายไป ในบางพารามิเตอร์จะเห็นว่าชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าชุดการทดลอง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอย

2. ศึกษาประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

2.1 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อน และหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม

การทดลองใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยให้มีกลุ่มทดลองที่บำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามร่วมกับหอยแมลงภู่ในตู้เดียวกันเป็นเวลา 8 วัน และกลุ่มทดลองที่บำบัดด้วยหอยแมลงภู่เป็นเวลา 4 วันตามด้วยการบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามอีกเป็นเวลา 4 วัน และชุดควบคุม พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยทั้ง 3 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม เป็นระยะเวลา 8 วัน (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	**คุณภาพน้ำก่อนบำบัด**	**คุณภาพน้ำหลังบำบัด**		
		ชุดควบคุม	**หอย+สาหร่าย (ตู้เดียว)**	**หอย+สาหร่าย (แยกตู้)**
คลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.)	209.30±0.00	60.25±0.85	29.30±1.52	37.67±3.33
แอมโมเนีย(มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.)	0.5293±0.00	0.1087±0.0054	0.3123±0.0332	0.1111±0.0090
ไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/ล.)	0.0439±0.00	0.2140±0.0080	0.0781±0.0061	0.0026±0.0005
ไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ล.)	0.0671±0.00	0.1021±0.0081	0.0275±0.0037	0.0228±0.0041
ไนโตรเจนรวม (มก.ไนโตรเจน/ล.)	0.5963±0.00	0.2248±0.0544	0.3398±0.0222	0.0895±0.0053
ออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสฟอรัส/ล.)	0.1008±0.00	0.2635±0.0209	0.0341±0.0029	0.0131±0.0017
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	146.87±0.00	109.15±11.41	80.78±3.43	45.53±2.60
บีโอดี (มก./ล.)	14.15±0.00	13.18±0.78	13.65±0.43	12.86±0.19
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	23.0±0.0	23.8±0.2	23.8±0.1	23.8±0.2

2.2 ประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาด้วยวิธี Duncan's multiple range test ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพ (ร้อยละ) ของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา เป็นระยะเวลา 8 วัน (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด , สูงสุด))

คุณภาพน้ำ	ชุดควบคุม	หอย+สาหร่าย (ตู้เดียว)	หอย+สาหร่าย (แยกตู้)
คลอโรฟิลล์ เอ	71.21 ± 0.41^{a} (70.52, 71.56)	86.00 ± 0.73^{c} (85.10, 87.05)	82.00 ± 1.59^{b} (80.82, 84.70)
แอมโมเนีย	79.46 ± 1.02^{b} (78.37, 81.11)	41.00 ± 6.28^{a} (30.95, 48.12)	79.01 ± 1.70^{b} (76.42, 80.99)
ไนไตรท์	-387.47 ± 18.14^{a} (-407.06, -368.79)	-77.90 ± 13.95^{b} (-100.23, -62.64)	94.08 ± 1.07^{c} (93.17, 95.44)
ไนเตรท	-52.16 ± 12.03^{a} (-71.54, -38.45)	59.02 ± 5.50^{b} (53.06, 66.32)	66.02 ± 6.16^{c} (58.27, 73.17)
ไนโตรเจนรวม	62.30 ± 9.12^{b} (53.38, 76.22)	43.02 ± 3.73^{a} (37.08, 46.13)	84.99 ± 0.89^{c} (84.22, 86.42)
ออร์โธฟอสเฟต	-161.41 ± 20.71^{a} (-184.92, -133.53)	66.19 ± 2.88^{b} (62.00, 69.15)	87.00 ± 1.72^{c} (85.12, 89.09)
ของแข็งแขวนลอย	25.68 ± 7.77^{a} (13.47, 32.85)	45.00 ± 2.33^{b} (41.62, 47.38)	69.00 ± 1.77^{c} (67.00, 70.61)
บีโอดี	6.84 ± 5.53^{ab} (0.35 , 13.92)	3.53 ± 3.02^{a} (1.06, 8.13)	9.12 ± 1.38^{b} (8.13, 10.95)

หมายเหตุ ในแนวนอนตัวอักษรยกกำลังที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และบีโอดี ของชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (ตู้เดียวกัน) และชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) พบว่าชุดทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยส่วนใหญ่ในแต่ละพารามิเตอร์ดีกว่าชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายหนามร่วมกับหอยแมลงภู่ (ตู้เดียวกัน) โดยเฉพาะในการบำบัดไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม และออร์โธฟอสเฟต (ตารางที่ 9) ซึ่งอาจเกิดจากการใช้ระบบที่มีการผสมผสานระหว่างหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม ทำให้หอยแมลงภู่ช่วยกรองของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำออกบางส่วนทำให้น้ำที่ส่งต่อมายังสาหร่ายมีความใส แสงส่องถึงได้ดีทำให้สาหร่ายสามารถใช้แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างโปรตีน และการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์ และไนเตรทของชุดการทดลองนี้จึงมีค่าค่อนข้างสูง สอดคล้องกับการศึกษาของ วราภรณ์ แก้วไทย และคณะ (2547) ที่ทำการทดลองเลี้ยงสาหร่ายผมนาง สาหร่ายพริกไทย และสาหร่ายมงกุฎหนามในบ่อดินพบว่าน้ำที่มีลักษณะขุ่นจะทำให้มีตะกอนมาเกาะตัวสาหร่ายค่อนข้างมาก การเจริญเติบโตของสาหร่ายจึงไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนระบบที่ใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม(ตู้เดียวกัน) จะต้องทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามที่ระยะเวลา 8 วัน ซึ่งเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นหอยจะมีการปล่อยของเสียออกมาในรูปมูลเทียม ทำให้แอมโมเนียในน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดบัดแอมโมเนียจึงมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และชุดทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่เป็นเวลา 4 วันตามด้วยการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามอีกเป็นเวลา 4 วัน

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย พบว่าชุดควบคุม และชุดทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่เป็นเวลา 4 วันตามด้วยการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามอีกเป็นเวลา 4 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียใกล้เคียงกัน ซึ่งการลดลงของแอมโมเนียในชุดควบคุมนั้นสอดคล้องกับการทดลองที่ 2 คือชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียที่สูง ในขณะที่ปริมาณไนเตรท และไนไตรท์กลับมีประสิทธิภาพเป็นลบ ทำให้คุณภาพน้ำลดลง (ปริมาณไนเตรท และไนไตรท์เพิ่มขึ้น) (ตารางที่ 8) ซึ่งการลดลงของแอมโมเนียในชุดควบคุมเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่นของแบคทีเรียที่ติดมากับน้ำ (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543) โดยเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรท

จะเห็นได้ว่ากลไกที่ช่วยให้การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ของชุดการทดลองที่ประกอบด้วยหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม คือ การผสมผสานจุดเด่นของ

หอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนามเข้าด้วยกัน โดยการใช้หอยแมลงภู่กรองกินตะกอนแขวนลอยในน้ำ ทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยลดลงน้ำจึงใสขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการใช้หอยแมลงภู่บำบัดน้ำจะมีของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของหอยในรูปตะกอนอินทรีย์ของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกมาจำนวนมาก ซึ่งถ้าไม่จัดการให้ดีจะทำให้น้ำ และหอยเกิดความเสียหายได้ (พุทธ ส่องแสงจินดา และสำรอง อินเอก, 2546) ส่วนระบบที่ใช้สาหร่ายมงกุฎหนามก็จะมีความเหมาะสมในการบำบัดสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงกุ้งและจากการขับถ่ายของเสียของหอย ดังนั้นเมื่อนำจุดเด่นของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามมาผสมผสานกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.3 อัตราการตายของหอย

จากการทดลองใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 8.56 ± 0.57 กรัม (น้ำหนักเปียก) / ตัว โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (ตู้เดียวกัน) และชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) ปรากฏว่าที่ระยะการทดลอง 8 วัน มีอัตราการตายสะสมเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.67 ถึง 10.67 โดยชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีการตายของหอยร้อยละ 0.67 และชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (ตู้เดียวกัน) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 4 วัน เริ่มมีหอยตาย และมีอัตราการตายสะสมของหอยเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยมีอัตราการตายสะสมเฉลี่ยร้อยละ 10.67 (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 อัตราการตายของหอยแมลงภู่ที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	ซ้ำที่	วันที่								อัตราการตายของหอย (ร้อยละ)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	4	-	-	-	1	-	-	-	-	3.33
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	เฉลี่ย									**0.67**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	-	-	-	-	1	-	-	3	13.33
	2	-	-	-	-	-	1	1	3	16.67
	3	-	-	-	-	-	-	2	-	6.67
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	5	-	-	-	-	-	-	1	4	16.67
	เฉลี่ย									**10.67**

3. อัตราการตายและอัตราการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา

จากการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม พบว่าที่ระยะเวลาการทดลอง 8 วัน ชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่สุด เพราะว่ามีความสามารถในการบำบัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอย และบีโอดี ร้อยละ 82.00±1.59, 79.01±1.70, 94.08±1.07, 66.02±6.16, 84.99±0.89, 87.00±1.72, 69.00±1.77 และ 9.12±1.38 ตามลำดับ โดยที่หอยไม่ตาย โดยเหตุนี้จึงเลือกชุดการทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มาเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษา

อัตราการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นระยะเวลา 88 วัน มีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการเปลี่ยนถ่าย ได้ผลการทดลองดังนี้

3.1 การเจริญเติบโตและอัตราการตายของหอยแมลงภู่

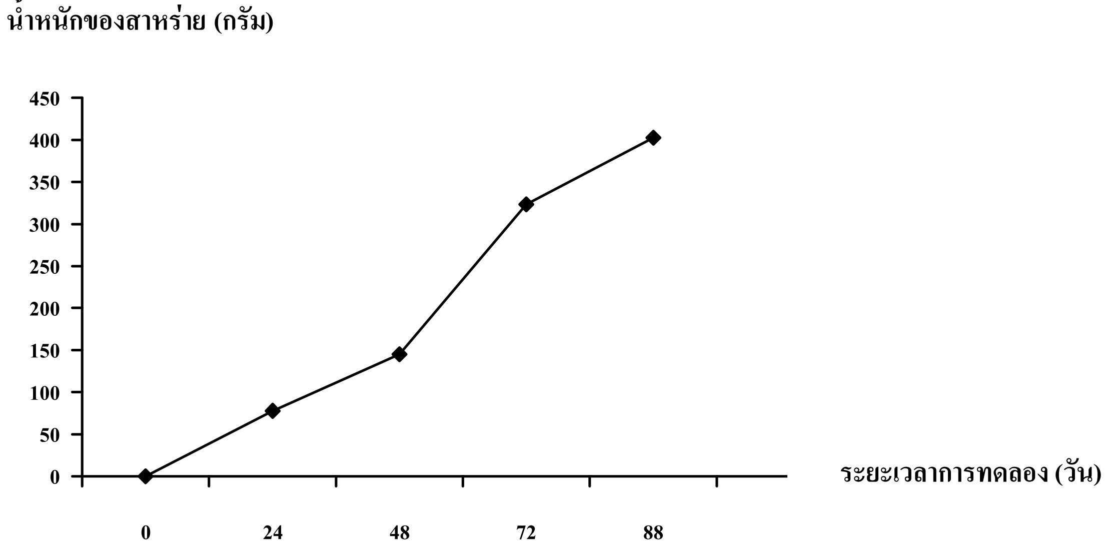
จากการศึกษาการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ ที่ความหนาแน่น 2.14 กรัมต่อน้ำทิ้ง 1 ลิตร และสาหร่ายมงกุฎหนาม ที่ความหนาแน่น 1 กรัมต่อน้ำทิ้ง 1 ลิตร โดยทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่ในตู้ทดลองด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาเป็นระยะเวลา 4 วัน หลังจากนั้นก็ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำไปยังตู้ที่เลี้ยงสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นระยะเวลา 4 วัน เก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการเปลี่ยนถ่ายมาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลน้ำหนัก อัตราการตายของหอยแมลงภู่ และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎหนาม พบว่า อัตราการตายของหอยแมลงภู่เริ่มพบในวันที่ 24, 40, 72 และ 80 โดยตลอดระยะเวลาการทดลองหอยแมลงภู่มีอัตราการตายเฉลี่ยร้อยละ 4.0 (ตารางที่ 11) โดยอัตราการตายของหอยแมลงภู่ที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา เนื่องจากในช่วงวันที่ 24, 40 และ 80 ค่าความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ภายหลังการทดลอง พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.78 กรัม/วัน หรือเพิ่มขึ้นจาก 129.80 กรัม เป็น 190.50 กรัม หรือมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.22%/ตัว/วัน ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าการศึกษาของ ธนิษฐา (2537) อ้างถึงใน ประทีป สองแก้ว (2543) ที่ทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่ขนาดน้ำหนักเปียกเฉลี่ย 20 กรัม/ตัว ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่า มีอัตราการเติบโตเท่ากับร้อยละ 0.074/ตัว/วัน ซึ่งเกิดจากในการทดลองครั้งนี้จะเลือกใช้หอยแมลงภู่ที่มีขนาด น้ำหนักเปียกเฉลี่ย 8.56$\pm$0.57 กรัม/ตัว แสดงให้เห็นว่าการใช้หอยที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าการใช้หอยขนาดใหญ่ (ประทีป สองแก้ว, 2543)

ตารางที่ 11 อัตราการตายของหอยแมลงภู่ที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 2.14 กรัม/ลิตร ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม เป็นเวลา 88 วัน

ซ้ำ	ระยะเวลาการทดลอง (วัน)											อัตราการตายของหอย (ร้อยละ)
	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	
1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3.33
2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3.33
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	10.00
5	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3.33
อัตราการตายเฉลี่ยสะสม (ร้อยละ)												**4.00**
อัตราการรอดตาย (ร้อยละ)												**96.00**

3.2 การเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎหนาม

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎหนาม ที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร โดยทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 4 วัน มีการชั่งน้ำหนักสาหร่ายทุก 3 สัปดาห์



***ภาพที่* 4** น้ำหนักของสาหร่ายมงกุฎหนามที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายแบบครั้งเดียว (เนื่องจากการทดลองของคณิตและดุสิต (2531) ที่เลี้ยงสาหร่ายผมนางบริเวณทะเลสาบตอนนอก โดยทดลองเลี้ยงสาหร่ายผมนางระยะเวลา 3 เดือน มีการเก็บเกี่ยวสาหร่ายแบบเดือนละครั้งและแบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว มีน้ำหนักสาหร่ายเมื่อเริ่มต้นทดลอง 18 กิโลกรัม พบว่าการเก็บเกี่ยวเดือนละครั้งได้ผลผลิตรวม 88.70 กิโลกรัม และการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบครั้งเดียวได้ผลผลิต 97.10 กิโลกรัม) พบว่าน้ำหนักของสาหร่ายเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 60.00 กรัม เป็น 78.00, 145.00, 323.10 และ 402.50 กรัม ในวันที่ 24, 48, 72 และ 88 ตามลำดับ โดยน้ำหนักของสาหร่ายมีการเพิ่มขึ้นในวันที่ 24 เท่ากับ 18 กรัม เพิ่มขึ้นในวันที่ 48 เท่ากับ 67 กรัม เพิ่มขึ้นในวันที่ 72 เท่ากับ 178.10 กรัม และเพิ่มขึ้นในวันที่ 88 เท่ากับ 79.40 กรัม (ภาพที่ 4 ตารางภาคผนวกที่ ง. 1) จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าสาหร่ายมงกุฎหนามมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าในช่วงเวลา 24 วันแรก แต่หลังจากนั้นในช่วงวันที่ 24 และ 48 สาหร่ายมงกุฎหนามเริ่มมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ธวัช ศรีวีระชัย และสุริยา แพงดี (2548) ที่ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายเขากวาง *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva และ สาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในบ่อบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอนุบาลสัตว์น้ำ พบว่าสาหร่ายมงกุฎหนามมีการเจริญเติบโต

ช้าในช่วง 15 วันแรก ซึ่งอาจมีผลมาจากความบอบช้ำของสาหร่ายที่ใส่ในถุงอวนและใช้เวลาในการปรับสภาพ แต่หลังจาก 45 วัน สาหร่ายมงกุฎหนามจะมีการเจริญเติบโตสูงขึ้นทั้งนี้คงเป็นผลมาจากการที่สาหร่ายปรับสภาพได้ดี ทัลลัสเริ่มมีการเจริญเติบโตออกจากถุงอวนในลักษณะโตออกทุกทิศทาง และการให้อากาศตลอดเวลาทำให้มวลน้ำเคลื่อนที่จากข้างล่างสู่ข้างบน ทำให้เกิดการหมุนเวียนของมวลน้ำ แร่ธาตุในตู้ ทำให้สาหร่ายใช้แร่ธาตุในตู้ได้อย่างเต็มที่ (ธวัช ศรีวีระชัย และสุริยา แพงดี, 2548)

แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าสาหร่ายจะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 48 และ 72 หลังจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะเริ่มลดลง เนื่องจากในช่วง 72 วันแรก สาหร่ายมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นมากทำให้ความหนาแน่นของสาหร่ายเพิ่มขึ้น จนเกิดการบังแสงกันเอง สาหร่ายจะเริ่มโตช้าลง บางส่วนเริ่มเน่าและตายไป สอดคล้องกับการศึกษาของ อัจฉริยา แก้วมีศรี (2544) ซึ่งได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius โดยใช้สาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia พบว่า จากการเลี้ยงสาหร่ายผมนาง ในบ่อรับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้ผลผลิตสาหร่ายเพิ่มขึ้นจาก 120.00 กิโลกรัม เป็น 430.00 กิโลกรัม และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6, และ 8 เท่ากับร้อยละ 20.91, 24.76, 16.57 และ 15.81 เมื่อเทียบกับสัปดาห์เริ่มต้นจะเห็นว่าสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 จากนั้นจะเริ่มลดลงในสัปดาห์ต่อๆไป และการศึกษาของ เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) ที่ทดลองเลี้ยงสาหร่ายผมนางในบ่อรับน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นใน 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นเริ่มลดลงเช่นกัน โดยมีน้ำหนักเริ่มต้น 8.00 กิโลกรัม และเพิ่มขึ้นเป็น 93.28 กิโลกรัม ในเวลา 8 สัปดาห์ และมีอัตราการเจริญเติบโตในสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 เท่ากับร้อยละ 33.01, 34.22, 32.29 และ 30.07 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุชาติ เตชนราวงศ์ และบุญ บุญเรือง (2531) ที่เลี้ยงสาหร่ายผมนาง 20.00 กิโลกรัม ในกระชังในบ่อเลี้ยงกุ้ง สาหร่ายเจริญเติบโตมากในช่วง 2 เดือนแรกและลดลงต่ำสุดในเดือนที่ 3 มีผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 20.00 กิโลกรัมเป็น 59.50 กิโลกรัม ในการทดลองครั้งนี้มีปัญหาเรื่องตะกอนดินที่มากับน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบางสัปดาห์มีค่อนข้างมากเมื่อสาหร่ายมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้ตะกอนดินจับสาหร่ายและแผงสาหร่ายมากขึ้นตามไปด้วย การทำความสะอาดทำได้ยากขึ้น ตะกอนดินที่ปกคลุมสาหร่ายจะทำให้สาหร่ายที่ไม่ได้รับแสงเริ่มเน่าและตายไป

จากการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของสาหร่ายมงกุฎหนามเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 3.89 กรัม/วัน ซึ่งน้อยกว่าผลการศึกษาของ ธวัช ศรีวีระชัย และสุริยา แพงดี (2548) ซึ่งทำการทดลองกลางแจ้งในบ่อพักน้ำขนาด 800 ตารางเมตร ที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎหนาม เท่ากับ 10.32 กรัม/วัน อาจมีสาเหตุมาจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายในตู้กระจก ให้แสงสว่างโดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนส์ ทำให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงได้ไม่เต็มที่เท่ากับการเลี้ยงกลางแจ้ง

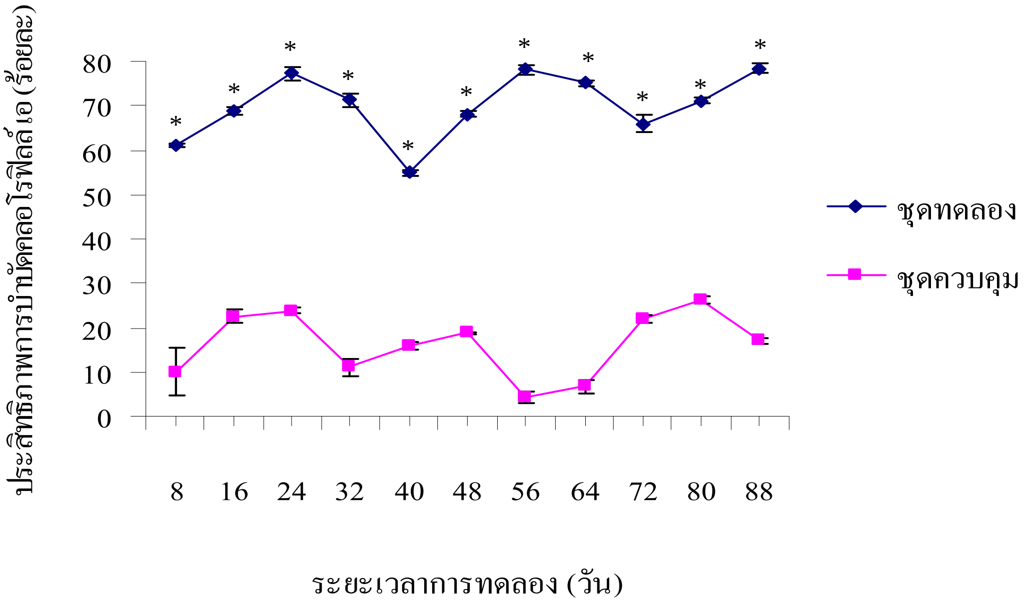
3.2 คุณภาพน้ำที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม

3.2.1 คลอโรฟิลล์ เอ

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่าที่ระยะเวลาการทดลอง 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80 และ 88 วัน ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) (ภาพที่ 5)

โดยประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ ของชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.26 ± 1.22 (วันที่ 56) ถึง 26.30 ± 0.90 (วันที่ 80)

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ ของชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 54.90 ± 0.73 (วันที่ 40) ถึง 78.44 ± 1.20 (วันที่88)



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

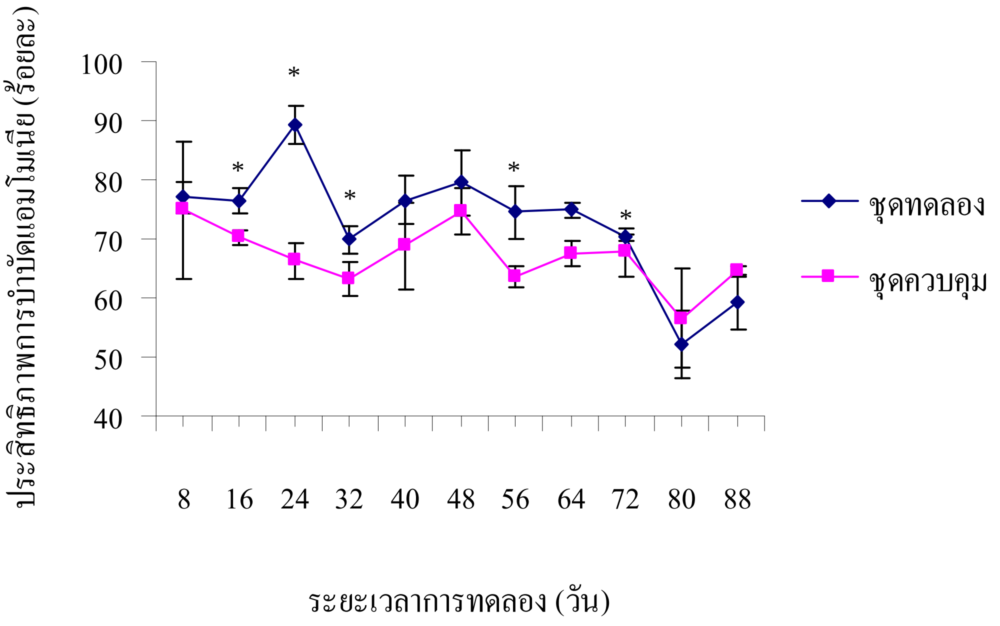
(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$))

3.2.2 แอมโมเนีย

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่าในช่วง ระยะเวลาการทดลอง ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนามากกว่าชุดควบคุม แต่หลังจากนั้นที่ระยะการทดลอง 80 และ 88 วัน พบว่าชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนามากกว่าชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) โดยประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม ในช่วงระยะเวลา 16, 24, 32, 56 และ 64 วัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 6)

ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของชุดควบคุม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 56.56±8.28 (วันที่ 80) ถึง 74.87±11.53 (วันที่ 1)

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 52.15±5.77 (วันที่ 80) ถึง 89.31±3.35 (วันที่ 24)



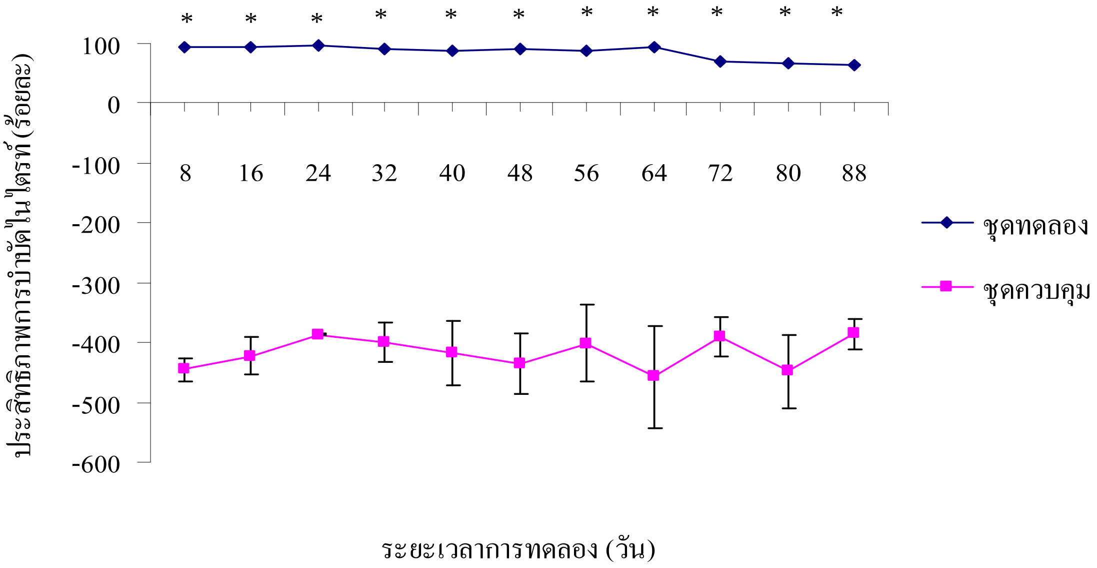
ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$))

3.2.4 ไนไตรท์

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่า ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนามากกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการทดลอง ($p<0.01$) (ภาพที่ 7)

ประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์ของชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 63.89±0.99 (วันที่ 24) ถึง 95.89±0.63 (วันที่ 80) ส่วนชุดควบคุมไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนไตรท์



ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุมและชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

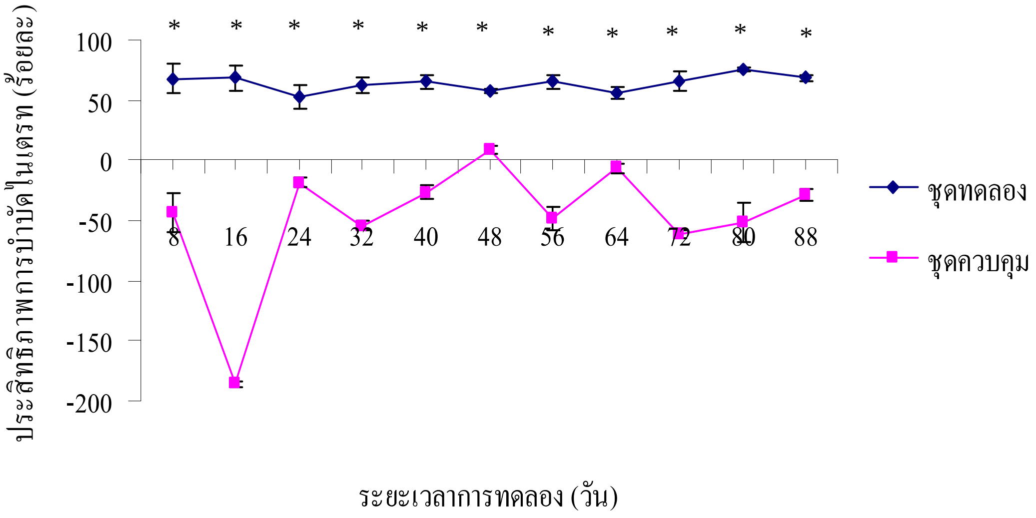
(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$))

3.2.3 ไนเตรท

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่า ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนามากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 8)

ชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรทที่ 48 วัน ร้อยละ 8.19±3.04

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรทของชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 52.49±9.32 (วันที่ 24) ถึง 76.06±1.74 (วันที่ 80)



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทในน้ำทิ้งจากการ เลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

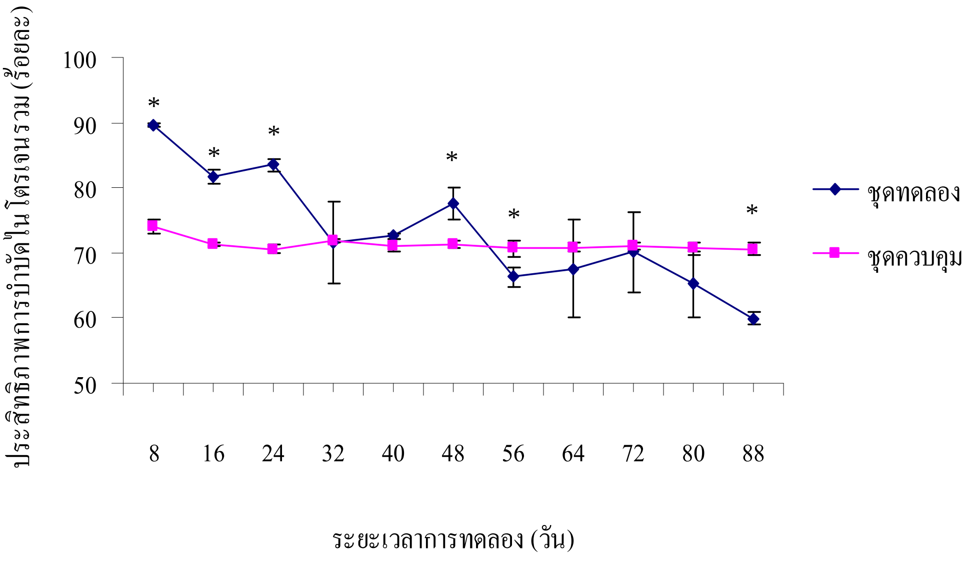
(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$))

3.2.5 ไนโตรเจนรวม

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่าที่ระยะเวลาการทดลอง 8, 16, 24, 40 และ 48 วัน ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนรวมมากกว่าชุดควบคุม ยกเว้นที่ระยะเวลา 32 วัน และระยะเวลาการทดลองหลังจาก 48 วันเป็นต้นไป ปรากฏว่าชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนามากกว่าชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) โดยประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนรวมของชุดทดลองและชุดควบคุมที่ระยะเวลาการทดลอง 8, 16, 24, 48, 56 และ 88 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาพที่ 9)

ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนรวมของชุดควบคุม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 70.60 ± 0.96 (วันที่ 88) ถึง 73.98 ± 1.11 (วันที่ 8)

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนรวมของชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 59.92 ± 0.99 (วันที่ 88) ถึง 89.64 ± 0.26 (วันที่ 8)



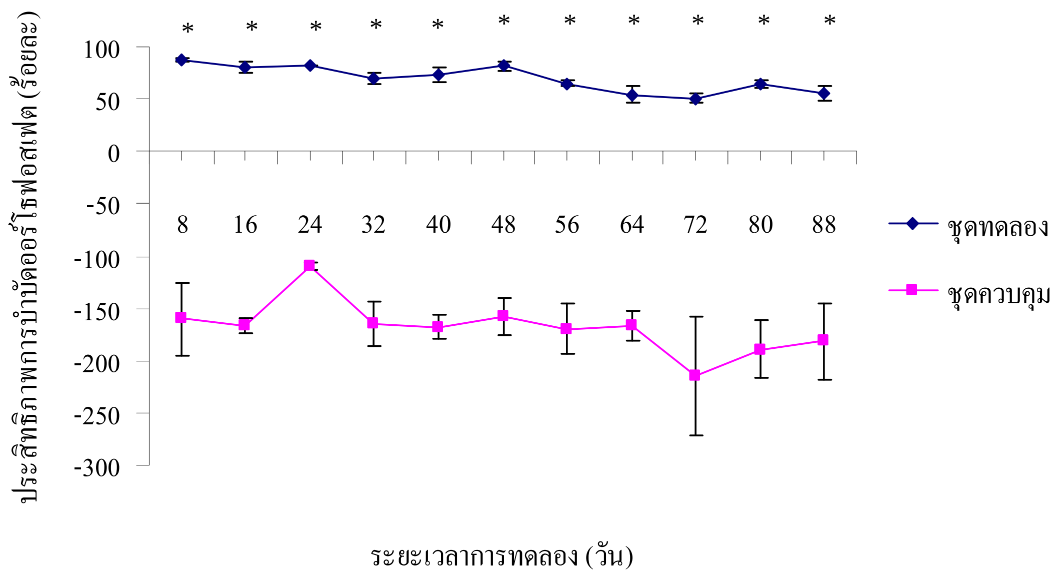
ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$))

