การเลี้ยงหอยหวาน (*Babylonia areolata*) วัยอ่อนโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง

นางสาวยุวดี อัณฑสูตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BABYLONIA SNAIL *(BABYLONIA AREOLATA)* LARVICULTURE USING CLOSED RECIRCULATING SYSTEM WITH SEMI-CONTINUOUS ALGAL PRODUCTION

Miss Yuwadee Anthasoot

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science
Department of Marine Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเลี้ยงหอยหวาน (*Babylonia areolata*) วัยอ่อนโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง
โดย	นางสาวยุวดี อัณฑสูตร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปียะธีรธิติวรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิติธรรมยง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปียะธีรธิติวรกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

.....กรรมการ
(ดร.นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขุวดี อัฌฑสูตร: การเลี้ยงหอยหวาน (*Babylonia areolata*) วัยอ่อนโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง (BABYLONIA SNAIL *(BABYLONIA AREOLATA)* LARVICULTURE USING CLOSED RECIRCULATING SYSTEM WITH CONTINUOUS ALGAL PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สรวิศ เผ่าทองศุข 133 หน้า.

การศึกษานี้เป็นการพัฒนาระบบอนุบาลลูกหอยหวานระยะ veliger ด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด ในขั้นแรกได้ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ในการออกแบบระบบถังอนุบาล พบว่าลูกหอยหวานที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 330 ตัว/ลิตร จะมีอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* และ *Isochrysis* สูงสุดอยู่ระหว่าง 2.4-6.3 x10^7 และ 0.37 -3.8 x10^7 เซลล์/ลูกหอย/วัน และมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย 0.00014-0.00044 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลูกหอย/วัน การทดสอบประสิทธิภาพของถังอนุบาลลูกหอยหวานที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้ตัวกรองชีวภาพแบบ Biopolyma และตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ พบว่าชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ สามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรต์ ในถังไว้ได้เป็นอย่างดี โดยที่มีอัตรารอดไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ผลการอนุบาลลูกหอยที่ผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่องและระบบบำบัดด้วยตัวกรองแบบเคลื่อนที่โดยนำน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วมาบำบัดและหมุนเวียนกลับไปใช้เลี้ยงสาหร่าย เปรียบเทียบกับการเลี้ยงลูกหอยหวานชุดควบคุมในถังที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำวันละ 50% ทั้งแบบที่ได้รับแสงและแบบปิดมืด พบว่าได้อัตราการรอดไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การขยายขนาดถังเลี้ยงเป็นขนาด 100 ลิตร ได้อัตรารอดต่ำ (0.39-1.14%) เนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของโคพีพอดและโปรโตซัวในระบบเลี้ยง การใช้สาหร่ายผสม ระหว่าง *Isochrysis* และ *Amphora* ส่งผลให้ลูกหอยมีอัตราการรอดสูงกว่าใช้สาหร่าย *Isochrysis* ชนิดเดียว ส่วนการอนุบาลในระบบที่มีการให้แสง เพื่อให้สาหร่ายสามารถเพิ่มจำนวนได้ในถังเลี้ยงหอยและมีการใช้แอมโมเนียในการเติบโต ซึ่งจะช่วยควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เป็นระบบที่มีการจัดการง่าย เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อย และยังได้อัตรารอดสูง ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ในการอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ซึ่งระบบนี้จะช่วยลดต้นทุนของการเตรียมน้ำและสาหร่ายได้เป็นอย่างดี

ภาควิชา .....วิทยาศาสตร์ทางทะเล..... ลายมือชื่อนิสิต.....ขุวดี อัฌฑสูตร.....

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2550.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872424123 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEY WORD: BABYLONIA / RECIRCULATING / WATER QUALITY

YUWADEE ANTHASOOT : BABYLONIA SNAIL *(BABYLONIA AREOLATA)* LARVICULTURE USING CLOSED RECIRCULATING SYSTEM WITH SEMI-CONTINUOUS ALGAL PRODUCTION. THESIS ADVISOR : SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D., 133 pp.

This study involved a development of recirculating aquaculture system (RAS) for Babylonia snail veliger larvae. For preliminary studies, the basic data for designing RAS including microalgal consumption rate and ammonia excretion rate of the veliger larvae were investigated. It was found that Babylonia veliger (330 individual/L) fed with *Chaetoceros* and *Isochrysis* had the maximum consumption rate of 2.4-6.3x10^7 and 0.37-3.8x10^7cells/veliger/day, respectively. The ammonia excretion rate was 0.00014-0.00044 mg-N/veliger/day. Nitrogen treatment by both fibrous material (Bipolyma) and fluidized plastic biofilter (BCN-009) was found effective, in which the biofilters could maintain ammonia and nitrite in the larviculture tank within acceptable concentrations and survival rate of the larvae was similar to control tanks with water exchange. Consequently, culture of Babylonia larvae in RAS that consisted of semi-continuous algal production, fluidized biofilter and water after treatment was reused for the preparation of algal medium was successfully achieved. Survival rate of Babylonia larvae in RAS was similar to that cultured in control tanks with 50% daily water exchange in both light and dark conditions. Unfortunately, survival rate of Babylonia veliger in the upscale 100L RAS was substantially low (0.39-1.14%) due to the contamination of copepod and protozoa. The use of mix algal species e.g. *Isochrysis* and *Amphora* for Babylonia larviculture illustrated higher survival rate than using a single species of *Isochrysis*. Moreover, applying illumination to the larviculture tank could stimulate growth of the algae and also increase ammonia uptake which lower ammonia concentration in the water. The larviculture tank with continuous illumination hence easy to be operated with low water exchange but had high survival rate. The results from this study illustrated the feasibility of using RAS instead of conventional water exchange system for Babylonia larviculture. This would reduce the cost of water and algal preparation throughout the larviculture processes.

Department.....Marine science.....Student's signature...Yuwadee Anthasoot...

Field of study.....Marine science.....Advisor's signature.....

Academic year .....2007.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการวิจัยย่อย เรื่อง การพัฒนาเทคนิคการผลิตลูกพันธุ์หอยหวานคุณภาพ สำหรับการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.สรวิศ เผ่าทองศุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับแนวทางในการปฏิบัติงาน และคำแนะนำต่างๆ ที่ดียิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการตรวจและแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิติธรรมยง และ ดร.นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำการวิจัย เพื่อนๆในภาควิชาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณปวีณา ตปนียวรวงศ์ คุณมะลิวัลย์ คุตะโค คุณเสรี ดอนเหนือ คุณจันทร์สว่าง งามผ่องใส คุณสราวุธ แสงสว่างโชติ คุณรุ่งนภา สุทธิศรี คุณเอกราช ภูฆัง คุณสุชาดา จังรัสสะ คุณนฤมล ใบพัด คุณเอกชัย มาลาพล และเพื่อนๆน้องๆ สมาชิกในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ที่ให้ความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจในทุกๆเรื่องอย่างดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวทุกๆคน ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านทุนทรัพย์ รวมถึงผู้ที่คอยเป็นกำลังใจทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้ฝ่าฟันอุปสรรคจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ซ
สารบัญภาพ.....ญ
บทที่
1 บทนำ.....1
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
แนวคิดและทฤษฎี.....3
2.1ชีววิทยาของหอยหวาน.....3
2.2 วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก.....7
2.3 คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....10
2.4 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....14
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....16
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....23
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อพัฒนาระบบอนุบาลลูกหอยหวาน.....23
3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของถังอนุบาลลูกหอยหวาน
ที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ.....25
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....36
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....82
รายการอ้างอิง.....91
ภาคผนวก.....98
-ภาคผนวก ก.....99
-ภาคผนวก ข.....100
-ภาคผนวก ค.....103
-ภาคผนวก ง.....104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....133

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ระบบเลี้ยงหอยในระยะ veliger	18
2-2	วิธีการเลี้ยงลูกหอยหวานในระย veliger	20
3-1	ความหนาแน่นของลูกหอยในการศึกษาอัตราการกินสาหร่ายของลูกหอย ที่มีอายุ 3, 8 และ 13 วัน	23
3-2	พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์ในระหว่างการทดลอง	26
4-1	จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะ ในชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพแบบเส้นใย และถังชุดควบคุมที่ ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ	44
4-2	จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะ ในชุดการทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ	49
4-3	ค่าความเข้มแสงในแต่ละซ้ำของชุดทดลอง	51
4-4	จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงพื้นในระบบหมุนเวียนน้ำ แบบปิด กับระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสง และได้รับแสงน้อย	57
4-5	ค่าความเข้มแสงในแต่ละชุดทดลอง	59
4-6	จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะในถังขนาด 100 ลิตร ที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* และใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*	66
4-7	จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะในถังขนาด 100 ลิตร ที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* และใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*	71
4-8	จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะในถังที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* และใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*	77
ง.1	ข้อมูลผลการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวาน	104
ง.2	ข้อมูลผลการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวาน	105
ง.3	ข้อมูลผลการศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวาน	106
ง.4	ข้อมูลผลการทดลองอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด	107
ง.5	การอนุบาลลูกหอยหวานที่ประกอบด้วยระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และ ระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed)	112
ง.6	การเปรียบเทียบการอนุบาลลูกหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด กับระบบที่มี การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสงและทึบแสง	117

ตารางที่ **หน้า**

ค.7 การทดลองอนุบาลลูกหอยหวานในถังขนาด 100 ลิตร.....123
ค.8 การเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลลูกหอยหวานในระบบน้ำแบบปิดที่เลี้ยงโดยใช้สาหร่ายเพียงชนิดเดียวกับการเลี้ยงด้วยสาหร่ายผสมสองชนิด.....130

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2-1 หอยหวานชนิด *Babylonia areolata* Link 1807....3