3.2.6 ออร์โธฟอสเฟต

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่า ตลอดระยะเวลาการทดลอง ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนามากกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) (ภาพที่ 10)

ประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟตของชุดทดลองมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 51.05±4.55 (วันที่ 72) ถึง 87.05±1.77 (วันที่ 8) ส่วนชุดควบคุม พบว่าไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดออร์โธฟอสเฟต



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

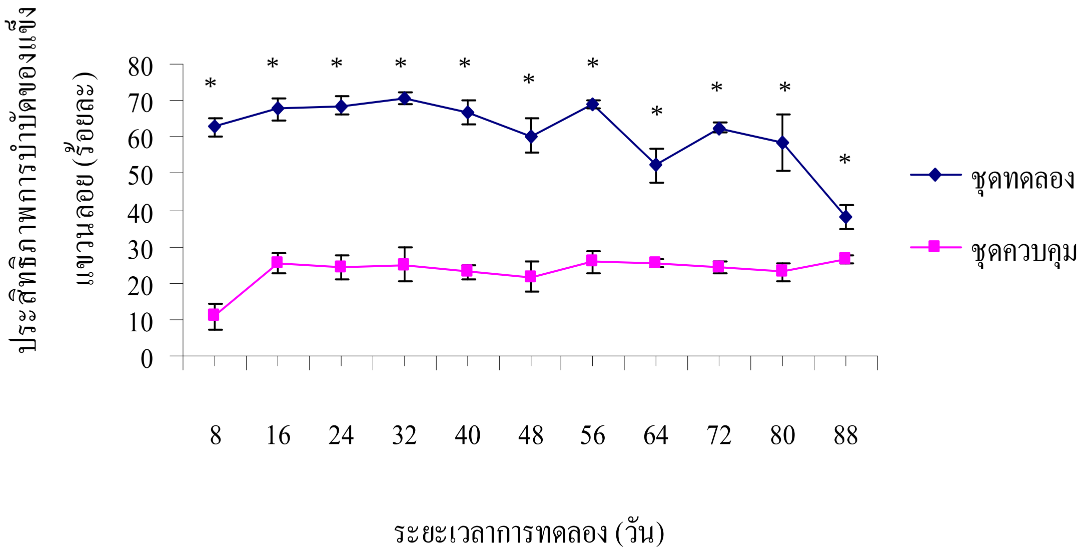
(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$))

3.2.7 ของแข็งแขวนลอย

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่าตลอดระยะเวลาการทดลอง ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยมากกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) (ภาพที่ 11)

ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของชุดควบคุม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 10.88$\pm$3.48 (วันที่ 8) ถึง 26.53$\pm$1.33 (วันที่ 88)

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยของชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 37.98$\pm$3.48 (วันที่ 88) ถึง 70.75$\pm$1.70 (วันที่ 32)



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

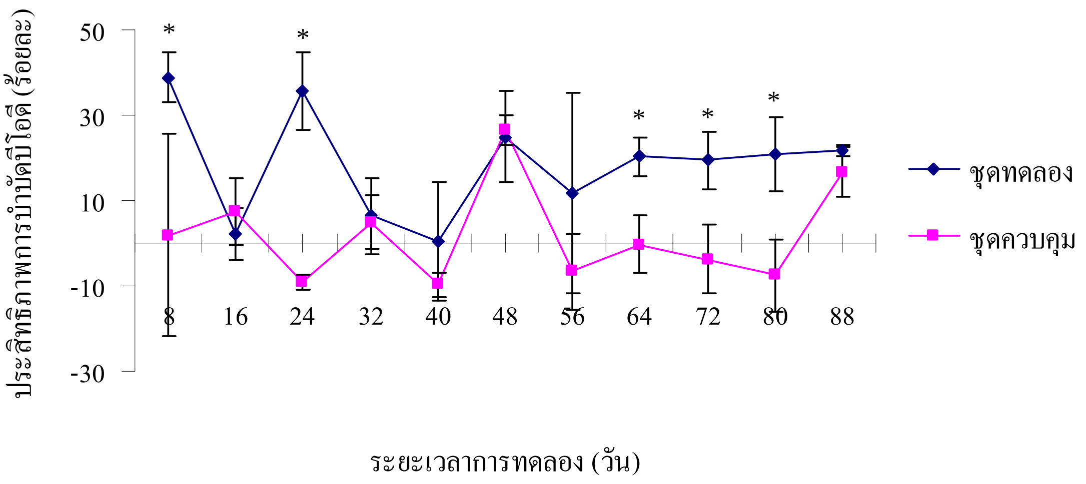
(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$))

3.2.8 บีโอดี

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่าที่ระยะเวลาการทดลอง 8, 24, 32, 40, 56, 64, 72, 80 และ 88 วัน ชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีมากกว่าชุดควบคุม โดยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ระยะเวลาการทดลอง 8, 24, 64, 72 และ 80 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 12)

ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของชุดควบคุม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ -9.67±2.78 (วันที่ 40) ถึง 26.54±3.36 (วันที่ 48)

ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของชุดทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.37±13.95 (วันที่ 16) ถึง 38.90±5.69 (วันที่ 8)

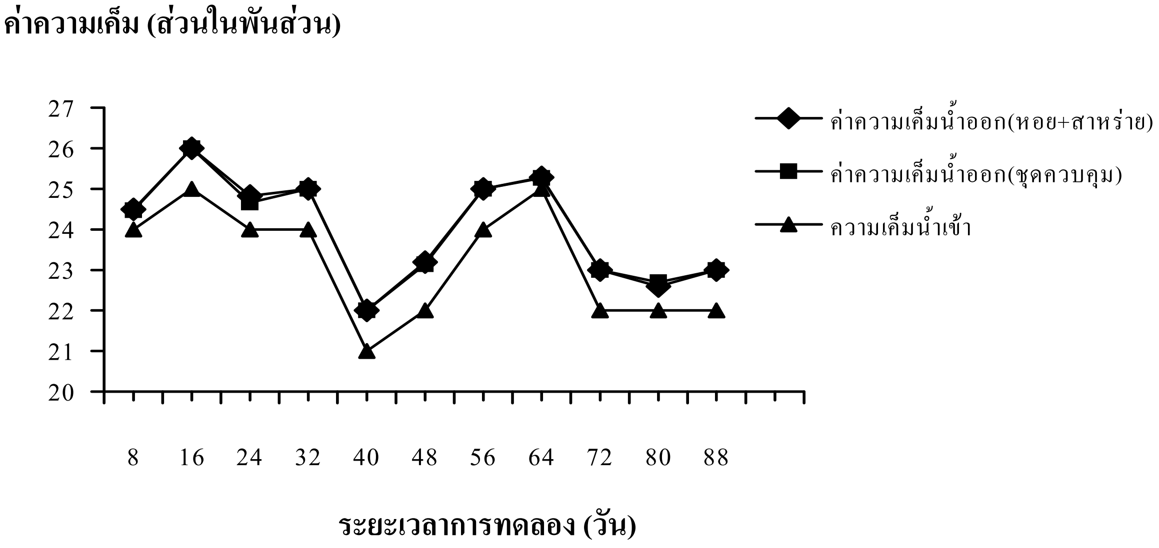


ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

(* หมายถึง ในระยะเวลาการทดลองเดียวกันประสิทธิการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$))

3.2.9 ความเค็ม

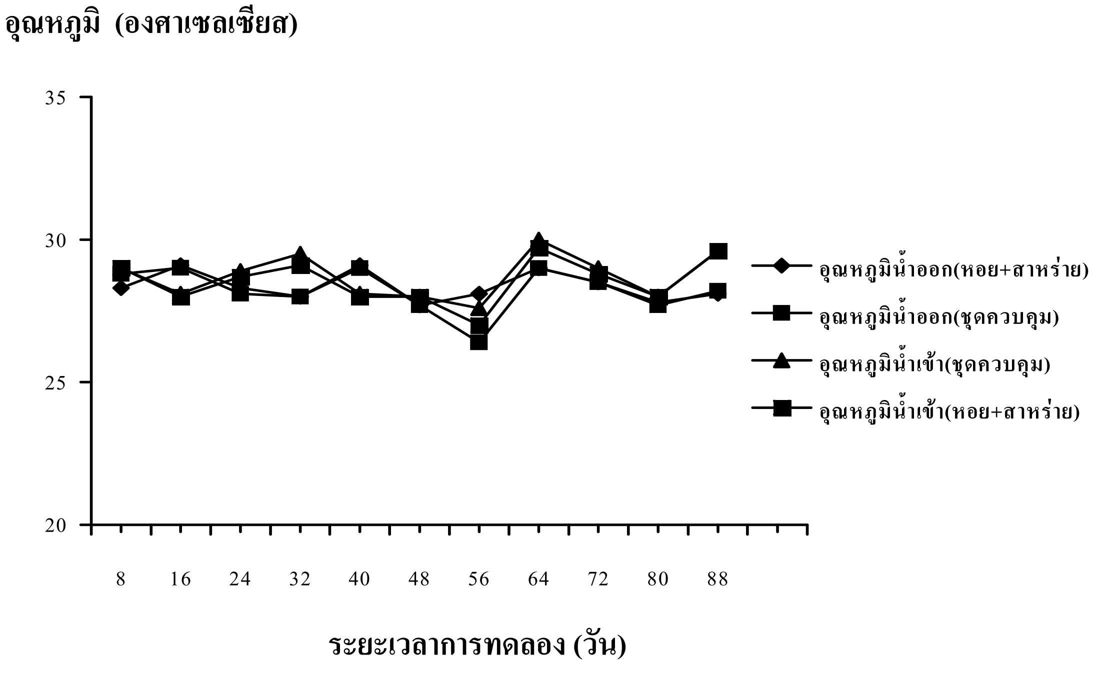
จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม พบว่า ตลอดระยะเวลาการทดลองค่าความเค็มของน้ำในชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้) กับชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) (ภาพที่ 13 และตารางภาคผนวกที่ จ.2) โดยความเค็มของชุดทดลองและชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง 21 - 26 ส่วนในพันส่วน โดยค่าความเค็มของน้ำในการทดลองมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากมีการเก็บน้ำหลายรอบ และจากกราฟจะเห็นว่าในวันที่ 40 ค่าความเค็มของน้ำมีค่าต่ำสุด คือ 21 ส่วนในพันส่วน เนื่องจากก่อนทำการเก็บน้ำ 2 วัน มีฝนตกลงมาเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าความเค็มตลอดระยะเวลาการทดลองถือว่าเป็นความเค็มที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยแมลงภู่ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 20-30 ส่วนในพันส่วน (มนทกานติ ท้ามติ้น และคณะ, 2547)



ภาพที่ 13 ค่าความเค็มในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้)

3.2.10 อุณหภูมิ

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาระหว่างชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามแยกตู้ กับชุดควบคุม พบว่าตลอดระยะเวลาการทดลองค่าอุณหภูมิของน้ำในชุดการทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม(แยกตู้) กับชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) (ภาพที่ 14 และตารางภาคผนวกที่ จ.1) โดยอุณหภูมิก่อนการทดลองของชุดทดลอง และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.5$\pm$0.8 และ 28.7$\pm$0.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลังทดลองของชุดทดลอง และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.4$\pm$0.8 และ 28.4$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ คือ 24-29 องศาเซลเซียส (นิพนธ์ ศิริพันธ์, 2543) และสาหร่ายมงกุฎหนาม คือ 20-28 องศาเซลเซียส (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)



ภาพที่ 14 อุณหภูมิในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม และชุดทดลองที่เลี้ยงหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม (แยกตู้)

บทที่ 4
สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองใช้บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาโดยใช้หอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม พบว่าหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 กรัม/ ลิตร และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร เป็นความหนาแน่นที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาร่วมกัน

2. จากการทดลองจะเห็นว่าหอยแมลงภู่มีประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอยได้ดี ส่วนสาหร่ายมงกุฎหนามมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ดี ดังนั้นเมื่อนำหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยให้หอยแมลงภู่บำบัดก่อนเป็นเวลา 4 วัน จะได้น้ำที่ใสขึ้น จากนั้นจึงถ่ายน้ำต่อไปยังตู้ที่ 2 เพื่อทำการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นเวลา 4 วัน ระบบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามในตู้เดียวกันเป็นเวลา 8 วัน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และบีโอดี ได้ร้อยละ 82.00$\pm$1.59, 79.01$\pm$1.70, 94.08$\pm$1.07, 66.02$\pm$6.16, 84.99$\pm$0.89, 87.00$\pm$1.72, 69.00$\pm$1.77 และ 9.12$\pm$1.38 ตามลำดับ

3. การเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนามที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา โดยทำการเลี้ยงหอยแมลงภู่ (2.14 กรัม/ ลิตร) ในตู้ที่ 1 เป็นเวลา 4 วัน แล้วถ่ายน้ำไปเลี้ยงสาหร่ายมงกุฎหนาม (1 กรัม/ลิตร) อีกเป็นเวลา 4 วัน ระยะเวลาการทดลอง 88 วัน ปรากฏว่า หอยแมลงภู่มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย เท่ากับ 0.78 กรัม/วัน และมีอัตราการตายร้อยละ 4.00 ส่วนสาหร่ายมงกุฎหนามมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย เท่ากับ 3.89 กรัม/วัน

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

รูปแบบในการจัดระบบบำบัดที่ผสมผสานจุดเด่นของหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม ถือว่าเป็นรูปแบบที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้หลักการจัดการน้ำโดยให้น้ำทิ้งผ่านบ่อบำบัดที่ใช้หอยแมลงภู่เพื่อบำบัดตะกอนแขวนลอย หลังจากผ่านการกรองตะกอนแล้วจะมีสิ่งขับถ่าย “มูลเทียม” เกิดขึ้นจึงควรมีการจัดการโดยการจัดเก็บออกจากระบบเป็นระยะ ส่วนน้ำที่มีความใสมากขึ้นแต่ยังมีของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ละลายอยู่ให้นำไปผ่านการบำบัดโดยใช้สาหร่ายมงกุฎหนามเพื่อบำบัดสารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่อ แล้วจึงหมุนเวียนกลับไปใช้เลี้ยงกุ้งใหม่ หรือทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และเนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการจึงทำให้ผลที่ได้อาจมีความแตกต่างจากการทดลองในภาคสนาม ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาระบบบำบัดเพื่อให้สามารถนำระบบบำบัดไปใช้จัดการน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงควรทำการวิจัยในภาคสนามในระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้งต่อไป (ภาพที่ 15)

และในขณะเดียวกันควรมีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยในการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดของสาหร่ายมงกุฎหนาม ในด้านการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายออกเป็นระยะเมื่อพบว่ามีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้วด้วย เนื่องจากการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อความหนาแน่นของสาหร่ายมงกุฎหนามที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งและการเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎหนามลดลง

ภาพที่ 15 แนวคิดในการจัดระบบบำบัดน้ำที่ผสมผสานการใช้ประโยชน์จากหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนามเพื่อหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือจากการจับกุ้งกลับมาใช้ในระบบการผลิตกุ้ง

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2544. การจัดการและแก้ไขปัญหาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. โครงการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งและการควบคุม. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. ดำเนินการศึกษาโดยคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. การตรวจเฝ้าระวังปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในประเทศไทย. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. คุณภาพน้ำและการจัดการ. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.pcd.go.th/Info_serv/water_aquacult.html [11 สิงหาคม 2550]

กรมประมง. 2547. สถานการณ์การผลิต ราคา และการค้ากุ้งของไทย. **จุลสารเศรษฐกิจการประมง**. หน้า 1-11

เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต. 2537. การใช้สาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri*. (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia, ช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรท์, ไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณิต ไชยาคำ และดุสิต ตันวิไลย. 2535. การทดลองใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายผมนางบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2535. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. **อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ชีวิน อรรถสาสน์, วิวัฒน์ เรืองเลิศปัญญากุล และปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2545. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งด้วยระบบชีวภาพ. การประชุมวิชาการกุ้งทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 4 “เทคโนโลยีเพื่อกุ้งไทย กุ้งคุณภาพระดับโลก” 18-19 พฤศจิกายน 2545 ศูนย์ประชุมริมทะเล ระยองรีสอร์ท จังหวัดระยอง. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.

ธวัช ศรีวีระชัย และสุริยะ แพงดี. 2548. การเลี้ยงสาหร่ายเขากวาง *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva และสาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในบ่อบำบัดน้ำทิ้ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 17/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ธวัช ศรีวีระชัย, สุวรรณา วรสิงห์ และสุริยะ แพงดี. 2548. ประสิทธิภาพของสาหร่ายมงกุฎหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Borgesen ในการบำบัดคุณภาพน้ำทะเลและน้ำทิ้งจากโรงเพาะอนุบาลสัตว์น้ำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 18/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิคม ละอองศิริวงศ์, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และ ทองเพชร สันบูกา. 2549. การทดลองใช้สาหร่ายหนาม (*Najas indica* (WILLD) CHANE) กำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2549. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิพนธ์ ศิริพันธ์. 2543. **การเลี้ยงหอยทะเลเศรษฐกิจ**. กองส่งเสริมการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

ประทีป สองแก้ว. 2543. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) แบบพัฒนาโดยใช้หอยตะโกรมกรามขาว (*Crassostrea belcheri* Sowerby). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2538. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พุทธ ส่องแสงจินดา และสำรอง อินเอก. 2546. ประสิทธิภาพของหอยนางรม (*Crassostrea lugubris*) หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*)ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2546. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พุทธ ส่องแสงจินดา, กฤษณา องอาจ และวลีรัตน์ มูสิกะสังข์. 2549. **ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับคุณภาพน้ำทิ้งและตะกอนดินจากการเลี้ยง.** (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.nicaonline.com/articles10/site/view_article.asp?idarticle=2660 [13 สิงหาคม 2550]

แฟรดาซ์ มาเหล็ม. 2536. การศึกษาปริมาณ BOD, คุณภาพน้ำและดินบางประการจากบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาที่มีความหนาแน่นต่างกัน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

มนทกานติ ท้ามติ้น, ธนัญช์ สังกรธนกิจ และอารี ขุนณะ. 2547. การศึกษาประสิทธิภาพของหอยแมลงภู่ (*Perna viridis* Linn., 1758) ในการกรองกินอาหารจากน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง. เอกสารทางวิชาการฉบับที่ 64/2547. สถาบันอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มูลนิธิโลกสีเขียวเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมไทย. 2550. สาหร่ายหนาม/เหงือกปลา. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.greenworld.or.th/beach/AboutBeach/show_seaweed.aspx?NAME=22 [1 มิถุนายน 2550]

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณิต ไชยาคำ. 2537. ผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2537 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2549. **สาหร่ายวิทยา.** พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วราภรณ์ แก้วไทย, วัลลภ ทิมดี และอาภรณ์ เทพานิช. 2547. การทดลองเลี้ยงสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheries*), สาหร่ายพริกไทย (*Caulerpa lentillfera*) และสาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) ในบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 23/2547 สถาบันวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสุราษฎร์ธานี กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิทยา หะวานนท์ และสิริพร ลือชัย. 2542. การทดลองเลี้ยงหอยแมลงภู่แบบแพ. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 13/2542. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์. 2538. การเลี้ยงสาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri*. (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia, แบบผลผลิตสูงในบ่อดิน. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ. 2538. การใช้สาหร่ายทะเลช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การประมง. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สรวิศ เผ่าทองศุข. 2543. **สาหร่าย “ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย”**. หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

สันติ ปริยะวาที, พุทธ ส่องแสงจินดา, สถาพร ดิเรกบุษราคม, ปิติวงษ์ ตันติโชดก และสมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2546. ประสิทธิภาพของสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* J. Agardh ที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย และแววตา ทองระอา. 2536. ผลกระทบจากปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬบริเวณชายฝั่งจังหวัดจันทบุรี. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

สิริ ทุกข์วินาศ. 2535. แนวทางการจัดทำระบบบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 2/2535. สำนักงานพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเล. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุชาติ เตชนราวงศ์ และบุญ บุญเรือง. 2531. การทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำร่วมกับสาหร่ายผมนาง. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุพิศ ทองรอด, ชูชาติ ชัยรัตน์, มนทกาน ท้ามติ้น และอนันต์ ตันสุตะพานิช. 2545. ผลของสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) และสาหร่ายหนาม (*Acanthophora spicifera*) ต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของหอยเป๋าฮื้อ (*Haliotis asinina*, Linne). **วารสารการประมง** 55 : 423-429.

อัจฉรียา แก้วมีศรี. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ, Penaeus monodon Fabricius, โดยใช้สาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri.* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

อุตสาหกรรมกุ้งไทย. 2552. การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.thailandshrimp.com/data/agriculture_vannamei_p0.htm [29 กันยายน 2552]

อุปถัมภ์ ภวภูตานนท์ ณ มหาสารคาม. 2540. การทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบยั่งยืนโดยการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบชีวภาพ. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th edition. Washington, D.C: American Public Health Association.

Apud, F.D. 1988. Prawn Grow-out Practices in Philippines: Biology and Culture of *Penaeus monodon.* Brackishwater Aquaculture Information System, Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center. Philippines.

Cancino, J. M., Munoz, M. and Orellana, M. C. 1987. Effect of epifauna on algae growth and quality of the agar produced by *Gracilaria verrucosa*. **Hydrobiologia**. 151/152: 233-237.

Carole, A., Lembi, J. and Waaland, R. 1988. **Algae and Human Affair**. 1st ed. New York: Cambridge University Press.

De Boer, J.A. 1978. Effects of nutrient enrichment on growth and phycocolloid content in *Gracilaria foliifera* and *Neaogardhiella baileyi*. Proceedings of the Ninth International Seaweed Symposium California.

Enander, M. and Hasselstrom, M. 1994. An experimental waste water treatment system for a shrimp farm. **Infofish International** 4: 56-61.

Gerlach, S.A. 1982. **Marine Pollution: Diagnosis and Therapy**. New York: Springer-Verlag.

Hansen, H.P. and Koroleff, F. 1999. **Determination of Nutrients**. In: Grasshoff, K., Kremling, M. and Ehrhardt, M.(eds) 3 rd Edtion. pp. 159-228.

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

Skjolstrup, J., Nielsen, P.H., Frier, J.O. and McLean, E. 1998. Performance characteristics of fluidized bed biofilters in a novel laboratory-scale recirculation system for rainbow trout : nitrification rates, oxygen consumption and sludge collection. **Aquacultural Engineering** 18: 265.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. **A Practical Handbook of Seawater Analysis second edition**. Fisheries Research Board of Canada. 284 pp.

Tookwinas, S. and Thiraksapan, T. 1997. Application of green mussel (*Perna viridis*) in biological treatment of effluents from an intensive marine shrimp farm. **Phuket Marine Biological Center Special Publication** 17: 141-144.

Tookwinas, S., Songsangjinda, P., Matsuda, O., Na-anan, P. and Ekpanithanpong, U. 2001. Experiment on integrated physical and biological treatment processes for treatment of intensive marine shrimp farming's effluent. In Proceedings of the JSPS – NRCT Seminar on Sustainable Shrimp Culture and Health Management Diseases and Environment. Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan.

Troell, M., Ronnback, P., Halling, C., Kautsky, N. and Buschmann. A. 1999. Ecological engineering in aquaculture: Use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. **Applied Phycalogy**. 11: 89-98.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คุณภาพน้ำที่บำบัดด้วยหอยแมลงภู่

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	คลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	259.88	125.66	51.65
	2	259.88	129.20	50.28
	3	259.88	123.00	52.67
	4	259.88	126.05	51.50
	5	259.88	128.64	50.50
	เฉลี่ย±SD	**259.88±0.00**	**126.51 ± 2.50**	**51.32±0.96**
2.14	1	259.88	67.53	74.01
	2	259.88	69.10	73.41
	3	259.88	66.55	74.39
	4	259.88	67.00	74.22
	5	259.88	68.22	73.75
	เฉลี่ย±SD	**259.88±0.00**	**67.68 ± 1.01**	**73.96±0.39**
4.28	1	259.88	55.10	78.80
	2	259.88	49.02	81.14
	3	259.88	52.73	79.71
	4	259.88	48.65	81.28
	5	259.88	51.55	80.17
	เฉลี่ย±SD	**259.88±0.00**	**51.41 ± 2.68**	**80.22±1.03**
8.56	1	259.88	50.45	80.59
	2	259.88	52.41	79.83
	3	259.88	-	-
	4	259.88	-	-
	5	259.88	49.30	81.01
	เฉลี่ย±SD	**259.88±0.00**	**50.72 ± 1.57**	**80.48±0.60**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**แอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
0	1	0.5641	0.2774	58.82
	2	0.5641	0.2863	49.25
	3	0.5641	0.2811	50.17
	4	0.5641	0.2780	50.72
	5	0.5641	0.2837	49.71
	เฉลี่ย±SD	**0.5641±0.00**	**0.2813± 0.0038**	**51.73±4.00**
2.14	1	0.5641	0.5900	-4.59
	2	0.5641	0.5488	2.71
	3	0.5641	0.5545	1.70
	4	0.5641	0.5576	1.15
	5	0.5641	0.6496	-15.17
	เฉลี่ย±SD	**0.5641±0.00**	**0.5801±0.0420**	**-2.84±7.46**
4.28	1	0.5641	0.8230	-45.90
	2	0.5641	0.7770	-37.74
	3	0.5641	0.7870	-39.51
	4	0.5641	0.8150	-44.48
	5	0.5641	0.5290	6.22
	เฉลี่ย±SD	**0.5641±0.00**	**0.7462±0.1229**	**-32.28±21.79**
8.56	1	0.5641	0.9060	-60.61
	2	0.5641	0.9011	-59.74
	3	0.5641	-	-
	4	0.5641	-	-
	5	0.5641	0.9148	-62.17
	เฉลี่ย±SD	**0.5641±0.00**	**0.9073±0.0069**	**-60.84±1.23**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.3 ปริมาณไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	ไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	0.0492	0.0511	-3.86
	2	0.0492	0.0547	-11.18
	3	0.0492	0.0500	-1.63
	4	0.0492	0.0500	-1.63
	5	0.0492	0.0517	-5.08
	เฉลี่ย±SD	**0.0492±0.00**	**0.0515±0.0019**	**-4.68±3.93**
2.14	1	0.0492	0.0306	37.80
	2	0.0492	0.0333	32.32
	3	0.0492	0.0313	36.38
	4	0.0492	0.0321	34.76
	5	0.0492	0.0292	40.65
	เฉลี่ย±SD	**0.0492±0.00**	**0.0313±0.0015**	**36.38±3.14**
4.28	1	0.0492	0.0410	16.67
	2	0.0492	0.0397	19.31
	3	0.0492	0.0399	18.90
	4	0.0492	0.0422	14.23
	5	0.0492	0.0387	21.34
	เฉลี่ย±SD	**0.0492±0.00**	**0.0403±0.0013**	**18.09±2.72**
8.56	1	0.0492	0.0493	-0.20
	2	0.0492	0.0566	-15.04
	3	0.0492	-	-
	4	0.0492	-	-
	5	0.0492	0.0561	-14.02
	เฉลี่ย±SD	**0.0492±0.00**	**0.0540±0.0041**	**-9.75±8.29**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.4 ปริมาณไนเตรท ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	ไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	0.0782	0.0866	-10.74
	2	0.0782	0.0954	-21.99
	3	0.0782	0.0869	-11.12
	4	0.0782	0.0874	-11.76
	5	0.0782	0.0957	-22.38
	เฉลี่ย±SD	**0.0782±0.00**	**0.0904±0.0047**	**-15.60±6.02**
2.14	1	0.0782	0.0796	-1.79
	2	0.0782	0.0859	-9.85
	3	0.0782	0.0728	6.90
	4	0.0782	0.0800	-2.30
	5	0.0782	0.0857	-9.59
	เฉลี่ย±SD	**0.0782±0.00**	**0.0808±0.0054**	**-3.33±6.89**
4.28	1	0.0782	0.0922	-17.90
	2	0.0782	0.0943	-20.59
	3	0.0782	0.0954	-22.00
	4	0.0782	0.0906	-15.86
	5	0.0782	0.0985	-25.96
	เฉลี่ย±SD	**0.0782±0.00**	**0.0942±0.0030**	**-20.46±3.88**
8.56	1	0.0782	0.1000	-27.88
	2	0.0782	0.1450	-85.42
	3	0.0782	-	-
	4	0.0782	-	-
	5	0.0782	0.0634	18.92
	เฉลี่ย±SD	**0.0782±0.00**	**0.1028±0.0409**	**-31.46±52.26**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.5 ปริมาณไนโตรเจนรวม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**ไนโตรเจนรวม (มก.ไนโตรเจน./ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
0	1	0.6339	0.0897	85.85
	2	0.6339	0.0911	85.63
	3	0.6339	0.0921	85.47
	4	0.6339	0.0859	86.45
	5	0.6339	0.0997	84.27
	เฉลี่ย±SD	**0.6339±0.00**	**0.0917±0.0050**	**85.53±0.80**
2.14	1	0.6339	0.4849	23.50
	2	0.6339	0.5105	19.47
	3	0.6339	0.5887	7.13
	4	0.6339	0.5067	20.07
	5	0.6339	0.5847	7.76
	เฉลี่ย±SD	**0.6339±0.00**	**0.5351±0.0481**	**15.59±7.59**
4.28	1	0.6339	0.6238	1.59
	2	0.6339	0.6835	-7.82
	3	0.6339	0.6974	-10.02
	4	0.6339	0.6591	-3.98
	5	0.6339	0.7077	-11.64
	เฉลี่ย±SD	**0.6339±0.00**	**0.6743±0.0336**	**-6.37±5.30**
8.56	1	0.6339	0.7480	-18.00
	2	0.6339	0.6989	-10.25
	3	0.6339	-	-
	4	0.6339	-	-
	5	0.6339	0.6834	-7.81
	เฉลี่ย±SD	**0.6339±0.00**	**0.7101±0.0337**	**-12.02±5.32**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.6 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**ออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
0	1	0.1034	0.3470	-235.59
	2	0.1034	0.3016	-191.68
	3	0.1034	0.2989	-189.07
	4	0.1034	0.3122	-201.93
	5	0.1034	0.2908	-181.24
	เฉลี่ย±SD	**0.1034±0.00**	**0.3101±0.0220**	**-199.90±21.28**
2.14	1	0.1034	0.2511	-142.84
	2	0.1034	0.2927	-183.08
	3	0.1034	0.2024	-95.74
	4	0.1034	0.2000	-93.42
	5	0.1034	0.2108	-103.87
	เฉลี่ย±SD	**0.1034±0.00**	**0.2314±0.0400**	**-123.79±38.68**
4.28	1	0.1034	0.2694	-160.54
	2	0.1034	0.2721	-163.15
	3	0.1034	0.2880	-178.53
	4	0.1034	0.3012	-191.30
	5	0.1034	0.2858	-176.40
	เฉลี่ย±SD	**0.1034±0.00**	**0.2833±0.0129**	**-173.98±12.49**
8.56	1	0.1034	0.2746	-165.57
	2	0.1034	0.3315	-220.60
	3	0.1034	-	-
	4	0.1034	-	-
	5	0.1034	0.3044	-194.39
	เฉลี่ย±SD	**0.1034±0.00**	**0.3035±0.0285**	**-193.52±27.52**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.7 ของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	148.22	126.86	14.41
	2	148.22	124.50	16.00
	3	148.22	120.79	18.51
	4	148.22	127.38	14.06
	5	148.22	110.62	25.37
	เฉลี่ย±SD	**148.22±0.00**	**122.03±6.89**	**17.67±4.65**
2.14	1	148.22	70.95	52.13
	2	148.22	67.65	54.36
	3	148.22	79.30	46.50
	4	148.22	72.23	51.27
	5	148.22	69.52	53.10
	เฉลี่ย±SD	**148.22±0.00**	**71.93±4.46**	**51.47±3.01**
4.28	1	148.22	78.28	47.19
	2	148.22	75.65	48.96
	3	148.22	84.17	43.21
	4	148.22	79.80	46.16
	5	148.22	87.10	41.24
	เฉลี่ย±SD	**148.22±0.00**	**81.00±4.60**	**45.35±3.10**
8.56	1	148.22	100.50	32.20
	2	148.22	103.36	30.27
	3	148.22	-	-
	4	148.22	-	-
	5	148.22	98.00	33.88
	เฉลี่ย±SD	**148.22±0.00**	**100.62±2.68**	**32.12±1.81**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.8 ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่มีความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	บีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	17.53	14.00	20.14
	2	17.53	14.78	15.69
	3	17.53	14.22	18.88
	4	17.53	14.95	14.72
	5	17.53	15.00	14.43
	เฉลี่ย±SD	**17.53±0.00**	**14.59±0.45**	**16.77±2.58**
2.14	1	17.53	16.90	3.59
	2	17.53	16.00	8.73
	3	17.53	15.58	11.12
	4	17.53	15.70	10.44
	5	17.53	16.50	5.88
	เฉลี่ย±SD	**17.53±0.00**	**16.14±0.56**	**7.95±3.17**
4.28	1	17.53	15.16	13.52
	2	17.53	16.00	8.73
	3	17.53	15.90	9.30
	4	17.53	16.55	5.59
	5	17.53	16.00	8.73
	เฉลี่ย±SD	**17.53±0.00**	**15.92±0.50**	**9.17±2.83**
8.56	1	17.53	17.15	2.17
	2	17.53	16.90	3.59
	3	17.53	-	-
	4	17.53	-	-
	5	17.53	16.00	8.73
	เฉลี่ย±SD	**17.53±0.00**	**16.68±0.60**	**4.83±3.45**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ ก.9 ค่าความเค็มในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของหอย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)**	
		ก่อน	**หลัง**
0	1	24.0	24.0
	2	24.0	24.3
	3	24.0	24.3
	4	24.0	24.5
	5	24.0	24.0
	เฉลี่ย±SD	**24.0±0.0**	**24.2±0.2**
2.14	1	24.0	24.1
	2	24.0	24.2
	3	24.0	24.0
	4	24.0	24.5
	5	24.0	24.6
	เฉลี่ย±SD	**24.0±0**	**24.3±0.3**
4.28	1	24.0	24.3
	2	24.0	24.3
	3	24.0	24.5
	4	24.0	24.2
	5	24.0	24.0
	เฉลี่ย±SD	**24.0±0.0**	**24.3±0.2**
8.56	1	24.0	24.2
	2	24.0	24.4
	3	24.0	-
	4	24.0	-
	5	24.0	24.3
	เฉลี่ย±SD	**24.0±0.0**	**24.3±0.1**
เฉลี่ย±SD		**24.0±0.0**	**24.3±0.0**