2-2 ตัวอ่อนเวลลิเจอร์ของหอยโพรโซแบรงเคีย *Crepidula* (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า (ค) การกินอาหาร....5

2-3 ระบบการอนุบาลลูกหอยนางรมระยะวัยอ่อน....16

2-4 ระบบควบคุมการให้อาหารอัตโนมัติของการเลี้ยงหอยสองฝาความหนาแน่นสูง....17

2-5 ระบบการเลี้ยงลูกหอยมุกน้ำจืด....21

3-1 การทดลองศึกษาอัตราการกินสาหร่ายของลูกหอยหวาน....24

3-2 ถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ (1) ส่วนที่ใช้อนุบาลลูกหอยหวาน, (2) ท่ออากาศยก, (3) ผ้ากรองกั้นลูกหอย, (4) ตัวกรองชีวภาพ 26

3-3 ลักษณะใยกรองชีวภาพ (Biopolyma) แบบเส้นใย....27

3-4 ไดอะแกรมแสดงระบบอนุบาลลูกหอยแบบน้ำหมุนเวียนที่มีระบบผลิตสาหร่าย....28

3-5 ลักษณะตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed biofilter) 28

3-6 ถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่องและระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพ และถังอนุบาลลูกหอยที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ....29

3-7 ระบบเลี้ยงหอยหวานแบบต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองอนุบาลลูกหอย....30

3-8 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับอนุบาลลูกหอยหวาน ขนาดถังเลี้ยง 100 ลิตร....31

3-9 ระบบอนุบาลลูกหอยหวาน ประกอบด้วย ถังอนุบาลขนาด 100 ลิตร (ซ้ายบน) ระบบตัวกรองชีวภาพแบบฟลูอิดไดส์ที่ติดตั้งภายในถังอนุบาลลูกหอย (ซ้ายล่าง) และถังเลี้ยงสาหร่ายขนาด 100 ลิตร (ขวา) 32

3-10 ระบบอนุบาลลูกหอยหวาน ประกอบด้วย ถังอนุบาลขนาด 100 ลิตร (ขวา) ระบบตัวกรองชีวภาพแบบฟลูอิดไดส์ที่ติดตั้งภายในถังอนุบาลลูกหอย (ซ้ายบน) และถังเลี้ยงสาหร่ายขนาด 100 ลิตร (ซ้ายล่าง)....33

3-11 ระบบอนุบาลลูกหอยหวานแบบปิดที่เลี้ยงโดยใช้สาหร่ายเพียงชนิดเดียวกับการเลี้ยงด้วยสาหร่ายผสมสองชนิด....35

4-1 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 1 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 2 มิลลิลิตร....36

4-2 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 3 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร....37

หน้า

4-3 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 8 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร....37
4-4 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 13 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร....38
4-5 อัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 3, 8 และ 13 วันที่ลี้ยงด้วยความหนาแน่นต่างๆ กัน....39
4-6 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 1 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร....40
4-7 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 5 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร....40
4-8 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 10 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร....41
4-9 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 15 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร....41
4-10 อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 3, 8 และ 13 วันที่ลี้ยงด้วยความหนาแน่นต่างๆ กัน....42
4-11 การขับถ่ายแอมโมเนียในน้ำจากลูกหอยหวานระยะ veliger ที่มีอายุแตกต่างกัน....43
4-12 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวานระยะ veliger ที่มีอายุแตกต่างกัน....43
4-13 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) 44
4-14 ความหนาแน่นเฉลี่ยของสาหร่าย *Chaetoceros* ในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) 45
4-15 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) 46
4-16 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถังชุดควบคุม ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)....46
4-17 ปริมาตรน้ำที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง....47
4-18 การติดตามการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในขั้นตอน การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน....48

หน้า

4-19 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) 49
4-20 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) 50
4-21 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) 51
4-22 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุม ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange).....51
4-23 ปริมาณแอมโมเนียในถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุม (Control) และชุดทดลองระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Treatment) แสดงข้อมูลแยกในแต่ละซ้ำ.....51
4-24 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสาหร่ายในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) 53
4-25 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) 54
4-26 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอย.....54
4-27 ปริมาตรน้ำที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง 55
4-28 การติดตามการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในขั้นตอน การเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน.....56
4-29 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) ทั้งแบบได้รับแสง และแบบทึบแสง.....57
4-30 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) ทั้งแบบได้รับแสง และแบบทึบแสง.....58
4-31 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสาหร่ายในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง RAS ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) ทั้งแบบได้รับแสง และแบบทึบแสง.....59

หน้า

4-32 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง RAS ที่มีตัวกรองชีวภาพ…….....60
4-33 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุมแบบที่ได้รับแสง ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....60
4-34 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของถังชุดควบคุมแบบทึบแสง ที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ.....61
4-35 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) ทั้งแบบได้รับแสง และแบบทึบแสง.....62
4-36 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) ทั้งแบบได้รับแสง และแบบทึบแสง.....62
4-37 ปริมาตรน้ำที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง ในชุดทดลองที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ (RAS) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange) ทั้งแบบได้รับแสง และแบบทึบแสง.....63
4-38 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....64
4-39 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....65
4-40 การเพิ่มความกว้างเปลือกของลูกหอยระยะ Veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....65
4-41 ค่าความหนาแน่นของสาหร่ายของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย*Isochrysis*.....67
4-42 โคพีพอดที่ปนเปื้อนในถังอนุบาลลูกหอยหวาน.....67
4-43 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอย ชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* เป็นอาหาร.....68
4-44 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอย ชุดทดลองที่ให้ *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร.....68
4-45 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....69

หน้า

4-46 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....69
4-47 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....70
4-48 ปริมาณลูกหอยระยะ veliger larvae ภายในถังทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....71
4-49 การเพิ่มความกว้างเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....72
4-50 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....72
4-51 ค่าความหนาแน่นของสาหร่ายของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....73
4-52 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* เป็นอาหาร.....73
4-53 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดทดลองที่ให้ *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร.....74
4-54 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....74
4-55 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....75
4-56 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....75
4-57 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ภายในถังทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....76
4-58 การเพิ่มความกว้างเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....77
4-59 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....78
4-60 โปรโตซัวซูโอแทมเมียมที่พบเกาะกับตัวลูกหอย.....79
4-61 ค่าความหนาแน่นของสาหร่ายของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*.....79

หน้า

4-62 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* เป็นอาหาร....80
4-63 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร....80
4-64 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*....81
4-65 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isohrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*....81
ข.1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียม ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1, 0.5 และ 0.1 มิลลิกรัม แอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร....101
ข.2 กราฟมาตรฐานไนไตรต์ ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมไนไตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร....102
ข.3 กราฟมาตรฐานไนเตรต ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมไนเตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร....102
ค.1 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพของการอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed biofilter)....103
ค.2 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพของการอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดกับระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสงและได้รับแสงน้อย....103

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

หอยหวาน เป็นหอยทะเลฝาเดียวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และเป็นที่ต้องการของตลาดเป็นอย่างมากทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากมีเนื้อและรสชาติที่อร่อย ส่งผลให้ปริมาณการจับหอยหวานจากธรรมชาติมากขึ้น จากความต้องการที่สูงขึ้นทำให้จำนวนหอยหวานในธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นการสนองตอบปริมาณความต้องการของตลาด การเพาะเลี้ยงหอยหวานเพื่อทดแทนหอยหวานจากธรรมชาติจึงเริ่มแพร่หลายมากขึ้น ในปัจจุบันมีโรงเพาะฟักและอนุบาลลูกหอยหวานเชิงพาณิชย์เกิดขึ้นหลายแห่งตามจังหวัดชายฝั่งทะเล แต่การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงกระบวนการเพาะเลี้ยงลูกหอยหวานยังคงมีการศึกษาน้อย ในขณะที่ปัญหาในขั้นตอนการอนุบาลลูกหอยโดยเฉพาะอย่างยิ่งการอนุบาลลูกหอยหวานในระยะวัยอ่อน (veliger) จนถึงระยะลงพื้นมีอัตราการรอดต่ำ ในขณะเดียวกันต้นทุนของการเพาะเลี้ยงสูงขึ้นเนื่องจากมีความต้องการน้ำทะเลที่มีคุณภาพดีในปริมาณมาก เมื่อการผลิตลูกหอยวัยอ่อนไม่เพียงพอจึงส่งผลให้ลูกหอยหวานในระยะวัยรุ่น (Juvenile) มีราคาแพงมากและมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด

หอยหวานในระยะวัยอ่อนจะดำรงชีวิตเป็นแพลงก์ตอนสัตว์กินสาหร่ายเซลล์เดียวเป็นอาหาร การเพาะเลี้ยงลูกหอยหวานส่วนใหญ่จะใช้สาหร่ายที่สามารถจัดหาได้ง่ายเช่น *Isochrysis*, *Chaetoceros*, *Tetraselmis* หรือ *Chlorella* เป็นอาหาร โดยในขั้นตอนการผลิตลูกหอยซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 14-16 วัน เกษตรกรต้องเตรียมสาหร่ายให้พร้อมและเพียงพอเพื่อให้เป็นอาหารลูกหอยหวานซึ่งจะดำรงชีวิตเป็นตัวอ่อนระยะ veliger หรือที่เกษตรกรนิยมเรียกว่าระยะ “ผีเสื้อ” เนื่องจากเป็นตัวอ่อนที่มีรูปร่างคล้ายผีเสื้อและว่ายน้ำได้ ปัญหาที่พบมากก็คือปริมาณสาหร่ายที่ผลิตได้ในฟาร์มไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้เป็นอาหารลูกหอย และยังพบปัญหาการปนเปื้อนจากโปรโตซัวและสาหร่ายชนิดอื่นที่ไม่ต้องการ นอกจากนี้ในการเพาะเลี้ยงหอยหวานในระยะ veliger ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นประจำทุกวัน ทำให้มีความต้องการน้ำทะเลที่มีคุณภาพดีผ่านการบำบัดปรับปรุงคุณภาพน้ำแล้วในปริมาณที่มาก ดังนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงหอยหวานต้องมีพื้นที่อยู่ใกล้ทะเลเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดหาน้ำทะเลเข้าฟาร์ม ในขณะที่การเลี้ยงในระบบเปลี่ยนถ่ายน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำธรรมชาติ

ด้วยเหตุผลดังกล่าวการศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทำการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงลูกหอยหวานในระยะ veliger ที่สามารถผลิตสาหร่ายเซลล์เดียวแบบกึ่งต่อเนื่องให้เพียงพอต่อความต้องการและในขณะเดียวกันก็จะมีการบำบัดและหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนของการเตรียม

น้ำและยังช่วยควบคุมโรคของสัตว์น้ำ นำไปสู่การพัฒนาการเลี้ยงหอยหวานให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ และช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยชีววิทยาพื้นฐานของลูกหอยในระยะ veliger ได้แก่ การศึกษาอัตราการกินสาหร่าย และการขับถ่ายแอมโมเนีย
2. พัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อการอนุบาลลูกหอยหวาน ที่ประกอบด้วยระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และระบบบำบัดเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการเลี้ยงหอยหวานในเชิงพาณิชย์ เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำซึ่งช่วยลดต้นทุนของการเตรียมน้ำซึ่งเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ของการผลิต ลดปริมาณการปล่อยน้ำเสียจากการระบบเลี้ยงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและยังช่วยควบคุมโรคของสัตว์น้ำได้อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ชีววิทยาของหอยหวาน

2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

หอยหวาน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Babylonia areolata* Link 1807 ซึ่งสามารถจัดจำแนกตามหลักอนุกรมวิธานได้ดังนี้คือ อยู่ในไฟลัม Mollusca คลาส Gastropoda สับคลาส Prosobranchia อันดับ Neogastropoda ครอบครัว Buccinidae สกุล *Babylonia* และชนิด *Babylonia areolata* ลักษณะโดยทั่วไปเป็นหอยทะเลฝาเดียว (marine gastropod) มีเปลือกค่อนข้างหนา ทรงไข่ (ovate) ผิวเรียบ เปลือกมีพื้นสีขาวแต้มสี่เหลี่ยมสีน้ำตาลขนาดใหญ่เรียงเป็นแถว 3 แถวบนวงลำตัว (body whorl) บริเวณปลายสุดของส่วนเปลือกแหลม ส่วนหัวขดเป็นเกลียว การวนของเปลือกจะวนขวา (dextral) แผ่นปิดเปลือก (operculum) เป็นรูปไข่สามารถปิดช่องเปิดลำตัวได้อย่างสนิท มีลำตัวนิ่มใช้เท้า (muscular foot)ในการเคลื่อนที่หรือคลานฝังตัว มีหนวด 1 คู่ ตา 1 คู่ ตาของหอยหวานใช้สำหรับรับรู้เกี่ยวกับแสงสว่างเท่านั้น

ภาพที่ 2-1 หอยหวานชนิด *Babylonia areolata* Link 1807

2.1.2 แหล่งที่อยู่อาศัยและการแพร่กระจาย

หอยหวานอาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลที่เป็นพื้นทรายหรือทรายปนโคลนที่ระดับความลึก 5-15 เมตร แพร่กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยและทะเลอันดามัน นอกจากนี้ยังพบบริเวณชายฝั่งเขมร เวียดนาม และบริเวณทะเลจีนใต้ จรัญ และคณะ (2547) พบว่าหอยหวานที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ หอยหวาน และหอยหมาก

Babylonia areolata Link 1807 มีชื่อสามัญว่า Spotted Babylon หรือหอยหวาน กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณอ่าวไทย เช่น ตราด ระยอง จันทบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เป็นต้น เปลือกเป็นสีน้ำตาลแต้มด้วยสีน้ำตาลดำขนาดใหญ่ เรียงเป็นแถว 3 แถว ส่วนหัวที่เป็นเกลียวจะมีร่องเปลือก (whorl) ไม่ลึกมากนัก

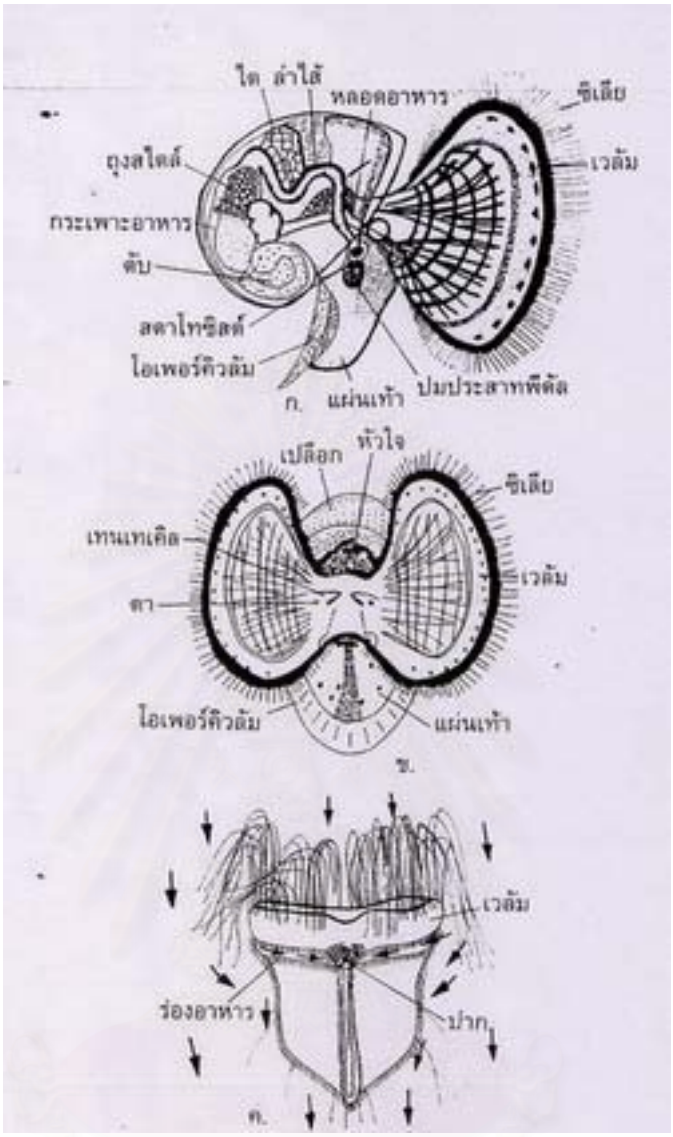
Babylonia spirata Linnaeus 1758 มีชื่อสามัญว่า Spiral Babylon หรือหอยหมาก ส่วนใหญ่กระจายอยู่บริเวณฝั่งทะเลอันดามัน พบมากที่จังหวัด ระนอง มีลักษณะแตกต่างจากชนิดแรกคือ เปลือกมีสีเข้มกว่า และแต้มสีน้ำตาลจำนวนมากกว่า ส่วนหัวที่เป็นเกลียวจะมีร่องเปลือก (whorl) ลึกมากกว่า และมีขนาดเล็กกว่าหอยหวาน

หอยหวานในสกุล *Babylonia areolata* Link 1807 เป็นชนิดที่นิยมบริโภคและมีความต้องการของตลาดสูงกว่า *Babylonia spirata* Linnaeus 1758 มาก (นิลนาจ และอนุตร, 2545)

2.1.3 อาหารและการกินอาหาร

พฤติกรรมการกินอาหารของหอยหวานแบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามช่วงอายุ คือ ลูกหอยหวานระยะวัยอ่อนหรือ veliger มีการดำรงชีพแบบแพลงก์ตอน (planktonic larvae) กินอาหารโดยการกรอง (filter feeder) สาหร่ายเซลล์เดียวชนิดต่างๆ โดยลูกหอยหวานมีลักษณะและพฤติกรรมการกินอาหารคล้ายกับหอยสกุล *Crepidula* (ภาพที่ 2-2)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-2 ตัวอ่อนเวลลิเจอร์ของหอยโพรโซแบรงเคีย *Crepidula* (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า (ค) การกินอาหาร

ที่มา: สุชาติ และคณะ, 2538 อ้างโดย ปริญญา สุทธินนท์, 2550

สำหรับลูกหอยหวานตั้งแต่ระยะลงพื้นจนถึงระยะตัวเต็มวัยเป็นสัตว์กินเนื้อเป็นอาหาร (carnivore) ซึ่งหอยหวานกินซากสัตว์ที่ตายแล้วเป็นอาหารทั้งในสภาพสดและไม่สด (นิลนาจ และอนุตร, 2545) หอยหวานมีต่อมน้ำลายและต่อมผลิตน้ำย่อย (esophageal gland) สำหรับสร้างน้ำย่อยโปรตีนแล้วส่งออกมาทางงวงหรือโพรบอสซีส (proboscis) เพื่อย่อยและดูดกินอาหารเข้าสู่ร่างกาย (วันทนา, 2541)

2.1.4 วงจรชีวิตและการสืบพันธุ์

หอยหวานเป็นสัตว์ที่มีเพศแยก (dioecious) คือเพศผู้และเพศเมียไม่ได้อยู่ในตัวเดียวกัน เพศผู้จะปรากฏอวัยวะเพศผู้ (penis) เป็นติ่งแบน ยื่นออกมาบริเวณใต้โคนหนวดด้านขวา แต่เพศเมียจะไม่ปรากฏติ่งแบนแต่จะพบรูเปิดด้านใต้ของเท้าเพื่อใช้ในการปล่อยฝักไข่ การผสมพันธุ์ตัวผู้จะสอดอวัยวะเพศเข้าไปในตัวเมีย แล้วปล่อยน้ำเชื้อผสมกับไข่บริเวณท่อนำรังไข่ (จรัญ และคณะ, 2547) หอยหวานวางไข่เป็นฝัก (egg capsule) บนพื้นทราย ฝักไข่แต่ละใบยึดติดกับพื้นทรายด้วยก้านฝักไข่ (peduncle) แยกกันเป็นถุงๆ ในแนวตั้งฉาก ฝักไข่ของหอยหวานมีลักษณะรูปร่างแบนปลายด้ายหนึ่งเรียวคล้ายกระสวย (vasiform) โปร่งใสและสามารถมองเห็นไข่ที่ผสมแล้ว หรือลูกหอยระยะพัฒนา (Trocophore larvae) ภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังการวางไข่ และเจริญอยู่ภายในฝักไข่ สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจนซึ่งจะแขวนลอยอยู่ในของเหลวใสๆ ภายในฝักไข่ หลังจากนั้นลูกหอยหวานระยะวัยอ่อน (Newly-hatched veliger larvae) จึงฟักออกจากฝักไข่ทางช่องเปิดและล่องลอยอยู่ในมวลน้ำภายในเวลาประมาณ 4 - 5 วันหลังการวางไข่ โดยมีอัตราการฟักไข่เฉลี่ย 95.0% (92.0 - 98.0%) ลูกหอยหวานระยะนี้มีลักษณะสำคัญคือมีกลุ่มขนขนาดใหญ่จำนวน 2 อันใช้ในการโบกพัดอาหารเข้าสู่ช่องปากและใช้ในการเคลื่อนที่ โดยลูกหอยหวานในระยะนี้เจริญเข้าสู่ลูกหอยระยะลงพื้น(newly-settled juveniles) ภายในเวลาเฉลี่ย 15 วัน (12 - 18 วัน) หลังฟักออกจากฝักไข่ ลูกหอยระยะลงพื้นมีความยาวเปลือกเฉลี่ย 1,500 ไมครอน (1,200 - 1,800 ไมครอน) มีเปลือกและรูปร่างสมบูรณ์เหมือนพ่อแม่ทุกประการ (นิลนาจ และอนุตร, 2545) ลูกหอยในระยะลงพื้นสามารถเจริญเป็นหอยในระยะวัยรุ่น (juvenile) ความยาวเปลือกประมาณ 0.5 เซ็นติเมตร ภายในเวลา 15-30 วัน ภายหลังลูกหอยลงพื้น และสามารถเริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ได้ที่ความยาวเปลือก 3.6 เซ็นติเมตร หรืออายุประมาณ 6 เดือนหลังจากวางไข่

2.1.5 การเลี้ยงหอยหวานระยะวัยอ่อน

ลูกหอยหวานระยะวัยอ่อนมีการดำรงชีพแบบแพลงก์ตอน (planktonic larvae) และมีลักษณะการเคลื่อนที่เข้าหาแสง (positive phototactic) ดังนั้นลูกหอยส่วนใหญ่จึงล่องลอยอยู่บริเวณผิวน้ำหรือกลางน้ำของบ่ออนุบาลลูกหอย ลูกหอยหวานระยะวัยอ่อนกินสาหร่ายเซลล์เดียวเป็นอาหารโดยการใช้ขนที่อยู่รอบ Velum เป็นตัวโบกพัดอาหารเข้าสู่ช่องปาก อาหารของลูกหอยในระยะนี้ที่นิยมใช้กันได้แก่แพลงก์ตอนพืชเซลล์เดียวเช่น *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans*, *Tetraselmis* sp. และ *Chlorella* sp. และไดอะตอมชนิดต่างๆ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูงซึ่งจะส่งผลถึงพัฒนาการ อัตราการเติบโต และอัตราการรอดของลูกหอย (Enright *et al*., 1986) โดยจะต้องทำการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้ให้ได้ปริมาณมากพอและมีคุณภาพดี ปริมาณอาหารที่ใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนลูกหอย อาหารต้องมีปริมาณพอเหมาะไม่มากหรือน้อยเกินไป เพราะถ้าปริมาณอาหารน้อยเกินไปก็จะไม่เพียงพอต่อการเติบโตของลูกหอย แต่ถ้าปริมาณอาหาร

มากเกินไปอาจจะมีผลยับยั้งอัตรากรองกินอาหารของลูกหอยและทำให้ลูกหอยเกิดการชะงักการเติบโต (นิลนาจ และอนุตร, 2545) โดยหลักการให้อาหารลูกหอยจะให้หลายครั้งในปริมาณน้อย เมื่อลูกหอยกรองกินอาหารไปส่วนหนึ่งแล้วจึงค่อยเพิ่มให้อีกเป็นระยะๆ ซึ่งต้องอาศัยทักษะและความชำนาญจากการสังเกตจากการจางลงของสีน้ำในถังอนุบาลลูกหอยและสีของลูกหอยที่เข้มขึ้น นอกจากนี้การเลี้ยงด้วยสาหร่ายเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอ การเสริมด้วยอาร์ทีเมียในวันที่ 10 ของการอนุบาลในระยะ Veliger (ก่อนลงพื้น) ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการรอดตายให้สูงขึ้นด้วย (ลือชัย และฐิติมา, 2547) การให้อาหารแก่ลูกหอย ให้วันละ 2 ครั้งเช้า-เย็น โดยทำความสะอาดผนังและพื้นถังอนุบาลลูกหอยหวานระยะวัยอ่อน พร้อมเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเลประมาณสองในสามของปริมาตรน้ำทั้งหมดด้วยวิธีกาลักน้ำเป็นประจำทุกวันๆ ละ1 ครั้ง หลังจากนั้นผ่านผ้ากรองขนาด 5 ไมครอนที่มีอุณหภูมิและความเค็มเท่ากันพร้อมกับให้อากาศปานกลาง

2.2 วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก

วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสามารถแบ่งได้เป็นสามรูปแบบ (สรวิศ, 2549) ได้แก่ การเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว การเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง และการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ซึ่งทั้งสามวิธีจะมีความเหมาะสมกับเป้าหมายของการผลิตสาหร่ายที่แตกต่างกัน

2.2.1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว (batch culture)

เป็นการเลี้ยงในระบบปิดและเป็นวิธีการเลี้ยงที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไป หลักการคือการนำเซลล์เริ่มต้นหรือหัวเชื้อสาหร่ายที่มีความหนาแน่นที่เหมาะสมมาเติมลงในอาหารเพาะเชื้อ ซึ่งในอาหารเพาะเชื้อจะต้องมีสารอาหารที่สาหร่ายต้องการในการเติบโตอย่างเพียงพอ เมื่อเวลาผ่านไปสาหร่ายมีอัตราการเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วแบบทวีคูณ ระยะเวลาที่สาหร่ายแบ่งเซลล์โดยไม่มีข้อจำกัดจากปัจจัยแวดล้อมภายนอก ไม่ว่าจะเป็น แสง สารอาหาร อุณหภูมิ ฯลฯ เรียกว่าระยะทวีคูณ (exponential growth phase) ระหว่างการเติบโตความเข้มข้นของสารอาหารจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากสาหร่ายนำไปใช้ในการเติบโต หลังจากนั้นสาหร่ายจะปลดปล่อยของเสียจากกระบวนการเมตาบอลิซึมออกมาทำให้การเติบโตของสาหร่ายลดลง การเติบโตจะถูกจำกัด เมื่ออาหารหมดการเติบโตจะค่อยๆ ลดลงเข้าสู่ระยะคงที่ (stationary phase) หมายถึงอัตราการเติบโตลดลงจนเป็นศูนย์หรืออีกนัยหนึ่งคืออัตราการเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์จะเท่ากับการลดจำนวนเซลล์ลงเนื่องจากการตาย และเข้าสู่ระยะตาย (death phase) เป็นระยะสุดท้ายของการเติบโตของเซลล์สาหร่าย ซึ่งเซลล์จะตายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากขาดสารอาหารและของเสียที่มากขึ้น

การคำนวณอัตราการเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate : μ) ทำได้โดยสมการ

$$\text{Specific growth rate}\,(\mu) = \frac{Ln_{x2} - Ln_{x1}}{T_2 - T_1} \qquad (1.1)$$

x คือ จำนวนเซลล์ของสาหร่าย

t คือ หน่วยเวลา

2.2.2 การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous culture)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous culture) เป็นวิธีที่จะใช้ประโยชน์จากระบบผลิตสาหร่าย โดยวิธีนี้จะให้ผลผลิตออกมาทุกวัน ผู้เลี้ยงจะเก็บเกี่ยวผลผลิตเซลล์ออกเพียงบางส่วน ขณะเดียวกันก็มีการเติมอาหารเพาะเชื้อลงในระบบการเลี้ยงในปริมาณที่เท่ากัน และปล่อยให้สาหร่ายมีการเติบโตขึ้นทดแทนสาหร่ายส่วนที่นำออกไปให้พอดีกันในแต่ละวัน การเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่องจำเป็นต้องทราบความหนาแน่นสูงสุดที่เซลล์ยังคงเติบโตในระยะทวีคูณ เพื่อนำมาใช้ในการประมาณการเก็บเกี่ยวสาหร่ายในแต่ละครั้ง

ในทางปฏิบัติ การจัดระบบการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ได้ผลดีนั้น ผู้เลี้ยงต้องเข้าใจการเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กโดยจะต้องคงสภาวะการเติบโตแบบทวีคูณไว้ให้ได้ ดังนั้นจึงต้องระวังไม่ให้สาหร่ายขนาดเล็กเติบโตเพิ่มจำนวนเข้าสู่ระยะการเติบโตคงที่