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ภาคผนวก ข

คุณภาพน้ำที่บำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
0	1	208.54	103.63	50.31
	2	208.54	118.51	43.17
	3	208.54	121.15	41.90
	4	208.54	110.27	47.12
	5	208.54	122.54	41.24
	เฉลี่ย±SD	**208.54±0.00**	**115.22±8.04**	**44.75±3.86**
0.1	1	208.54	122.72	41.15
	2	208.54	123.05	40.99
	3	208.54	120.85	42.05
	4	208.54	120.18	42.37
	5	208.54	118.45	43.20
	เฉลี่ย±SD	**208.54±0.00**	**121.05±1.89**	**41.95±0.91**
1	1	208.54	132.21	36.60
	2	208.54	135.32	35.11
	3	208.54	127.79	38.72
	4	208.54	130.05	37.64
	5	208.54	125.23	39.95
	เฉลี่ย±SD	**208.54±0.00**	**130.12±3.90**	**37.60±1.87**
10	1	208.54	130.50	37.42
	2	208.54	141.00	32.39
	3	208.54	128.36	38.45
	4	208.54	131.07	37.15
	5	208.54	141.37	32.21
	เฉลี่ย±SD	**208.54±0.00**	**134.46±6.22**	**35.52±2.98**

ตารางภาคผนวกที่ ข.2 ปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**แอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน / ลิตร)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
0	1	0.2184	0.0873	60.03
	2	0.2184	0.0866	60.35
	3	0.2184	0.0905	58.56
	4	0.2184	0.0910	58.33
	5	0.2184	0.0936	57.14
	เฉลี่ย±SD	**0.2184±0.00**	**0.0898±0.0029**	
0.1	1	0.2184	0.0793	63.69
	2	0.2184	0.0744	65.93
	3	0.2184	0.0748	65.75
	4	0.2184	0.0800	63.37
	5	0.2184	0.0850	61.08
	เฉลี่ย±SD	**0.2184±0.00**	**0.0787±0.0043**	**63.96±1.99**
1	1	0.2184	0.0726	66.76
	2	0.2184	0.0765	64.97
	3	0.2184	0.0702	67.86
	4	0.2184	0.0714	67.31
	5	0.2184	0.0783	64.15
	เฉลี่ย±SD	**0.2184±0.00**	**0.0738±0.0034**	**66.21±1.58**
10	1	0.2184	0.0987	54.81
	2	0.2184	0.0932	57.33
	3	0.2184	0.0953	56.36
	4	0.2184	0.0804	63.19
	5	0.2184	0.1134	48.08
	เฉลี่ย±SD	**0.2184±0.00**	**0.0962±0.0118**	**55.95±5.42**

ตารางภาคผนวกที่ ข.3 ปริมาณไนไตรท์ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**ไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน /ลิตร)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
0	1	0.0409	0.0438	-7.09
	2	0.0409	0.0436	-6.60
	3	0.0409	0.0466	-13.94
	4	0.0409	0.0403	1.47
	5	0.0409	0.0447	-9.29
	เฉลี่ย±SD	**0.0409±0.00**	**0.0438±0.0023**	**-7.09±5.60**
0.1	1	0.0409	0.0152	62.84
	2	0.0409	0.0184	55.01
	3	0.0409	0.0195	52.32
	4	0.0409	0.0177	56.72
	5	0.0409	0.0172	57.95
	เฉลี่ย±SD	**0.0409±0.00**	**0.0176±0.0016**	**56.97±3.90**
1	1	0.0409	0.0090	78.00
	2	0.0409	0.0105	74.33
	3	0.0409	0.0110	73.10
	4	0.0409	0.0092	77.51
	5	0.0409	0.0073	82.15
	เฉลี่ย±SD	**0.0409±0.00**	**0.0094±0.0014**	**77.02±3.54**
10	1	0.0409	0.0152	62.84
	2	0.0409	0.0128	68.70
	3	0.0409	0.0144	64.79
	4	0.0409	0.0186	54.52
	5	0.0409	0.0115	71.88
	เฉลี่ย±SD	**0.0409±0.00**	**0.0145±0.0027**	**64.55±6.60**

ตารางภาคผนวกที่ ข.4 ปริมาณไนเตรท ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	ไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ลิตร)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	0.0641	0.5014	-682.22
	2	0.0641	0.4972	-675.66
	3	0.0641	0.4989	-678.32
	4	0.0641	0.5473	-753.82
	5	0.0641	0.5152	-703.74
	เฉลี่ย±SD	**0.0641±0.00**	**0.5120±0.0210**	**-698.75±32.72**
0.1	1	0.0641	0.0235	63.34
	2	0.0641	0.0306	52.26
	3	0.0641	0.0298	53.51
	4	0.0641	0.0263	58.97
	5	0.0641	0.0333	48.05
	เฉลี่ย±SD	**0.0641±0.00**	**0.0287±0.0038**	**55.23±5.98**
1	1	0.0641	0.0317	50.55
	2	0.0641	0.0244	61.93
	3	0.0641	0.0256	60.06
	4	0.0641	0.0280	56.32
	5	0.0641	0.0298	53.51
	เฉลี่ย±SD	**0.0641±0.00**	**0.0279±0.0030**	**56.47±4.65**
10	1	0.0641	0.0206	67.86
	2	0.0641	0.0172	73.17
	3	0.0641	0.0188	70.67
	4	0.0641	0.0240	62.56
	5	0.0641	0.0189	70.51
	เฉลี่ย±SD	**0.0641±0.00**	**0.0199±0.0026**	**68.95±4.04**

ตารางภาคผนวกที่ ข.5 ปริมาณไนโตรเจนรวม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	ไนโตรเจนรวม (มก.ไนโตรเจน./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	0.2798	0.5756	-105.72
	2	0.2798	0.5977	-113.62
	3	0.2798	0.5090	-81.92
	4	0.2798	0.5172	-84.85
	5	0.2798	0.5595	-99.96
	เฉลี่ย±SD	**0.2798±0.00**	**0.5518±0.0380**	**-97.21±13.56**
0.1	1	0.2798	0.0405	85.52
	2	0.2798	0.0485	82.67
	3	0.2798	0.0511	81.74
	4	0.2798	0.0467	83.31
	5	0.2798	0.0502	82.06
	เฉลี่ย±SD	**0.2798±0.00**	**0.0474±0.0042**	**83.06±1.50**
1	1	0.2798	0.0506	81.92
	2	0.2798	0.0515	81.59
	3	0.2798	0.0556	80.13
	4	0.2798	0.0547	80.45
	5	0.2798	0.0636	77.27
	เฉลี่ย±SD	**0.2798±0.00**	**0.0552±0.0051**	**80.27±1.84**
10	1	0.2798	0.1002	64.19
	2	0.2798	0.0988	64.67
	3	0.2798	0.1040	62.83
	4	0.2798	0.1262	54.90
	5	0.2798	0.0873	68.80
	เฉลี่ย±SD	**0.2798±0.00**	**0.1033±0.0142**	**63.08±5.08**

ตารางภาคผนวกที่ ข.6 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย กรัม/ลิตร	ซ้ำ	ออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	0.2024	0.4659	-130.19
	2	0.2024	0.3422	-69.07
	3	0.2024	0.3586	-77.17
	4	0.2024	0.4157	-105.39
	5	0.2024	0.3996	-97.43
	เฉลี่ย±SD	**0.2024±0.00**	**0.3964±0.0489**	**-95.85±24.18**
0.1	1	0.2024	0.0368	81.82
	2	0.2024	0.0550	72.83
	3	0.2024	0.0509	74.85
	4	0.2024	0.0438	78.36
	5	0.2024	0.0595	70.60
	เฉลี่ย±SD	**0.2024±0.00**	**0.0492±0.0090**	**75.69±4.46**
1	1	0.2024	0.0436	78.46
	2	0.2024	0.0453	77.62
	3	0.2024	0.0480	76.28
	4	0.2024	0.0400	80.24
	5	0.2024	0.0431	78.70
	เฉลี่ย±SD	**0.2024±0.00**	**0.0440±0.0029**	**78.26±1.46**
10	1	0.2024	0.0558	72.43
	2	0.2024	0.0432	78.66
	3	0.2024	0.0439	78.31
	4	0.2024	0.0593	70.70
	5	0.2024	0.0463	77.12
	เฉลี่ย±SD	**0.2024±0.00**	**0.0497±0.0074**	**75.44±3.64**

ตารางภาคผนวกที่ ข.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	134.78	117.32	12.95
	2	134.78	123.72	8.20
	3	134.78	100.46	25.46
	4	134.78	125.69	6.74
	5	134.78	130.91	2.87
	เฉลี่ย±SD	**134.78±0.00**	**119.62±11.76**	**11.24±8.73**
0.1	1	134.78	140.70	-4.39
	2	134.78	137.34	-1.90
	3	134.78	128.64	4.56
	4	134.78	128.89	4.37
	5	134.78	131.53	2.41
	เฉลี่ย±SD	**134.78±0.00**	**133.42±5.37**	**1.01±3.98**
1	1	134.78	120.55	10.56
	2	134.78	143.83	-6.71
	3	134.78	126.75	5.96
	4	134.78	138.72	-2.92
	5	134.78	134.15	0.47
	เฉลี่ย±SD	**134.78±0.00**	**132.80±9.29**	**1.47±6.89**
10	1	134.78	147.56	-9.48
	2	134.78	149.77	-11.12
	3	134.78	155.80	-15.60
	4	134.78	135.06	-0.21
	5	134.78	125.90	6.59
	เฉลี่ย±SD	**134.78±0.00**	**142.83±12.10**	**-5.96±8.98**

ตารางภาคผนวกที่ ข.8 ปริมาณบีโอดี ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	ซ้ำที่	บีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
0	1	11.70	11.00	5.98
	2	11.70	11.50	1.71
	3	11.70	10.50	10.26
	4	11.70	11.00	5.98
	5	11.70	11.00	5.98
	เฉลี่ย±SD	**11.70±0.00**	**11.00±0.35**	**5.98±3.02**
0.1	1	11.70	10.50	10.26
	2	11.70	11.00	5.98
	3	11.70	11.00	5.98
	4	11.70	10.67	8.80
	5	11.70	11.00	5.98
	เฉลี่ย±SD	**11.70±0.00**	**10.83±0.24**	**7.40±2.01**
1	1	11.70	10.00	14.53
	2	11.70	9.90	15.38
	3	11.70	10.50	10.26
	4	11.70	10.00	14.53
	5	11.70	10.00	14.53
	เฉลี่ย±SD	**11.70±0.00**	**10.08±0.24**	**13.85±2.04**
10	1	11.70	11.00	5.98
	2	11.70	10.90	6.84
	3	11.70	10.15	13.25
	4	11.70	11.00	5.98
	5	11.70	11.50	1.71
	เฉลี่ย±SD	**11.70±0.00**	**10.91±0.49**	**6.75±4.15**

ตารางภาคผนวกที่ ข.9 ค่าความเค็ม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่นต่างๆ เป็นเวลา 4 วัน

ความหนาแน่นของสาหร่าย (กรัม/ลิตร)	**ซ้ำที่**	**ค่าความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)**	
		ก่อน	**หลัง**
0	1	22.0	22.1
	2	22.0	22.0
	3	22.0	22.7
	4	22.0	23.0
	5	22.0	22.0
	เฉลี่ย±SD	**22.0±0.0**	**22.4±0.5**
0.1	1	22.0	23.0
	2	22.0	22.8
	3	22.0	22.0
	4	22.0	22.3
	5	22.0	23.0
	เฉลี่ย±SD	**22.0±0.0**	**22.6±0.4**
1	1	22.0	23.0
	2	22.0	22.3
	3	22.0	22.3
	4	22.0	22.0
	5	22.0	22.8
	เฉลี่ย±SD	**22.0±0.0**	**22.5±0.4**
10	1	22.0	22.60
	2	22.0	22.00
	3	22.0	23.00
	4	22.0	23.05
	5	22.0	22.00
	เฉลี่ย±SD	**22.0±0.0**	**22.5±0.5**
เฉลี่ย±SD		**22.0±0.0**	**22.5±0.5**

ภาคผนวก ค

คุณภาพน้ำที่บำบัดด้วยหอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนาม

ตารางภาคผนวกที่ ค.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	**ซ้ำที่**	**คลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
ชุดควบคุม	1	209.30	61.70	70.52
	2	209.30	59.95	71.36
	3	209.30	60.25	71.21
	4	209.30	59.82	71.42
	5	209.30	59.53	71.56
	เฉลี่ย±SD	**209.30±0.00**	**60.25±0.85**	**71.21±0.41**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	209.30	30.00	85.67
	2	209.30	28.72	86.28
	3	209.30	29.48	85.91
	4	209.30	27.11	87.05
	5	209.30	31.19	85.10
	เฉลี่ย±SD	**209.30±0.00**	**29.30±1.52**	**86.00±0.72**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	209.30	40.15	80.82
	2	209.30	37.48	82.09
	3	209.30	38.69	81.51
	4	209.30	40.00	80.89
	5	209.30	32.03	84.70
	เฉลี่ย±SD	**209.30±0.00**	**37.67±3.33**	**82.00±1.59**

ตารางภาคผนวกที่ ค.2 ปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	**ซ้ำที่**	**แอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
ชุดควบคุม	1	0.5293	0.1145	78.37
	2	0.5293	0.1116	78.92
	3	0.5293	0.1088	79.44
	4	0.5293	0.1000	81.11
	5	0.5293	0.1086	79.48
	เฉลี่ย±SD	**0.5293±0.00**	**0.1087±0.0054**	**79.46±1.02**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	0.5293	0.3120	41.05
	2	0.5293	0.3655	30.95
	3	0.5293	0.2994	43.43
	4	0.5293	0.3100	41.43
	5	0.5293	0.2746	48.12
	เฉลี่ย±SD	**0.5293±0.00**	**0.3123±0.0332**	**41.00±6.28**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	0.5293	0.1062	79.94
	2	0.5293	0.1111	79.01
	3	0.5293	0.1128	78.69
	4	0.5293	0.1006	80.99
	5	0.5293	0.1248	76.42
	เฉลี่ย±SD	**0.5293±0.00**	**0.1111±0.0090**	**79.01±1.70**