2.2.3 การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง (Continuous culture) (Wang et al, 1979)

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง (Continuous culture) สิ่งที่สำคัญคือการควบคุมปริมาตรของระบบเลี้ยงให้คงที่อยู่ตลอดเวลา โดยการเติมอาหารเพาะเชื้อใหม่ลงในถังเลี้ยงเซลล์อย่างต่อเนื่อง และในขณะเดียวกันก็ปล่อยให้อาหารเพาะเชื้อที่มีเซลล์สาหร่ายแขวนลอยอยู่ไหลออกจากถังเลี้ยงอย่างต่อเนื่องในอัตราที่เท่ากัน หากจัดให้มีอัตราการนำเข้าและถ่ายออกของอาหารเพาะเชื้อ (อัตราการเจือจาง) อยู่ในระดับที่เหมาะสม สาหร่ายจะเติบโตเพิ่มจำนวนพอดีกับที่ถูกกำจัดออกไป ดังนั้นอัตรการเติบโตจึงเท่ากับอัตราการเจือจาง ดังสมการ

$$D = (dv/dt)/V = \mu \qquad (2.1)$$

D คือ อัตราการเจือจาง (ต่อวัน)

V คือ ปริมาตรของถังเลี้ยง (ลิตร)

μ คือ อัตราการเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)

ในสภาวะของการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง หากจัดระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady stage) คือมีการเติบโตเพิ่มจำนวนแบบต่อเนื่องพอดีกับอัตราการเจือจางของระบบ จะพบว่าเซลล์ในระยะนี้ก็คือเซลล์ที่กำลังเติบโตในระยะทวีคูณตลอดเวลา โดยปริมาณเซลล์ในระบบจะมี

ความหนาแน่นคงที่ไปเรื่อยๆ หากสภาวะของการเพาะเลี้ยงไม่มีการเปลี่ยนแปลง การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กแบบต่อเนื่องที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ คือ

Chemostat

ระบบนี้จะมีการเติมสารอาหารเข้าสู่ระบบเลี้ยงที่มีปริมาตรในระบบคงที่ สารอาหารทุกตัวต้องมีปริมาณที่มากเกินพอต่อการเติบโตของเซลล์ การจำกัดความเข้มข้นของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของเซลล์เพียงชนิดเดียวจะมีผลต่อความหนาแน่นของเซลล์ในระยะคงที่ได้ Chemostat หมายถึง ลักษณะสภาพแวดล้อมทางเคมีที่คงที่ ทำให้สามารถควบคุมสรีรวิทยาของเซลล์ที่เติบโตโดยการควบคุมสภาวะแวดล้อมในการเติบโตของเซลล์ โดยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตจะเป็นตัวจำกัดอัตราการเติบโตของเซลล์

การอธิบายลักษณะการเติบโตในระยะคงที่ (steady stage) สำหรับการเลี้ยงแบบ Chemostat ต้องอธิบายถึงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเซลล์และความเข้มข้นของปริมาณสารอาหารที่จำกัดที่มีกับอัตราการไหลของอาหารที่เติมลงสู่ระบบ (Wang และคณะ, 1979) โดยความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเซลล์ และปริมาณสารอาหารที่จำกัด กับอัตราการเจือจาง สามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \qquad (3.1)$$

K_s คือ ค่าคงที่ (half-rate saturation)

S คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

μ คือ อัตราการเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate)

μ_{max} คือ อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด

จากสมการ (3.1) เมื่อนำมาใช้ในการเลี้ยงแบบต่อเนื่องจะกลายเป็น

$$D = D_c \frac{S}{(Ks + S)} \qquad (3.2)$$

D_c คือ ค่าอัตราการเจือจางสูงสุด

Turbidostat (McNeil และ Harvey, 1990)

ระบบนี้จะมีการให้อาหารที่เป็นธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณที่มากเกินพอ ดังนั้นการเติบโตจะไม่มีสารอาหารที่เป็นตัวจำกัด สาหร่ายจะมีอัตราการเติบโตสูงสุดที่จำเพาะ (μ_{max}) ระบบจะควบคุมความหนาแน่นของเซลล์ให้อยู่ในปริมาณที่ต้องการ โดยทำการตรวจวัดความหนาแน่นของสาหร่ายด้วย Nephelometer หรือ Spectrophotometer เมื่อพบว่าความหนาแน่นของสาหร่ายมีค่าต่างจากที่ตั้งไว้ เครื่องจะส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมซึ่งจะทำการปรับโดยเติมอาหารลงสู่ภาชนะ

ข้อดีของวิธีการเลี้ยงแบบต่อเนื่องคือให้ผลผลิตเซลล์สาหร่ายที่มีคุณภาพและคงที่ สาหร่ายจะมีการเติบโตอยู่ในระยะทวีคูณให้ผลผลิตสูงกว่าและเป็นระบบอัตโนมัติ แต่สิ่งที่สำคัญในการเลี้ยงแบบต่อเนื่องคือการปรับอัตราการเจือจางจนเกิดการชะล้างเซลล์ออกจากระบบ (wash out) ซึ่งอัตราการเจือจางที่ใช้ควรต่ำกว่าอัตราการเติบโตจำเพาะเล็กน้อย (Fulks และ Main, 1991)

2.3 คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การจัดการเรื่องคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญมาก เนื่องจากคุณภาพน้ำที่ไม่ดีในระบบเพาะเลี้ยงย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำหรืออาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำชนิดต่างๆ ในแต่ละขั้นตอนของการเพาะเลี้ยงนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นๆ โดยปัจจัยที่มีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่

2.3.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียเข้าสู่แหล่งน้ำโดยมาจากอาหาร ปุ๋ย การย่อยสลายของสารประกอบไนโตรเจน และการขับถ่ายของเสียจากสัตว์น้ำ โดยสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำเกือบทุกชนิดมีปริมาณไนโตรเจนสูง ซึ่งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ในรูปแอมโมเนีย แอมโมเนียที่พบอยู่ในน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งไม่แตกตัว (un-ionized ammonia) เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ซึ่งแตกตัวได้ง่าย (ionized ammonia) (โชคชัย, 2548) มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำกว่าแอมโมเนีย ในการวัดแอมโมเนียโดยทั่วไปจะวัดรวมทั้งสองรูปแบบ ดังนี้

$$NH_4^- + H_2O \longrightarrow NH_3 + H_3O^-$$

แอมโมเนียทั้งสองรูปแบบนี้จะมีการเปลี่ยนรูปแบบไปมาได้ขึ้นอยู่กับพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ โดยหากพีเอชและอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอัตราส่วนของแอมโมเนีย (NH_3) จะสูงขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมีมากขึ้น แต่ถ้าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำลดลงแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียมอิออนจะมีอัตราส่วนที่มากขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง ส่วนใหญ่ในน้ำที่มีพีเอชประมาณ 7 จะมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่าในน้ำที่มีพีเอชประมาณ 9 ซึ่งน้ำทะเลโดยทั่วไปจะมีพีเอชในช่วง 7.8-8.5 ดังนั้นสัตว์น้ำเค็มจึงมีความเสี่ยงต่อพิษของแอมโมเนียมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำจืด การที่ในน้ำมีแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้การขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำทำได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้พีเอช ของเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ แอมโมเนียจะทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื่อเยื่อสูงขึ้น แอมโมเนียจะไปทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งออกซิเจน ทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอติดเชื้อโรคได้ง่าย โดยปกติในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะพยายามควบคุมไม่ให้ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าเกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์น้ำตาย 50% ในเวลา 24-72 ชั่วโมงของแอมโมเนียอิสระมีค่าระหว่าง

0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ NH_3 ถึงแม้ว่า LC_{50} ของแอมโมเนีย (NH_3) มีผลต่อปลาที่ระดับ 0.5 mg/L แต่ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพียง 0.025 mg/L ก็สามารถส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลาได้ (มั่นสินและไพพรรณ, 2536)

2.3.2 ไนไตรต์

โดยทั่วไปปริมาณไนไตรท์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีไม่สูงมาก เนื่องจากไนไตรท์ไม่คงตัว จึงมักเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนเตรท แต่ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียสูงมากก็มีโอกาสที่จะเกิดการสะสมของปริมาณไนไตรต์ในบ่อเลี้ยงได้ (ธีรพงษ์, 2545) โดย Parker (1995) รายงานว่าบ่อเลี้ยงสัตว์ทะเลที่มีค่าพีเอชค่อนข้างสูง จะทำให้การเติบโตของแบคทีเรียที่จะเปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรต (Nitrite Oxidizing Bacteria) หยุดชะงักลงและทำให้เกิดการสะสมของไนไตรต์ขึ้นในบ่อ

ไนไตรต์ที่พบส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนมาจากแอมโมเนีย ความเป็นพิษของไนไตรต์เกิดโดยไนไตรต์ไปออกซิไดซ์เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินทำให้เปลี่ยนเป็นเมทธีโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งมีความสามารถในการรับออกซิเจนได้ต่ำกว่าปกติ (hypoxia) การศึกษาในปลาพบว่าการเกิดสารเมทธีโมโกลบิน (methemoglobin) สามารถสังเกตได้จากการที่เลือดและเหงือกมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น ระดับความเป็นพิษของไนไตรต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำและค่าพีเอชน้ำลดลงและน้ำมีอุณหภูมิสูง แต่ความเป็นพิษของไนไตรต์จะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำ ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์สูงความเป็นพิษของไนไตรต์ต่อสัตว์น้ำจึงค่อนข้างต่ำ ปริมาณไนไตรต์ที่สูงเกินกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (มั่นสิน และไพพรรณ, 2536) นอกจากนี้ไนไตรต์ยังเป็นสารพิษที่มีกลไกการเกิดพิษต่อสัตว์น้ำคล้ายกับแอมโมเนีย ระดับความเข้มข้นของไนไตรต์ที่ถือว่าปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ ไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรต์-ไนโตรเจน