ตารางภาคผนวกที่ ค.3 ปริมาณไนไตรท์ ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	**ซ้ำที่**	**ไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
ชุดควบคุม	1	0.0439	0.2058	-368.79
	2	0.0439	0.2140	-387.47
	3	0.0439	0.2226	-407.06
	4	0.0439	0.2063	-369.93
	5	0.0439	0.2213	-404.10
	เฉลี่ย±SD	**0.0439±0.00**	**0.2140±0.0080**	**-387.47±18.14**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	0.0439	0.0770	-75.40
	2	0.0439	0.0788	-79.50
	3	0.0439	0.0879	-100.23
	4	0.0439	0.0754	-71.75
	5	0.0439	0.0714	-62.64
	เฉลี่ย±SD	**0.0439±0.00**	**0.0781±0.0061**	**-77.90±13.95**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	0.0439	0.0022	94.99
	2	0.0439	0.0030	93.17
	3	0.0439	0.0028	93.62
	4	0.0439	0.0020	95.44
	5	0.0439	0.0030	93.17
	เฉลี่ย±SD	**0.0439±0.00**	**0.0026±0.0005**	**94.08±1.07**

ตารางภาคผนวกที่ ค.4 ปริมาณไนเตรท ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	**ซ้ำที่**	**ไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
ชุดควบคุม	1	0.0671	0.1151	-71.54
	2	0.0671	0.1005	-49.78
	3	0.0671	0.1020	-52.01
	4	0.0671	0.1000	-49.03
	5	0.0671	0.0929	-38.45
	เฉลี่ย±SD	**0.0671±0.00**	**0.1021±0.0081**	**-52.16±12.03**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	0.0671	0.0226	66.32
	2	0.0671	0.0287	57.23
	3	0.0671	0.0248	63.04
	4	0.0671	0.0299	55.44
	5	0.0671	0.0315	53.06
	เฉลี่ย±SD	**0.0671±0.00**	**0.0275±0.0037**	**59.02±5.50**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	0.0671	0.0280	58.27
	2	0.0671	0.0215	67.96
	3	0.0671	0.0204	69.60
	4	0.0671	0.0261	61.10
	5	0.0671	0.0180	73.17
	เฉลี่ย±SD	**0.0671±0.00**	**0.0228±0.0041**	**66.02±6.16**

ตารางภาคผนวกที่ ค.5 ปริมาณไนโตรเจนรวม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	**ซ้ำที่**	**ไนโตรเจนรวม (มก.ไนโตรเจน/ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
ชุดควบคุม	1	0.5963	0.2686	54.96
	2	0.5963	0.2245	62.35
	3	0.5963	0.2111	64.60
	4	0.5963	0.2780	53.38
	5	0.5963	0.1418	76.22
	เฉลี่ย±SD	**0.5963±0.00**	**0.2248±0.0544**	**62.30±9.12**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	0.5963	0.3458	42.01
	2	0.5963	0.3212	46.13
	3	0.5963	0.3752	37.08
	4	0.5963	0.3349	43.84
	5	0.5963	0.3219	46.02
	เฉลี่ย±SD	**0.5963±0.00**	**0.3398±0.0222**	**43.02±3.73**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	0.5963	0.0941	84.22
	2	0.5963	0.0920	84.57
	3	0.5963	0.0810	86.42
	4	0.5963	0.0877	85.29
	5	0.5963	0.0927	84.45
	เฉลี่ย±SD	**0.5963±0.00**	**0.0895±0.0053**	**84.99±0.89**

ตารางภาคผนวกที่ ค.6 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	ซ้ำที่	ออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
ชุดควบคุม	1	0.1008	0.2354	-133.53
	2	0.1008	0.2794	-177.18
	3	0.1008	0.2638	-161.71
	4	0.1008	0.2872	-184.92
	5	0.1008	0.2517	-149.70
	เฉลี่ย±SD	**0.1008±0.00**	**0.2635±0.0209**	**-161.41±20.71**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	0.1008	0.0334	66.87
	2	0.1008	0.0356	64.68
	3	0.1008	0.0320	68.25
	4	0.1008	0.0311	69.15
	5	0.1008	0.0383	62.00
	เฉลี่ย±SD	**0.1008±0.00**	**0.0341±0.0029**	**66.19±2.89**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	0.1008	0.0148	85.32
	2	0.1008	0.0122	87.90
	3	0.1008	0.0150	85.12
	4	0.1008	0.0110	89.09
	5	0.1008	0.0125	87.56
	เฉลี่ย±SD	**0.1008±0.00**	**0.0131±0.0017**	**87.00±1.72**

ตารางภาคผนวกที่ ค.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	ซ้ำที่	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก่อน	หลัง	
ชุดควบคุม	1	146.87	110.98	24.44
	2	146.87	99.94	31.95
	3	146.87	98.63	32.85
	4	146.87	109.11	25.71
	5	146.87	127.09	13.47
	เฉลี่ย±SD	**146.87±0.00**	**109.15±11.41**	**25.68±7.77**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	146.87	78.28	46.70
	2	146.87	80.00	45.53
	3	146.87	82.59	43.77
	4	146.87	77.28	47.38
	5	146.87	85.75	41.62
	เฉลี่ย±SD	**146.87±0.00**	**80.78±3.43**	**45.00±2.33**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	146.87	48.11	67.24
	2	146.87	44.75	69.53
	3	146.87	43.17	70.61
	4	146.87	48.46	67.00
	5	146.87	43.16	70.61
	เฉลี่ย±SD	**146.87±0.00**	**45.53±2.60**	**69.00±1.77**

ตารางภาคผนวกที่ ค.8 ปริมาณบีโอดี ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	**ซ้ำที่**	**บีโอดี (มก./ล.)**		**ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)**
		ก่อน	**หลัง**	
ชุดควบคุม	1	14.15	12.18	13.92
	2	14.15	12.69	10.32
	3	14.15	13.16	7.00
	4	14.15	14.10	0.35
	5	14.15	13.78	2.61
	เฉลี่ย±SD	**14.15±0.00**	**13.18±0.78**	**6.84±5.53**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	14.15	13.80	2.47
	2	14.15	13.45	4.95
	3	14.15	14.00	1.06
	4	14.15	13.00	8.13
	5	14.15	14.00	1.06
	เฉลี่ย±SD	**14.15±0.00**	**13.65±0.43**	**3.53±3.02**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	14.15	12.60	10.95
	2	14.15	13.00	8.13
	3	14.15	13.00	8.13
	4	14.15	12.70	10.25
	5	14.15	13.00	8.13
	เฉลี่ย±SD	**14.15±0.00**	**12.86±0.19**	**9.12±1.38**

ตารางภาคผนวกที่ ค.9 ค่าความเค็ม ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 1 ก./ล. เป็นเวลา 8 วัน

ชุดทดลอง	ซ้ำที่	ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	
		ก่อน	หลัง
ชุดควบคุม	1	23.0	24.0
	2	23.0	23.8
	3	23.0	23.8
	4	23.0	23.6
	5	23.0	24.0
	เฉลี่ย±SD	**23.0±0.0**	**23.8±0.2**
หอย+สาหร่าย (ตู้เดียวกัน)	1	23.0	23.8
	2	23.0	23.9
	3	23.0	23.6
	4	23.0	23.8
	5	23.0	24.0
	เฉลี่ย±SD	**23.0±0.0**	**23.8±0.1**
หอย+สาหร่าย (แยกตู้)	1	23.0	24.0
	2	23.0	24.0
	3	23.0	23.9
	4	23.0	23.5
	5	23.0	23.7
	เฉลี่ย±SD	**23.0±0.0**	**23.8±0.2**
เฉลี่ย±SD		**23.0±0.0**	**23.8±0.2**

ภาคผนวก ง

อัตราการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ และสาหร่ายมงกุฎหนาม

ตารางภาคผนวกที่ ง.1 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายมงกุฎหนามที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ร่วมกับหอยแมลงภู่เป็นเวลา 88 วัน

ซ้ำที่	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักของสาหร่ายมงกุฎหนาม (กรัม)			
		วันที่ 24	วันที่ 48	วันที่ 72	วันที่ 88
1	60.00	76.00	132.50	293.00	390.00
2	60.00	74.00	129.00	280.50	405.00
3	60.00	85.50	130.50	350.50	407.50
4	60.00	82.50	132.00	387.50	412.00
5	60.00	79.00	138.50	304.00	398.00
ค่าเฉลี่ย	60.00	78.00	145.00	323.10	402.5
S.D.	0.00	4.68	5.53	44.68	8.63
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	0.00	0.75	1.77	3.65	3.89

ตารางภาคผนวกที่ ง.2 น้ำหนักของหอยแมลงภู่ที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาเป็นเวลา 88 วัน

ซ้ำที่	**น้ำหนักหอยก่อนการทดลอง (กรัม)**	**น้ำหนักหอยหลังการทดลอง (กรัม)**
1	130.00	190.00
2	128.00	207.00
3	129.00	175.00
4	130.00	-
5	132.00	220.00
ค่าเฉลี่ย	129.80	198.00
S.D.	1.48	19.65
อัตราการเจริญเติบโต	0.78 กรัม/วัน	

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยแมลงภู่ตายเกินร้อยละ 10

ภาคผนวก จ

คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา ที่ใช้เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนาม 88 วัน

ตารางภาคผนวกที่ จ.1 ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่ใช้เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	29.0	28.8	28.2	29.0	28.9	28.1	29.2	28.1	28.0	29.0	28.0	27.7	27.1	28.0	29.5	29.0	28.9	28.5	28.0	27.8	29.6	28.2
T2	29.0	28.8	28.0	29.0	28.0	28.2	29.4	28.1	28.0	29.1	28.0	27.7	27.0	28.1	29.5	29.0	28.6	28.5	28.0	27.8	29.6	28.2
T3	29.0	28.8	28.0	29.2	28.7	28.6	29.0	28.0	28.0	29.0	28.0	27.7	27.1	28.2	30.0	29.0	28.7	28.4	28.0	27.8	29.6	28.1
T4	29.0	28.8	28.0	29.3	28.8	28.2	29.0	28.0	28.0	29.1	28.0	27.6	27.1	28.2	29.8	29.0	29.0	28.6	-	-	-	-
T5	29.0	28.8	28.0	29.0	28.0	28.3	29.0	28.0	28.0	29.1	28.0	27.7	27.0	28.0	29.8	29.0	28.8	28.5	28.0	28.0	29.6	28.0
ค่าเฉลี่ย	29.0	28.8	28.0	29.1	28.5	28.3	29.1	28.0	28.0	29.1	28.0	27.7	27.1	28.1	29.7	29.0	28.8	28.5	28.0	27.8	29.6	28.1
S.D.	0.00	0.0	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
C1	29.0	28.8	28.1	29.0	28.9	28.1	29.5	28.1	28.0	29.0	28.0	27.7	27.6	28.0	29.9	29.0	29.0	28.5	28.0	27.8	29.6	28.2
C2	29.0	28.8	28.1	29.0	28.9	28.0	29.5	28.0	28.0	29.0	28.0	27.7	27.6	28.0	30.0	29.0	29.0	28.5	28.0	27.5	29.5	28.2
C3	29.0	28.8	28.1	29.1	28.9	28.0	29.5	28.1	28.0	29.0	28.0	27.7	27.7	28.0	30.0	29.0	29.0	28.4	28.0	27.7	29.5	28.1
C4	29.0	28.8	28.1	29.0	28.9	28.1	29.6	28.0	28.0	28.9	28.0	27.7	27.7	20.0	30.0	29.0	29.0	28.5	-	-	-	-
C5	29.0	28.8	28.1	29.0	28.9	28.1	29.5	28.1	28.0	29.0	28.1	27.7	27.6	28.0	30.0	29.0	29.0	28.5	28.0	27.7	29.6	28.1
ค่าเฉลี่ย	29.0	28.8	28.1	29.0	28.9	28.1	29.5	28.1	28.0	29.0	28.0	27.7	27.6	28.0	30.0	29.0	29.0	28.5	28.0	27.7	29.6	28.2
S.D.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการบำบัด B = หลังการบำบัด

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.2 ค่าความเค็ม (ส่วนในพันส่วน) ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาที่ใช้เลี้ยงหอยแมลงภู่และสาหร่ายมงกุฎหนามเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	24.0	24.0	25.0	26.0	24.0	25.0	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.2	24.0	25.0	25.0	25.6	22.0	23.0	22.0	22.5	22.0	23.0
T2	24.0	24.8	25.0	26.0	24.0	25.2	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.7	24.0	25.0	25.0	25.2	22.0	23.0	22.0	22.8	22.0	23.0
T3	24.0	24.5	25.0	26.0	24.0	24.7	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.0	24.0	25.0	25.0	25.0	22.0	23.0	22.0	23.0	22.0	23.0
T4	24.0	24.7	25.0	26.0	24.0	25.0	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	22.6	24.0	25.0	25.0	25.6	22.0	23.0	-	-	-	-
T5	24.0	24.5	25.0	26.0	24.0	24.3	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.5	24.0	25.0	25.0	25.0	22.0	23.0	22.0	22.0	22.0	23.0
ค่าเฉลี่ย	24.0	24.5	25.0	26.0	24.0	24.8	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.2	24.0	25.0	25.0	25.3	22.0	23.0	22.0	22.6	22.0	23.0
S.D.	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.4	0.0	0.0	0.0	00.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
C1	24.0	24.4	25.0	26.0	24.0	24.0	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.1	24.0	25.0	25.0	25.0	22.0	23.0	22.0	22.7	22.0	23.0
C2	24.0	24.5	25.0	26.0	24.0	24.9	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	22.8	24.0	25.0	25.0	25.0	22.0	23.0	22.0	23.0	22.0	23.0
C3	24.0	25.0	25.0	26.0	24.0	25.0	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.4	24.0	25.0	25.0	25.8	22.0	23.0	22.0	23.0	22.0	23.0
C4	24.0	24.0	25.0	26.0	24.0	24.8	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.6	24.0	25.0	25.0	25.0	22.0	23.0	-	-	-	-
C5	24.0	24.5	25.0	26.0	24.0	24.6	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	22.8	24.0	25.0	25.0	25.5	22.0	23.0	22.0	22.0	22.0	23.0
ค่าเฉลี่ย	24.0	24.5	25.0	26.0	24.0	24.7	24.0	25.0	21.0	22.0	22.0	23.1	24.0	25.0	25.0	25.3	22.0	23.0	22.0	22.7	22.0	23.0
S.D.	0.0	00.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	00.00	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการบำบัด B = หลังการบำบัด

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.3 ค่าบีโอดี (มก./ล.) ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	9.99	6.00	10.15	9.74	11.72	7.90	8.03	7.00	15.00	12.00	12.96	9.00	7.00	5.17	6.54	5.00	15.30	12.00	14.50	10.05	9.00	7.22
T2	9.99	6.00	10.15	9.85	11.72	9.20	8.03	7.06	15.00	15.98	12.96	8.98	7.00	5.48	6.54	5.12	15.30	12.65	14.50	10.90	9.00	7.00
T3	9.99	6.98	10.15	10.46	11.72	6.86	8.03	8.54	15.00	17.67	12.96	10.12	7.00	8.00	6.54	5.45	15.30	13.89	14.50	12.85	9.00	7.00
T4	9.99	5.50	10.15	10.59	11.72	6.40	8.03	7.00	15.00	14.59	12.96	12.00	7.00	4.39	6.54	4.89	15.30	11.14	-	-	-	-
T5	9.99	6.54	10.15	9.00	11.72	7.31	8.03	8.00	15.00	14.48	12.96	8.56	7.00	7.86	6.54	5.60	15.30	12.00	14.50	12.18	9.00	7.00
ค่าเฉลี่ย	9.99	6.20	10.15	9.93	11.72	7.53	8.03	7.52	15.00	14.94	12.96	9.73	7.00	6.18	6.54	5.21	15.30	12.34	14.50	11.50	9.00	7.06
S.D.	0.00	0.57	0.00	0.64	0.00	1.08	0.00	0.71	0.00	2.09	0.00	1.39	0.00	1.65	0.00	0.30	0.00	1.02	0.00	1.26	0.00	0.11
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	37.94		2.17		35.75		6.35		0.40		24.92		11.71		20.34		19.35		20.69		21.56	
C1	9.99	8.00	10.15	9.18	11.72	12.90	8.03	8.00	15.00	16.61	12.96	9.83	7.00	6.80	6.54	6.75	15.30	14.40	14.50	16.60	9.00	7.00
C2	9.99	7.78	10.15	9.69	11.72	13.00	8.03	8.01	15.00	16.24	12.96	9.00	7.00	6.90	6.54	6.15	15.30	16.05	14.50	15.00	9.00	7.96
C3	9.99	8.59	10.15	10.16	11.72	12.55	8.03	8.00	15.00	16.20	12.96	9.83	7.00	8.14	6.54	6.04	15.30	16.00	14.50	16.64	9.00	7.97
C4	9.99	13.00	10.15	8.10	11.72	12.55	8.03	7.17	15.00	17.11	12.96	9.09	7.00	8.05	6.54	6.89	15.30	15.18	-	-	-	-
C5	9.99	11.64	10.15	9.78	11.72	12.87	8.03	7.00	15.00	16.09	12.96	9.85	7.00	7.44	6.54	7.00	15.30	17.72	14.50	14.15	9.00	7.05
ค่าเฉลี่ย	9.99	9.80	10.15	9.38	11.72	12.77	8.03	7.64	15.00	16.45	12.96	9.52	7.00	7.47	6.54	6.57	15.30	15.87	14.50	15.60	9.00	7.50
S.D.	0.00	2.37	0.00	0.80	0.00	0.21	0.00	0.51	0.00	0.42	0.00	0.43	0.00	0.62	0.00	0.44	0.00	1.24	0.00	1.23	0.00	0.47
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	1.90		7.59		-8.22		4.86		-9.67		26.54		-6.71		-0.46		-3.72		-7.59		16.67	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน)　　C = ชุดควบคุม　　A = ก่อนการบำบัด　　B = หลังการบำบัด

\- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	199.30	77.00	185.00	59.05	168.90	37.70	99.65	26.59	108.70	49.90	190.46	61.00	188.19	41.08	124.00	30.66	182.56	63.53	88.76	25.00	92.98	20.05
T2	199.30	77.65	185.00	59.73	168.90	38.26	99.65	27.98	108.70	49.11	190.46	60.70	188.19	42.56	124.00	31.75	182.56	60.87	88.76	25.74	92.98	18.72
T3	199.30	78.34	185.00	55.12	168.90	39.47	99.65	30.02	108.70	48.45	190.46	59.97	188.19	40.11	124.00	31.12	182.56	67.70	88.76	25.53	92.98	19.96
T4	199.30	76.70	185.00	57.40	168.90	35.11	99.65	28.15	108.70	48.00	190.46	62.83	188.19	43.47	124.00	29.97	182.56	59.98	-	-	-	-
T5	199.30	78.66	185.00	57.20	168.90	41.76	99.65	30.36	108.70	49.64	190.46	58.85	188.19	39.13	124.00	31.10	182.56	59.27	88.76	26.06	92.98	21.45
ค่าเฉลี่ย	199.30	77.67	185.00	57.70	168.90	38.46	99.65	28.62	108.70	49.02	190.46	60.67	188.19	41.27	124.00	30.92	182.56	62.27	88.76	25.58	92.98	20.04
S.D.	0.00	0.84	0.00	1.80	0.00	2.44	0.00	1.56	0.00	0.80	0.00	1.46	0.00	1.76	0.00	0.68	0.00	3.68	0.00	0.44	0.00	1.12
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	61.03		68.81		77.23		71.28		54.90		68.15		78.07		75.06		65.89		71.18		78.44	
C1	199.30	181.25	185.00	147.11	168.90	128.49	99.65	90.03	108.70	90.90	190.46	154.41	188.19	183.36	124.00	112.32	182.56	142.76	88.76	66.23	92.98	77.75
C2	199.30	193.12	185.00	142.00	168.90	129.50	99.65	87.12	108.70	92.29	190.46	154.99	188.19	180.65	124.00	116.77	182.56	143.11	88.76	65.09	92.98	77.12
C3	199.30	166.47	185.00	145.66	168.90	127.17	99.65	86.68	108.70	91.30	190.46	154.79	188.19	179.83	124.00	116.03	182.56	143.68	88.76	65.87	92.98	76.60
C4	199.30	171.88	185.00	141.09	168.90	128.66	99.65	88.37	108.70	91.88	190.46	155.01	188.19	180.07	124.00	115.98	182.56	140.20	-	-	-	-
C5	199.30	183.53	185.00	140.39	168.90	129.28	99.65	91.20	108.70	90.08	190.46	154.95	188.19	176.94	124.00	117.35	182.56	143.00	88.76	64.46	92.98	77.11
ค่าเฉลี่ย	199.30	179.25	185.00	143.25	168.90	128.62	99.65	88.68	108.70	91.29	190.46	154.83	188.19	180.17	124.00	115.69	182.56	142.55	88.76	65.41	92.98	77.14
S.D.	0.00	10.40	0.00	2.96	0.00	0.91	0.00	1.92	0.00	0.86	0.00	0.25	0.00	2.29	0.00	1.97	0.00	1.36	0.00	0.79	0.00	0.47
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	10.06		22.57		23.85		11.01		16.02		18.71		4.26		6.70		21.92		26.30		17.03	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการทดลอง B = หลังการทดลอง

\- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.5 ปริมาณแอมโมเนีย (มก.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	0.4883	0.1002	0.3342	0.0822	0.1600	0.0237	0.2947	0.0940	0.1340	0.0295	0.2448	0.0552	0.1506	0.0447	0.3166	0.0788	0.2210	0.0677	0.0987	0.0546	0.1155	0.0469
T2	0.4883	0.1145	0.3342	0.0743	0.1600	0.0221	0.2947	0.0828	0.1340	0.0270	0.2448	0.0447	0.1506	0.0450	0.3166	0.0835	0.2210	0.0653	0.0987	0.0469	0.1155	0.0430
T3	0.4883	0.1270	0.3342	0.0810	0.1600	0.0123	0.2947	0.0879	0.1340	0.0371	0.2448	0.0686	0.1506	0.0308	0.3166	0.0848	0.2210	0.0648	0.0987	0.0467	0.1155	0.0547
T4	0.4883	0.1234	0.3342	0.0876	0.1600	0.0138	0.2947	0.0974	0.1340	0.0263	0.2448	0.0311	0.1506	0.0396	0.3166	0.0750	0.2210	0.0652	-	-	-	-
T5	0.4883	0.0967	0.3342	0.0701	0.1600	0.0136	0.2947	0.0819	0.1340	0.0371	0.2448	0.0514	0.1506	0.0316	0.3166	0.0764	0.2210	0.0663	0.0987	0.0407	0.1155	0.0442
<u>ค่าเฉลี่ย</u>	0.4883	0.1111	0.3342	0.0790	0.1600	0.0171	0.2947	0.0888	0.1340	0.0314	0.2448	0.0582	0.1506	0.0383	0.3166	0.0797	0.2210	0.0659	0.0987	0.0472	0.1155	0.0472
<u>S.D.</u>	0.0000	0.0136	0.0000	0.0069	0.0000	0.0054	0.0000	0.0068	0.0000	0.0053	0.0000	0.0137	0.0000	0.0069	0.0000	0.0043	0.0000	0.0012	0.0000	0.0057	0.0000	0.0053
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	72.25		76.36		89.31		69.87		76.56		79.49		74.57		74.83		70.18		52.18		59.13	
C1	0.4883	0.1464	0.3342	0.0980	0.1600	0.0486	0.2947	0.1096	0.1340	0.0501	0.2448	0.0711	0.1506	0.0570	0.3166	0.1011	0.2210	0.0800	0.0987	0.0510	0.1155	0.0415
C2	0.4883	0.2001	0.3342	0.1006	0.1600	0.0612	0.2947	0.1001	0.1340	0.0500	0.2448	0.0720	0.1506	0.0538	0.3166	0.0988	0.2210	0.0803	0.0987	0.0478	0.1155	0.0398
C3	0.4883	0.0987	0.3342	0.0947	0.1600	0.0520	0.2947	0.1079	0.1340	0.0262	0.2448	0.0597	0.1506	0.0512	0.3166	0.0974	0.2210	0.0712	0.0987	0.0399	0.1155	0.0406
C4	0.4883	0.0482	0.3342	0.0978	0.1600	0.0511	0.2947	0.1022	0.1340	0.0400	0.2448	0.0499	0.1506	0.0577	0.3166	0.1055	0.2210	0.0634	-	-	-	-
C5	0.4883	0.1201	0.3342	0.1059	0.1600	0.0566	0.2947	0.1217	0.1340	0.0427	0.2448	0.0578	0.1506	0.0548	0.3166	0.1142	0.2210	0.0611	0.0987	0.0328	0.1155	0.0413
<u>ค่าเฉลี่ย</u>	0.4883	0.1227	0.3342	0.0994	0.1600	0.0539	0.2947	0.1083	0.1340	0.0418	0.2448	0.0621	0.1506	0.0549	0.3166	0.1034	0.2210	0.0712	0.0987	0.0429	0.1155	0.0408
<u>S.D.</u>	0.0000	0.0563	0.0000	0.0042	0.0000	0.0050	0.0000	0.0085	0.0000	0.0098	0.0000	0.0094	0.0000	0.0026	0.0000	0.0068	0.0000	0.0090	0.0000	0.0082	0.0000	0.0008
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	74.87		70.25		66.31		63.25		68.80		74.63		63.54		67.34		67.78		56.53		64.68	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการบำบัด B = หลังการบำบัด

\- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.6 ปริมาณไนเตรท (มก.ไนเตรท-ไนโตรเจน/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	0.0711	0.0200	0.0750	0.0287	0.0895	0.0501	0.1004	0.0412	0.0793	0.0289	0.1160	0.0500	0.0940	0.0293	0.0874	0.0401	0.1022	0.0362	0.1921	0.0411	0.0877	0.0254
T2	0.0711	0.0275	0.0750	0.0218	0.0895	0.0512	0.1004	0.0398	0.0793	0.0198	0.1160	0.0518	0.0940	0.0356	0.0874	0.0382	0.1022	0.0477	0.1921	0.0479	0.0877	0.0269
T3	0.0711	0.0333	0.0750	0.0121	0.0895	0.0400	0.1004	0.0341	0.0793	0.0312	0.1160	0.0455	0.0940	0.0279	0.0874	0.0414	0.1022	0.0315	0.1921	0.0484	0.0877	0.0280
T4	0.0711	0.0104	0.0750	0.0310	0.0895	0.0309	0.1004	0.0273	0.0793	0.0306	0.1160	0.0506	0.0940	0.0398	0.0874	0.0309	0.1022	0.0254	-	-	-	-
T5	0.0711	0.0228	0.0750	0.0254	0.0895	0.0404	0.1004	0.0441	0.0793	0.0269	0.1160	0.0494	0.0940	0.0319	0.0874	0.0397	0.1022	0.0327	0.1921	0.0465	0.0877	0.0300
ค่าเฉลี่ย	0.0711	0.0228	0.0750	0.0238	0.0895	0.0425	0.1004	0.0373	0.0793	0.0275	0.1160	0.0495	0.0940	0.0329	0.0874	0.0381	0.1022	0.0347	0.1921	0.0460	0.0877	0.0276
S.D.	0.0000	0.0086	0.0000	0.0074	0.0000	0.0075	0.0000	0.0067	0.0000	0.0046	0.0000	0.0024	0.0000	0.0048	0.0000	0.0042	0.0000	0.0082	0.0000	0.0034	0.0000	0.0019
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	67.93		68.27		52.51		62.85		65.32		57.33		65.00		56.41		66.05		76.05		68.53	
C1	0.0711	0.1011	0.0750	0.2130	0.0895	0.1041	0.1004	0.1581	0.0793	0.1008	0.1160	0.1070	0.0940	0.1486	0.0874	0.0911	0.1022	0.1704	0.1921	0.2465	0.0877	0.1106
C2	0.0711	0.1120	0.0750	0.2162	0.0895	0.1101	0.1004	0.1499	0.0793	0.0974	0.1160	0.1044	0.0940	0.1379	0.0874	0.0957	0.1022	0.1659	0.1921	0.2978	0.0877	0.1093
C3	0.0711	0.0875	0.0750	0.2120	0.0895	0.1082	0.1004	0.1550	0.0793	0.1010	0.1160	0.1024	0.0940	0.1472	0.0874	0.0898	0.1022	0.1621	0.1921	0.3010	0.0877	0.1122
C4	0.0711	0.0940	0.0750	0.2155	0.0895	0.1007	0.1004	0.1508	0.0793	0.0966	0.1160	0.1069	0.0940	0.1404	0.0874	0.0974	0.1022	0.1602	-	-	-	-
C5	0.0711	0.1159	0.0750	0.2138	0.0895	0.1079	0.1004	0.1597	0.0793	0.1077	0.1160	0.1118	0.0940	0.1259	0.0874	0.0905	0.1022	0.1664	0.1921	0.3213	0.0877	0.1193
ค่าเฉลี่ย	0.0711	0.1021	0.0750	0.2141	0.0895	0.1062	0.1004	0.1547	0.0793	0.1007	0.1160	0.1065	0.0940	0.1400	0.0874	0.0929	0.1022	0.1650	0.1921	0.2916	0.0877	0.1128
S.D.	0.0000	00119	0.0000	0.0017	0.0000	0.0038	0.0000	0.0043	0.0000	0.0043	0.0000	0.0035	0.0000	0.0091	0.0000	0.0034	0.0000	0.0040	0.0000	0.0318	0.0000	0.0045
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	-43.60		-185.47		-18.65		-54.08		-26.99		8.19		-48.94		-6.29		-61.45		-51.80		-28.62	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการบำบัด B = หลังการบำบัด

\- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.7 ปริมาณไนไตรท์ (มก.ไนไตรท์-ไนโตรเจน/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	0.0392	0.0031	0.0636	0.0041	0.0428	0.0017	0.0924	0.0074	0.0459	0.0053	0.0847	0.0089	0.0503	0.0067	0.0476	0.0034	0.0892	0.0244	0.0844	0.0288	0.0520	0.0193
T2	0.0392	0.0027	0.0636	0.0032	0.0428	0.0022	0.0924	0.0078	0.0459	0.0057	0.0847	0.0076	0.0503	0.0068	0.0476	0.0026	0.0892	0.0267	0.0844	0.0282	0.0520	0.0187
T3	0.0392	0.0022	0.0636	0.0038	0.0428	0.0016	0.0924	0.0081	0.0459	0.0061	0.0847	0.0082	0.0503	0.0066	0.0476	0.0032	0.0892	0.0258	0.0844	0.0294	0.0520	0.0190
T4	0.0392	0.0023	0.0636	0.0046	0.0428	0.0018	0.0924	0.0078	0.0459	0.0051	0.0847	0.0085	0.0503	0.0061	0.0476	0.0018	0.0892	0.0252	-	-	-	-
T5	0.0392	0.0027	0.0636	0.0038	0.0428	0.0015	0.0924	0.0074	0.0459	0.0057	0.0847	0.0080	0.0503	0.0069	0.0476	0.0028	0.0892	0.0253	0.0844	0.0280	0.0520	0.0181
ค่าเฉลี่ย	0.0392	0.0026	0.0636	0.0039	0.0428	0.0018	0.0924	0.0077	0.0459	0.0056	0.0847	0.0082	0.0503	0.0066	0.0476	0.0064	0.0892	0.0255	0.0844	0.0286	0.0520	0.0188
S.D.	0.0000	0.0004	0.0000	0.0005	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000	0.0005	0.0000	0.0003	0.0000	0.0006	0.0000	0.0008	0.0000	0.0006	0.0000	0.0005
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	93.37		93.87		95.79		91.67		87.80		90.32		86.88		86.55		71.41		66.11		63.85	
C1	0.0392	0.2132	0.0636	0.3167	0.0428	0.2086	0.0924	0.4484	0.0459	0.2768	0.0847	0.4013	0.0503	0.2370	0.0476	0.2729	0.0892	0.4179	0.0844	0.4267	0.0520	0.2346
C2	0.0392	0.2178	0.0636	0.3284	0.0428	0.2096	0.0924	0.4213	0.0459	0.2340	0.0847	0.4726	0.0503	0.2762	0.0476	0.2186	0.0892	0.4508	0.0844	0.5120	0.0520	0.2678
C3	0.0392	0.2210	0.0636	0.3441	0.0428	0.2074	0.0924	0.4972	0.0459	0.2400	0.0847	0.4980	0.0503	0.2108	0.0476	0.3200	0.0892	0.4813	0.0844	0.5013	0.0520	0.2543
C4	0.0392	0.2002	0.0636	0.3610	0.0428	0.2068	0.0924	0.4899	0.0459	0.2121	0.0847	0.4811	0.0503	0.2911	0.0476	0.2842	0.0892	0.4068	-	-	-	-
C5	0.0392	0.2178	0.0636	0.3100	0.0428	0.2087	0.0924	0.4504	0.0459	0.2237	0.0847	0.4129	0.0503	0.2456	0.0476	0.2320	0.0892	0.4348	0.0844	0.4114	0.0520	0.2535
ค่าเฉลี่ย	0.0392	0.2140	0.0636	0.3320	0.0428	0.2082	0.0924	0.4614	0.0459	0.2373	0.0847	0.4532	0.0503	0.2521	0.0476	0.2655	0.0892	0.4383	0.0844	0.4628	0.0520	0.2526
S.D.	0.0000	0.0082	0.0000	0.0207	0.0000	0.0010	0.0000	0.3159	0.0000	0.0219	0.0000	0.0432	0.0000	0.0286	0.0000	0.0409	0.0000	0.0293	0.0000	0.0516	0.0000	0.0136
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	-445.92		-422.01		-386.45		-399.35		-416.99		-435.06		-401.19		-457.77		-391.37		-448.34		-385.77	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการบำบัด B = หลังการบำบัด

\- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.8 ปริมาณไนโตรเจนรวม (มก./ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	0.8640	0.0864	0.5092	0.0986	0.3650	0.0561	0.4519	0.1214	0.3310	0.0910	0.4086	0.0936	0.1946	0.0611	0.5004	0.1716	0.4042	0.1012	0.2574	0.0973	0.3232	0.1306
T2	0.8640	0.0882	0.5092	0.0978	0.3650	0.0586	0.4519	0.1492	0.3310	0.0898	0.4086	0.0855	0.1946	0.0643	0.5004	0.1709	0.4042	0.0992	0.2574	0.0899	0.3232	0.1317
T3	0.8640	0.0913	0.5092	0.0875	0.3650	0.0603	0.4519	0.1098	0.3310	0.0896	0.4086	0.0771	0.1946	0.0682	0.5004	0.0993	0.4042	0.1504	0.2574	0.1000	0.3232	0.1248
T4	0.8640	0.0898	0.5092	0.0924	0.3650	0.0655	0.4519	0.0954	0.3310	0.0914	0.4086	0.1023	0.1946	0.0678	0.5004	0.1684	0.4042	0.1100	-	-	-	-
T5	0.8640	0.0918	0.5092	0.0872	0.3650	0.0610	0.4519	0.1647	0.3310	0.0922	0.4086	0.0985	0.1946	0.0666	0.5004	0.2008	0.4042	0.1437	0.2574	0.0710	0.3232	0.1310
ค่าเฉลี่ย	0.8640	0.0895	0.5092	0.0927	0.3650	0.0603	0.4519	0.1321	0.3310	0.0908	0.4086	0.0914	0.1946	0.0656	0.5004	0.1622	0.4042	0.1209	0.2574	0.0896	0.3232	0.1295
S.D.	0.0000	0.0022	0.0000	0.0054	0.0000	0.0035	0.0000	0.0284	0.0000	0.0011	0.0000	0.0102	0.0000	0.0029	0.0000	0.0376	0.0000	0.0243	0.0000	0.0131	0.0000	0.0032
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	89.64		81.79		83.48		70.76		72.58		77.62		66.31		67.59		70.08		65.19		59.93	
C1	0.8640	0.2266	0.5092	0.1444	0.3650	0.1088	0.4519	0.1255	0.3310	0.0918	0.4086	0.1172	0.1946	0.0545	0.5004	0.1424	0.4042	0.1210	0.2574	0.0784	0.3232	0.0983
C2	0.8640	0.2313	0.5092	0.1465	0.3650	0.1086	0.4519	0.1284	0.3310	0.0982	0.4086	0.1186	0.1946	0.0586	0.5004	0.1478	0.4042	0.1156	0.2574	0.0752	0.3232	0.0965
C3	0.8640	0.2297	0.5092	0.1473	0.3650	0.1062	0.4519	0.1290	0.3310	0.0988	0.4086	0.1153	0.1946	0.0590	0.5004	0.1496	0.4042	0.1178	0.2574	0.0761	0.3232	0.0942
C4	0.8640	0.2284	0.5092	0.1482	0.3650	0.1097	0.4519	0.1276	0.3310	0.0961	0.4086	0.1194	0.1946	0.0586	0.5004	0.1480	0.4042	0.1176	-	-	-	-
C5	0.8640	0.2080	0.5092	0.1437	0.3650	0.1030	0.4519	0.1276	0.3310	0.0934	0.4086	0.1153	0.1946	0.0549	0.5004	0.1412	0.4042	0.1140	0.2574	0.0726	0.3232	0.0911
ค่าเฉลี่ย	0.8640	0.2248	0.5092	0.1460	0.3650	0.1073	0.4519	0.1276	0.3310	0.0957	0.4086	0.1172	0.1946	0.0571	0.5004	0.1458	0.4042	0.1172	0.2574	0.0756	0.3232	0.0950
S.D.	0.0000	0.0096	0.0000	0.0019	0.0000	0.0027	0.0000	0.0013	0.0000	0.0030	0.0000	0.0019	0.0000	0.0022	0.0000	0.0037	0.0000	0.0026	0.0000	0.0024	0.0000	0.0031
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	73.98		71.33		70.60		71.76		71.09		71.32		70.66		70.86		71.00		70.63		70.61	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการบำบัด B = หลังการบำบัด

\- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.9 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (มก.ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส/ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	0.1012	0.0142	0.1522	0.0387	0.1096	0.0186	0.0881	0.0344	0.1049	0.0247	0.1126	0.0255	0.1674	0.0548	0.0985	0.0500	0.0854	0.0410	0.0931	0.0334	0.1250	0.0573
T2	0.1012	0.0110	0.1522	0.0229	0.1096	0.0189	0.0881	0.0216	0.1049	0.0283	0.1126	0.0196	0.1674	0.0513	0.0985	0.0404	0.0854	0.0415	0.0931	0.0356	0.1250	0.0522
T3	0.1012	0.0146	0.1522	0.0213	0.1096	0.0195	0.0881	0.0278	0.1049	0.0164	0.1126	0.0258	0.1674	0.0615	0.0985	0.0468	0.0854	0.0360	0.0931	0.0403	0.1250	0.0657
T4	0.1012	0.0144	0.1522	0.0245	0.1096	0.0204	0.0881	0.0255	0.1049	0.0305	0.1126	0.0199	0.1674	0.0606	0.0985	0.0347	0.0854	0.0442	-	-	-	-
T5	0.1012	0.0113	0.1522	0.0376	0.1096	0.0201	0.0881	0.0227	0.1049	0.0366	0.1126	0.0137	0.1674	0.0633	0.0985	0.0526	0.0854	0.0463	0.0931	0.0252	0.1250	0.0441
ค่าเฉลี่ย	0.1012	0.0131	0.1522	0.0290	0.1096	0.0195	0.0881	0.0264	0.1049	0.0273	0.1126	0.0209	0.1674	0.0583	0.0985	0.0449	0.0854	0.0418	0.0931	0.0336	0.1250	0.0548
S.D.	0.00	0.0018	0.00	0.0084	0.00	0.0008	0.00	0.0051	0.00	0.0075	0.00	0.0050	0.00	0.0050	0.00	0.0073	0.00	0.0039	0.00	0.0063	0.00	0.0091
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	87.06		80.95		82.21		70.03		73.98		81.44		65.17		54.42		51.05		63.91		56.16	
C1	0.1012	0.2769	0.1522	0.4012	0.1096	0.2274	0.0881	0.2472	0.1049	0.2844	0.1126	0.2898	0.1674	0.4284	0.0985	0.2606	0.0854	0.3065	0.0931	0.2920	0.1250	0.3086
C2	0.1012	0.3170	0.1522	0.4150	0.1096	0.2310	0.0881	0.2312	0.1049	0.2982	0.1126	0.2586	0.1674	0.4062	0.0985	0.2872	0.0854	0.2874	0.0931	0.2519	0.1250	0.4122
C3	0.1012	0.2422	0.1522	0.4214	0.1096	0.2346	0.0881	0.2045	0.1049	0.2806	0.1126	0.2911	0.1674	0.4986	0.0985	0.2594	0.0854	0.2092	0.0931	0.2909	0.1250	0.3586
C4	0.1012	0.2531	0.1522	0.3986	0.1096	0.2321	0.0881	0.2516	0.1049	0.2674	0.1126	0.3148	0.1674	0.4880	0.0985	0.2512	0.0854	0.3150	-	-	-	-
C5	0.1012	0.2283	0.1522	0.3979	0.1096	0.2265	0.0881	0.2303	0.1049	0.2742	0.1126	0.2943	0.1674	0.4376	0.0985	0.2575	0.0854	0.2232	0.0931	0.2433	0.1250	0.3267
ค่าเฉลี่ย	0.1012	0.2635	0.1522	0.4068	0.1096	0.2303	0.0881	0.2330	0.1049	0.2810	0.1126	0.2897	0.1674	0.4518	0.0985	0.2632	0.0854	0.2683	0.0931	0.2695	0.1250	0.3515
S.D.	0.00	0.0348	0.00	0.0107	0.00	0.0034	0.00	0.0185	0.00	0.0116	0.00	0.0201	0.00	0.0398	0.00	0.0139	0.00	0.0488	0.00	0.0256	0.00	0.0454
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	-160.38		-167.28		-110.13		-164.47		-167.87		-157.28		-169.89		-167.21		-214.17		-189.47		-181..20	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน)　C = ชุดควบคุม　A = ก่อนการบำบัด　B = หลังการบำบัด

\- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ตารางภาคผนวกที่ จ.10 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนา และประสิทธิภาพการบำบัดโดยหอยแมลงภู่ 2.14 ก./ล. และสาหร่ายมงกุฎหนาม 1 ก./ล. แยกตู้กันเป็นเวลา 88 วัน

ระยะเวลา (วัน) / ชุดการทดลอง	8		16		24		32		40		48		56		64		72		80		88	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T1	122.47	49.47	97.60	27.45	88.67	26.60	76.40	24.23	103.00	36.78	95.20	38.89	115.20	36.72	66.80	36.65	80.13	29.10	99.60	45.67	105.59	61.79
T2	122.47	48.16	97.60	35.16	88.67	29.25	76.40	22.16	103.00	34.17	95.20	29.97	115.20	39.26	66.80	29.13	80.13	30.06	99.60	31.12	105.59	64.62
T3	122.47	42.88	97.60	31.72	88.67	24.72	76.40	21.90	103.00	30.06	95.20	39.51	115.20	35.50	66.80	28.88	80.13	29.00	99.60	39.88	105.59	64.97
T4	122.47	43.56	97.60	32.88	88.67	28.31	76.40	20.68	103.00	38.38	95.20	40.62	115.20	30.93	66.80	32.70	80.13	32.00	-	-	-	-
T5	122.47	43.58	97.60	30.26	88.67	30.47	76.40	22.78	103.00	31.92	95.20	40.51	115.20	35.70	66.80	32.09	80.13	30.09	99.60	48.53	105.59	70.58
ค่าเฉลี่ย	122.47	45.53	97.60	31.49	88.67	27.87	76.40	22.35	103.00	34.26	95.20	37.90	115.20	35.62	66.80	31.89	80.13	30.05	99.60	41.30	105.59	65.49
S.D.	0.00	3.05	0.00	2.88	0.00	2.26	0.00	1.30	0.00	3.41	0.00	4.49	0.00	3.02	0.00	3.16	0.00	1.20	0.00	7.68	0.00	3.68
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	62.82		67.74		68.57		70.75		66.74		60.19		69.08		52.26		62.50		58.53		37.98	
C1	122.47	109.06	97.60	70.10	88.67	68.70	76.40	58.86	103.00	80.24	95.20	70.53	115.20	80.22	66.80	50.10	80.13	60.34	99.60	79.95	105.59	76.41
C2	122.47	102.76	97.60	71.18	88.67	62.25	76.40	51.13	103.00	78.13	95.20	79.12	115.20	85.74	66.80	48.76	80.13	59.65	99.60	76.12	105.59	79.09
C3	122.47	110.25	97.60	76.66	88.67	69.03	76.40	60.02	103.00	82.08	95.20	75.56	115.20	89.86	66.80	49.50	80.13	62.06	99.60	76.24	105.59	76.35
C4	122.47	108.99	97.60	73.69	88.67	70.00	76.40	59.64	103.00	80.00	95.20	76.64	115.20	86.65	66.80	51.23	80.13	61.78	-	-	-	-
C5	122.47	114.69	97.60	72.53	88.67	65.89	76.40	56.78	103.00	76.55	95.20	70.75	115.20	85.61	66.80	49.64	80.13	59.55	99.60	74.02	105.59	78.47
ค่าเฉลี่ย	122.47	109.15	97.60	72.83	88.67	67.17	76.40	57.29	103.00	79.40	95.20	74.52	115.20	85.62	66.80	49.85	80.13	60.68	99.60	76.58	105.59	77.58
S.D.	0.00	4.27	0.00	2.53	0.00	3.15	0.00	3.66	0.00	2.12	0.00	3.77	0.00	3.47	0.00	0.91	0.00	1.18	0.00	2.46	0.00	1.41
ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	10.88		25.38		24.25		25.01		22.91		21.72		25.68		25.37		24.27		23.11		26.53	

T = หอย+สาหร่าย(แยกตู้กัน) C = ชุดควบคุม A = ก่อนการบำบัด B = หลังการบำบัด

- หมายถึง หยุดการทดลอง เนื่องจากมีหอยตายเกินร้อยละ 10

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ ฉ.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาด้วยหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 0, 2.14, 4.28 และ 8.56 ก./ล.

พารามิเตอร์		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Chlorophyll a	Between Groups	2670.075	3	890.025	1342.162	.000*
	Within Groups	9.284	14	.663		
	Total	2679.359	17			
Ammonia	Between Groups	52709.631	3	17569.877	115.704	.000*
	Within Groups	2125.927	14	151.852		
	Total	54835.557	17			
Nitrite	Between Groups	9099.147	3	3033.049	158.396	.000*
	Within Groups	268.079	14	19.148		
	Total	9367.226	17			
Nitrate	Between Groups	12140.247	3	4046.749	9.549	.001*
	Within Groups	5933.145	14	423.796		
	Total	18073.392	17			
TN	Between Groups	27789.577	3	9263.192	322.589	.000*
	Within Groups	402.012	14	28.715		
	Total	28191.589	17			
Orthophosphate	Between Groups	16881.961	3	5627.320	7.930	.002*
	Within Groups	9934.852	14	709.632		
	Total	26816.813	17			
TSS	Between Groups	3335.317	3	1111.772	92.813	.000*
	Within Groups	167.702	14	11.979		
	Total	3503.019	17			
BOD	Between Groups	332.989	3	110.996	12.657	.000*
	Within Groups	122.771	14	8.769		
	Total	455.761	17			

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

ตารางภาคผนวกที่ ฉ.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของสาหร่ายมงกุฎหนามที่ความหนาแน่น 0, 0.1, 1 และ 10 ก./ล.

พารามิเตอร์		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Chlorophyll a	Between Groups	260.609	3	86.870	12.370	.000*
	Within Groups	112.363	16	7.023		
	Total	372.972	19			
Ammonia	Between Groups	1751.213	3	583.738	62.097	.000*
	Within Groups	150.407	16	9.400		
	Total	1901.620	19			
Nitrite	Between Groups	1770.221	3	590.074	8.477	.001*
	Within Groups	1113.753	16	69.610		
	Total	2883.974	19			
Nitrate	Between Groups	2160709.255	3	720236.418	2518.188	.000*
	Within Groups	4576.221	16	286.014		
	Total	2165285.476	19			
TN	Between Groups	112995.259	3	37665.086	699.280	.000*
	Within Groups	861.803	16	53.863		
	Total	113857.063	19			
Orthophosphate	Between Groups	111371.463	3	37123.821	239.529	.000*
	Within Groups	2479.793	16	154.987		
	Total	113851.256	19			
TSS	Between Groups	750.608	3	250.203	4.546	.017*
	Within Groups	880.644	16	55.040		
	Total	1631.252	19			
BOD	Between Groups	195.927	3	65.309	7.561	.002*
	Within Groups	138.202	16	8.638		
	Total	334.129	19			

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

ตารางภาคผนวกที่ ฉ.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาของชุดควบคุม ชุดทดลองที่ใช้หอยแมลงภู่ร่วมกับสาหร่ายมงกุฎหนามตู้เดียวกัน และแยกตู้

พารามิเตอร์		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Chlorophyll a	Between Groups	585.110	2	292.555	271.393	.000*
	Within Groups	12.936	12	1.078		
	Total	598.045	14			
Ammonia	Between Groups	4875.096	2	2437.548	168.506	.000*
	Within Groups	173.588	12	14.466		
	Total	5048.683	14			
Nitrite	Between Groups	595495.655	2	297747.827	1701.746	.000*
	Within Groups	2099.593	12	174.966		
	Total	597595.248	14			
Nitrate	Between Groups	43961.676	2	21980.838	309.591	.000*
	Within Groups	851.996	12	71.000		
	Total	44813.672	14			
TN	Between Groups	4414.186	2	2207.093	67.677	.000*
	Within Groups	391.345	12	32.612		
	Total	4805.531	14			
Orthophosphate	Between Groups	189898.939	2	94949.469	646.988	.000*
	Within Groups	1761.074	12	146.756		
	Total	191660.013	14			
TSS	Between Groups	4708.524	2	2354.262	102.478	.000*
	Within Groups	275.680	12	22.973		
	Total	4984.204	14			
BOD	Between Groups	78.833	2	39.417	2.844	.098
	Within Groups	166.343	12	13.862		
	Total	245.176	14			

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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวทิพย์วรรณ เชาวลิต

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910920011

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	2548

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ครู โรงเรียนบ้านพรุหลุมพี อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสงขลาเขต 3