2.3.3 ไนเตรต

ไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรที่สุด มีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและไนไตรต์แต่เมื่อมีการสะสมไนเตรตในปริมาณมากขึ้นพบว่าจะมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้เช่นกัน ทำให้เกิดผลกระทบในระยะยาวต่อสุขภาพสัตว์น้ำ ทำให้เกิดความเครียด การบริโภคอาหารของสัตว์น้ำต่ำ เติบโตช้า อ่อนแอ และการเจริญพันธุ์ลดลง ไนเตรตมีความเป็นพิษต่อหอยสองฝาที่ความเค็ม 27 ppt โดยค่า LC_{50} ของหอย *Crassostrea virginiga* ที่ 96 ชั่วโมงเท่ากับ 2,604 $mgNO_3$-N/L ในตัวเต็มวัย (Spotte, 1979) แต่เมื่อปริมาณความเข้มข้นของไนเตรตสูงถึงระดับ 50 $mgNO_3$-N/L จึงต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และในภาวะที่ไร้ออกซิเจนไนเตรตจะเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นไนไตรต์ โดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

2.3.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

ออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในการเลี้ยงสัตว์น้ำ สัตว์น้ำใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ นอกจากนี้ออกซิเจนที่ละลายน้ำถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ประเภทต่างๆ เป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียออกซิเจนละลายในน้ำสัตว์น้ำส่วนใหญ่ต้องการปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อมีชีวิตรอด (วิรัช, 2544) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยทั่วไปในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ในระดับที่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเค็ม น้ำที่มีความเค็มและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง

2.3.5 พีเอช (pH)

พีเอชมีความสัมพันธ์กับระดับความเป็นพิษของสารพิษต่างๆ เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเมื่อพีเอชของน้ำสูงขึ้น แอมโมเนียจะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวและมีพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่พีเอชของน้ำต่ำลงไฮโดรเจนซัลไฟด์จะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวและมีพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน

พีเอชที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียด อ่อนแอและภูมิคุ้มกันลดลงได้ โดยทั่วไป pH ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ระหว่าง 6-9 โดย pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำเติบโตช้า (คณิต และยงยุทธ, 2537)

2.3.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ อุณหภูมิ มีผลต่อความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำ คือ น้ำบริสุทธิ์ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ออกซิเจนสามารถละลายลงสู่แหล่งน้ำได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีอัตราผกผันคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง ในขณะที่ขบวนการเมตาบอลิสซึมผันแปรตามอุณหภูมิ โดยกฎของแวนฮอฟฟ์ (Vanhoff's Law) กล่าวว่า อัตราของขบวนการเมตาบอลิสซึมของสิ่งมีชีวิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 1 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากสัตว์น้ำเป็นสัตว์เลือดเย็น (poikilotherms) อัตราเมตาบอลิสซึมของสัตว์น้ำจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสัตว์น้ำเป็นหลัก โดยสัตว์น้ำต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งเพื่อปรับอุณหภูมิของร่างกายให้เท่ากับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตาม การปรับตัวของสัตว์น้ำนั้นมีขีดจำกัด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วจะทำให้อุณหภูมิของน้ำกับสัตว์น้ำแตกต่างกันมาก ซึ่งสัตว์น้ำจะไม่สามารถปรับตัวได้ทัน(วิรัช, 2544) ทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรง เช่นจะทำให้

ระบบควบคุมการขับถ่ายน้ำและแร่ธาตุภายในร่างกายผิดปกติ ซึ่งทำให้ร่างกายอ่อนแอและตายได้ (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

2.3.7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้ซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟตและสารประกอบซัลเฟอร์อื่นๆที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์และเปลี่ยนสารประกอบซัลเฟอร์เหล่านี้ให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ในสามรูปแบบคือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรซัลไฟด์อิออน (HS^-) และไบซัลไฟด์อิออน (S^{2-}) สัดส่วนของแต่ละชนิดที่พบขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ น้ำที่มีพีเอชต่ำทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าน้ำที่มีพีเอชสูง ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะคล้ายคลึงกับการขาดออกซิเจน โดยไปสกัดกั้นการแพร่ของออกซิเจนในเซลล์ทำให้ปริมาณแลกเตท (lactate) ในเลือดสูง ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทำให้สัตว์น้ำตายอยู่ในช่วง 0.01-0.05 ppm

ความเป็นพิษจากไฮโดรเจนซัลไฟด์รุนแรงกว่าการขาดออกซิเจน (ชลอ, 2535) ดังนั้น ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจึงไม่ควรมี แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากการศึกษาของ คณิต และยงยุทธ (2537) ได้แนะนำว่า ในบ่อเพาะเลี้ยงปลาควรมีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ไม่เกิน 0.002 mg/L

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้ออกซิเจนอย่างทั่วถึง เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกออกซิไดส์และอยู่ในรูปไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Parker, 1995)

2.3.8 ความเค็ม

ความเค็มเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขบวนการทางสรีรวิทยาของสัตว์น้ำ เช่น สัตว์น้ำจำพวกกุ้งซึ่งจะมีผลต่อระบบการควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกาย ซึ่งส่งผลถึงอัตราการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างกะทันหันจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ไม่ว่าสัตว์น้ำชนิดใดก็ตาม โดยความเค็มของน้ำย่อมมีผลต่อสัตว์น้ำเช่นเดียวกับอุณหภูมิ (โชคชัย, 2548)

2.3.9 อัลคาลินิตี (Alkalinity)

คาลินิตีจะเป็นบัฟเฟอร์ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพีเอช และยังมีความสัมพันธ์กับอัตรารอดและการเจริญเติบโตของสัตว์ทะเลทุกชนิด อัลคาลินิตีที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 80-150 mg/L

2.3.10 แคลเซียม

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีสัดส่วนน้อยในน้ำทะเลมีเพียง $4.1x10^2$ mg/L (Goldberg *et al.*, 1971 อ้างโดย เปี่ยมศักดิ์, 2543) พบอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในสัตว์จำพวกหอยมีความสำคัญต่อการสร้างเปลือกและโครงสร้าง โดยสามารถดูดซึมแคลเซียมจากน้ำทะเลได้โดยตรง

(Tan *et al.*, 2000 อ้างถึง Coote *et al.*, 1996) หอยที่ได้รับแคลเซียมอย่างเพียงพอจะมีเปลือกหนา แข็งแรง น้ำหนักตัวมาก และขนาดใหญ่ สำหรับหอยที่ขาดแคลเซียม มีอาการเปลือกลอก บาง แต้มสีน้ำตาลมีขนาดเล็ก อ่อนแอ เติบโตช้า และมีอัตราการตายสูง ส่งผลให้ขายได้ในราคาต่ำ (Brodersen and Madsen, 2003)

2.4 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Closed recirculating systems) สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เป็นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบการเลี้ยง แต่ปรับสภาพน้ำที่ใช้แล้วผ่านระบบบำบัดเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากสารประกอบไนโตรเจนเพื่อทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น จากนั้นจึงนำน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดการปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบเลี้ยงซึ่งจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยประหยัดการใช้น้ำ ช่วยลดต้นทุนในการผลิต และยังสามารถจัดทำได้ในสถานที่ห่างไกลจากทะเล

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยทั่วไปมี 4 รูปแบบ ได้แก่กระบวนการทางกายภาพ (Physical unit process) กระบวนการทางเคมี (Chemical unit process) กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit process) และกระบวนการทางกายภาพเคมี (Physiochemical unit process) แต่สำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่ กระบวนการทางชีวภาพ (เกรียงศักดิ์, 2539)

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ จุดประสงค์หลักคือการกำจัดหรือเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจน (aerobic) และสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งเหมาะสมกับการนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นวิธีการที่ประหยัด และไม่ยุ่งยากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เป็นการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำโดยอาศัยหลักการของระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration) คือ มีวัสดุที่เรียกว่าตัวกรองชีวภาพ (biofilter) ซึ่งให้แบคทีเรียยึดเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุตัวกลาง รวมทั้งแบคทีเรียที่ล่องลอยอยู่ในน้ำนำมาใช้บำบัดน้ำ การบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพประกอบด้วยปฏิกิริยาหลัก 3 ส่วนได้แก่

1. กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน พวกเศษอาหารที่เหลือ เซลล์สัตว์ที่ตายแล้ว ซึ่งอยู่ในรูปของโปรตีน กรดนิวคลีอิก โดยมีแบคทีเรียเป็นผู้ย่อยสลายให้อยู่ในรูปแอมโมเนียม และหากค่าพีเอชในน้ำเพิ่มขึ้นแอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนีย ซึ่งจะมีบางส่วนที่จะถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเกิดได้ทั้งสภาวะที่มีแก๊ส

ออกซิเจนและไร้แก๊สออกซิเจน (วิรัช, 2544) แอมโมเนียที่ถูกปล่อยออกมาจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปดังสมการ

โปรตีน $\longrightarrow$ กรดอะมิโน $\longrightarrow$ NH_4^+

$NH_4^+ \longrightarrow NH_3 + H^+$

2. กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียที่เกิดจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและจากการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายสัตว์น้ำไปเป็นไนไตรต์ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนย่อย คือ ไนไตรเตชัน (nitritation) หรือ ไนไตรติฟิเคชัน (nitritification) เกิดโดยแบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) ดังสมการ

$2NH_4^+ + O_2 \longrightarrow 2NH_2OH + 2H^+$

$NH_4^+ + 0.5O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + 275KJ$

จากนั้นแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) จะเปลี่ยนไนไตรต์ไปอยู่ในรูปไนเตรต ซึ่งเรียกว่า ไนเตรเตชัน (nitratation) หรือไนเตรติฟิเคชัน (nitratification) ดังสมการ

$NO_2^- + 0.5O_2 \longrightarrow NO_3^- + 75KJ$

กระบวนการไนตริฟิเคชันดังกล่าวนี้จะเกิดได้เร็วที่สุดในช่วงที่ค่าสภาพกรดหรือด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 7-8 และอุณหภูมิช่วง 25-35 องศาเซลเซียส (วิรัช, 2544) เมื่อในระบบเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้นนั้นแสดงได้ว่าจะมีการสะสมปริมาณของไนเตรต ถ้าไม่มีกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification, DN) ขึ้น

3. กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นไนไตรต์และแก๊สไนโตรเจน โดยอาศัยแบคทีเรีย denitrifying bacteria กระบวนการนี้เกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอิสระแต่มีไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระในกระบวนการหายใจของแบคทีเรีย ขบวนการนี้เป็นส่วนหนึ่งในการกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการอนุบาลลูกหอยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เนื่องจากลูกหอยแต่ละชนิดมีพฤติกรรมการกินอาหารที่ต่างกัน ทำให้ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบการอนุบาลลูกหอยในหลากหลายรูปแบบ เช่น Zelm and Bourne (2004) ได้พัฒนาระบบเลี้ยงหอยนางรมระยะวัยอ่อนโดยเลี้ยงในถังอนุบาลที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ถังอนุบาลจะมีช่องสำหรับใช้ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่ทางด้านล่าง ช่องระบายน้ำนี้ถูกกั้นด้วยตาข่ายเพื่อไม่ให้ตัวอ่อนออกขณะเปลี่ยนถ่ายน้ำ สำหรับอาหารของลูกหอยจะเลี้ยงในถังขนาดใหญ่ในระบบการเลี้ยงแบบแบตช์ เมื่อต้องการให้อาหารปั๊มสาหร่ายจากถังเลี้ยงสาหร่ายเข้าสู่ถังเลี้ยงหอยโดยตรง ในขณะที่ระบบการเลี้ยงหอยนางรม จากรายงานของ Wallace (2001) เป็นการอนุบาลลูกหอยนางรมวัยอ่อนในถังอนุบาลขนาดใหญ่ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (ภาพที่ 2-3) ขณะเปลี่ยนถ่ายน้ำใช้แผ่นกรองขนาด 60 ไมครอน รองรับลูกหอย และเมื่อตัวอ่อนพร้อมที่จะลงเกาะ (อายุ 14-16 วัน) ทำการแยกตัวอ่อนออกจากถังและคัดขนาดโดยกรองน้ำผ่านตะแกรงและเลี้ยงในถังที่หุ้มด้วยถุงตาข่ายขนาดใหญ่ อาหารของลูกหอยจะเลี้ยงในถังขนาดใหญ่ เช่น ถังไฟเบอร์กลาส หรือถุงโพลีเอททิลีน การให้อาหารทำโดย นำสาหร่ายจากถังเลี้ยงเติมลงสู่ถังเลี้ยงลูกหอยทุกวัน วันละ 2 ครั้ง โดยใช้สาหร่าย *Isochrysis, Tetraselmis* และ *Chaetoceros*

ระบบการอนุบาลลูกหอยนางรมระยะวัยอ่อน

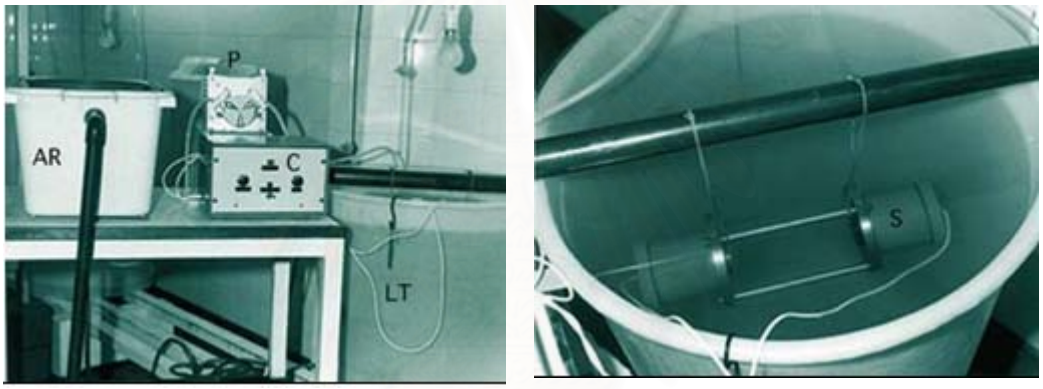
Sieves ขนาด 60 ไมครอน สำหรับกั้นลูกหอยขณะเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ภาพที่ 2-3 ระบบการอนุบาลลูกหอยนางรมระยะวัยอ่อน

ที่มา: Wallace, 2001

ส่วนการอนุบาลหอยนางรมในประเทศอังกฤษได้พัฒนาขึ้นจากการเลี้ยงหอย *Ostrea edulis* ของ Milne (1972) โดยมีการนำเครื่องมือสำหรับใช้ในการตรวจสอบความเข้มข้นของเซลล์สาหร่ายในถังเลี้ยงลูกหอยโดยอาศัยรังสีอินฟราเรด (ภาพที่ 2-4) หากพบว่าความเข้มข้นของเซลล์

สาหร่ายในถังเลี้ยงหอยลดลง เครื่องมือควบคุมจะส่งสัญญาณไปที่สวิตช์ของปั๊มให้ปั๊มสาหร่ายจากถังเก็บสาหร่ายเข้าสู่ถังอนุบาลลูกหอยตามปริมาณและเวลาที่กำหนดไว้ (Huggins *et al*., 1987) วิธีนี้ทำให้ปริมาณสาหร่ายและปริมาณลูกหอยในถังสมดุลกัน ในขณะที่ระบบการเลี้ยงแบบ Open system (Flow-through) เป็นการเลี้ยงที่สิ้นเปลืองสาหร่าย แต่สามารถช่วยลดต้นทุนแรงงานและประหยัดเวลา การออกแบบถังเลี้ยงต้องพิจารณาอัตราการไหลของน้ำ โดยที่สาหร่ายต้องมีเวลาที่จะอยู่ในน้ำให้นานพอที่ลูกหอยสามารถกรองกินจากมวลน้ำได้และไม่เกิดการสะสมของเสียอยู่ในน้ำ โดยน้ำจะไหลจากทางด้านล่างของถังออกสู่ทางด้านบนซึ่งมีวาล์วเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสม ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของลูกหอยด้วย ด้านบนต่อเข้ากับระบบสาหร่ายทำให้อาหารถูกเติมเข้าสู่ถังอนุบาลโดยมีปั๊มเป็นตัวควบคุม (Zelm and Bourne, 2004)



ภาพที่ 2-4 ระบบควบคุมการให้อาหารอัตโนมัติของการเลี้ยงหอยสองฝาความหนาแน่นสูง (AR) ถังเลี้ยงสาหร่าย (P) peristaltic pump (C) อุปกรณ์ควบคุมปั๊มโดยอาศัยเครื่องส่งสัญญาณ (S) เครื่องตรวจจับความเข้มข้นของอาหารในถังเลี้ยง (LT) ถังเลี้ยงลูกหอย

ที่มา: Zelm and Bourne, 2004

ระบบอนุบาลแบบต่างๆ มีความเหมาะสมกับขนาดและชนิดของหอยที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 2-1 พบว่าการอนุบาลลูกหอยเกือบทุกชนิดในระยะ veliger มีปัจจัยที่สำคัญ คือ คุณภาพของน้ำในถังอนุบาล การอนุบาลลูกหอยเกือบทุกชนิดมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเกือบทุกวันเพื่อลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำลง โดยวิธีการลดความเข้มข้นของแอมโมเนียทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับเทคนิค และการจัดการในแต่ละฟาร์ม เช่น การใช้ระบบน้ำแบบไหลผ่านตลอด ตามวิธีการของ Hardy (1991) ในการเลี้ยงหอยแครง หรือ การใช้ระบบน้ำนิ่งแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ เช่นระบบอนุบาลหอยตลับ หอยนางรม หอยหวาน (คเชนทร, 2544; ทรงชัย, 2536; ปริญญา และสุพิศ, 2549) และหอยมือเสือ (จินตนา, 2551) และเมื่อลูกหอยเริ่มพัฒนาเข้าสู่ระยะลงพื้นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบของถังอนุบาลให้เหมาะสมกับขนาดและชนิดของหอยที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2-1 ระบบเลี้ยงหอยชนิดต่างๆในระยะ veliger

ชนิดหอย	วิธีการเลี้ยงโดยสังเขป	เอกสารอ้างอิง
หอยตลับ หอยนางรม หอยหวาน	ใช้ถังอนุบาลปริมาตร 500-1,000 ลิตร เปลี่ยนน้ำทุกๆ 1-2 วัน โดยใช้ผ้ากรอง เป็นตัวกั้นลูกหอย ให้สาหร่ายเซลล์เดียวเป็นอาหารทุกวัน	คเชนทร (2544) Wallace (2001) นิลนาจ และอนุตร (2545)
หอยเป๋าฮื้อ	ใช้ถังอนุบาลปริมาตร 30 ลิตร ตรงกลางของถังจะเปิดน้ำทะเลที่กรองด้วยไส้กรองขนาด 5 ไมครอน เพื่อเป็นการถ่ายเทน้ำในถังอนุบาลให้มีการไหล ประมาณ 30 ลิตรต่อชั่วโมง ของเสียของหอยจะถูกขับออกจากระบบตลอดเวลา	คเชนทร (2544)
หอยแครง	ใช้ระบบน้ำไหลผ่านตลอดแบบปิด โดยน้ำและสาหร่ายจะไหลเข้าอย่างต่อเนื่องทางด้านบนของถังและไหลออกทางด้านล่าง น้ำที่ออกจากถังเลี้ยงนำไปผ่านการกรอง และเติมออกซิเจนก่อนที่จะกลับเข้าสู่ถังเลี้ยงอีกครั้ง	Hardy (1991)
หอยนางรม	ใช้ถังอนุบาลขนาดใหญ่ ที่มีการเปลี่ยนน้ำในถังอนุบาลทุกๆ 2-3 วัน จนกว่าจะเข้าสู่ระยะวัสดุ โดยใช้สายยางดูดน้ำออกมากรองผ่านตะแกรงกรองลูกหอยซึ่งทำด้วยผ้ากรองไนลอนขนาดตั้งแต่ 35 ไมครอนขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของลูกหอย	ทรงชัย (2536)
หอยหวาน	อนุบาลลูกหอยหวานชนิด *Babylonia areolata* Link 1807 ระยะveligerในถังปริมาตร 50 ลิตร โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 30-50% วันเว้นวัน	ปริญญา และสุพิศ (2549)
หอยมือเสือ	อนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1,000 ลิตร โดยให้แพลงก์ตอนพืชเซลล์เดียวชนิด *Isochrysis* และ *Chaetoceros* เป็นอาหาร เมื่อลูกหอยอายุ 4-5 วันขึ้นไป เริ่มให้ *zooxanthellae* พร้อมทั้งย้ายลูกหอยออกไปอนุบาลในบริเวณที่มีแสงเพียงพอ เพื่อให้สาหร่าย *zooxanthellae* สามารถเจริญได้	Braley (1992)
หอยมือเสือ	การอนุบาลลูกหอยระยะ veligerในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 500-1,000 ลิตร เปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันโดยใช้เทคนิควิธีการเดียวกับการอนุบาลลูกหอยสองฝาโดยทั่วไปในโรงเพาะพันธุ์ จนถึงอายุประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วย้ายลงอนุบาลในบ่อซีเมนต์ (raceway) กลางแจ้ง	จินตนา และคณะ (2551)

การอนุบาลลูกหอยหวานจากระยะ veliger ถึงระยะลงพื้น มีอัตรารอดแตกต่างกัน ซึ่งความสำเร็จของการเลี้ยงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ปัจจัยหนึ่งที่น่าจะส่งผลต่ออัตรารอดและการเติบโต คือความหนาแน่นของการเลี้ยง โดยการอนุบาลลูกหอยที่ความหนาแน่นสูงกว่าส่งผลให้อัตรารอดที่ได้มีค่าต่ำกว่า (ตารางที่ 2-2) เห็นได้จากการศึกษาของบังอร และคณะ (2548) กับนิพนธ์ และจรัญ (2543) อนุบาลลูกหอยที่ความหนาแน่นสูงกว่า ลือชัย และฐิติมา (2545) อัตรารอดที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่ามาก และนอกจากนี้ การเลี้ยงที่ความหนาแน่นต่ำลูกหอยสามารถเข้าสู่ระยะลงพื้นได้เร็วกว่าการเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูงกว่า ซึ่งการศึกษานี้มีความขัดแย้งกับ Shieh and Liu (1999) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2-2

ในด้านการศึกษาอัตราการขาดอาหารของหอยหวานในระยะ veliger พบว่าอัตราการขาดอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนารูปร่าง (metamorphosis) และอัตรารอดตาย โดยลูกหอยที่ให้อาหารตั้งแต่ที่ฟักออกมาจากฝักไข่จะมีอัตราการเติบโตด้านความยาวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 49.77 ไมครอนต่อวัน สามารถพัฒนาเป็นระยะลงพื้นได้ 53.75 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาเพียง 11.5 วัน ส่วนลูกหอยที่ให้อาหารหลังจากฟักออกมาจากฝักไข่ 96 ชั่วโมง (4 วัน) มีอัตราการเติบโตด้านความยาวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 12.49 ไมครอนต่อวัน ซึ่งต้องใช้เวลาของการพัฒนาจากระยะ veliger ถึงระยะลงพื้นถึง 20 วัน ส่วนลูกหอยที่เริ่มให้อาหารหลังจากฟักออกจากฝักไข่ 108 ชั่วโมง (4.5 วัน) นั้นมีอัตราการเติบโตด้านความยาวเฉลี่ยเพียง 11.13 ไมครอนต่อวัน และระยะ veliger จะตายหมดหลังจากอนุบาลได้ 10 วันเท่านั้น (Zheng *et al*., 2005)

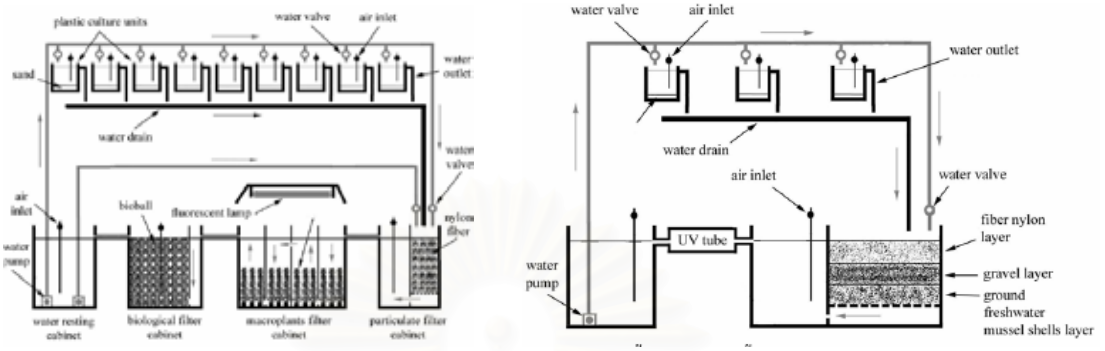
ชนิดของอาหารที่ใช้ในการอนุบาลลูกหอยจะมีผลต่อการเติบโตและการลงเกาะของลูกหอย ซึ่ง Alagarswami *et al*. (1989) รายงานว่าการเลี้ยงหอยมุก *Pinctada margaritifera* ด้วย *Isochrysis galbana* จะทำให้ตัวอ่อนของหอยมุกเติบโตเร็ว และลงเกาะเร็วกว่าที่เลี้ยงด้วย *Pavlona lutheri* ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Southgate *et al*. (1998)ได้ทดลองประเมินคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเขตร้อน 3 ชนิด คือ *Isochrysis* aff. *galbana* (T-Iso), *Pavlonac salina* และ *Chaetoceros simplex* และ *Tetraselmis suecica* ชนิดแห้ง พบว่าตัวอ่อนระยะ D-stage ที่เลี้ยงด้วย (T-Iso) จะเติบโตมากกว่าเลี้ยงด้วยอาหารอื่นๆ ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของนิพนธ์ และจรัญ (2543) และอนุรักษ์ (2545) ที่พบว่า การเลี้ยงด้วย *Chaetoceros calcitrans* มีอัตรารอดตายสูงสุด นอกจากนี้จากการศึกษาของ ลือชัย และฐิติมา (2545) กับปริญญา และสุพิศ (2549) ยังแสดงให้เห็นว่า อาหารเป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตราการรอด การที่ลูกหอยได้รับคุณค่าทางอาหารอย่างเพียงพอ โดยการเพิ่มชนิดของสาหร่ายหรือเพิ่มอาหารเสริมส่งผลให้อัตรารอดสูงขึ้นมาก ในขณะเดียวกันยังต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ เช่น คุณภาพพ่อแม่พันธุ์ คุณภาพฝักไข่ คุณภาพน้ำทะเล ซึ่งความเค็มที่เหมาะสมคือ 30-35 ส่วนในพันส่วน (Thu *et al*., 1999)โรคหรือปรสิต เทคนิคการจัดการระหว่างการอนุบาลเป็นต้น เพื่อให้การเลี้ยงลูกหอยในระยะ veliger ประสบความสำเร็จ

ตารางที่ 2-2 วิธีการเลี้ยงลูกหอยหวานในระยะ veliger

วิธีการเลี้ยงโดยสังเขป	เอกสารอ้างอิง
การอนุบาลลูกหอยหวาน โดยใช้สาหร่าย *Chaetoceros* ในการอนุบาลลูกหอยหวานในระยะ veliger จนถึงระยะลงพื้นมีอัตรารอดสูงสุดเท่ากับ 4.62-2.55% การเลี้ยงที่ความหนาแน่น 50-100, 400-600 และ 800-1000 ตัวต่อลิตร สามารถรวบรวมลูกหอยระยะลงพื้นได้ตั้งแต่วันที่ 17-25, 21-30 และ 27-30 ของการอนุบาลตามลำดับ แต่ที่ความหนาแน่น 400 ตัวต่อลิตร ได้อัตรารอดตายสูงสุดคือ 4.64 เปอร์เซ็นต์	นิพนธ์ และจรัญ (2543)
อนุบาลลูกหอยหวานชนิด *Babylonia formosae* ที่ระดับความหนาแน่น1,000, 2,000, 4,000 และ 8,000 ตัวต่อลิตร พบว่าการอนุบาลลูกหอยที่ความหนาแน่นสูงกว่าสามารถกระตุ้นให้ลูกหอยระยะ veliger พัฒนาและเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นระยะลงพื้นได้เร็วกว่า และมีอัตรารอดตายสูงกว่า โดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ยเพียง 3.21 วัน	Shieh และ Liu (1999)
อนุบาลลูกหอยหวาน ระยะ veliger ด้วยแพลงก์ตอนพืช 3 ชนิด คือ *เช่น Isochrysis galbona, Tetraselmis suecica* และ*Chaetoceros calcitrans* เป็นอาหาร พบว่าการให้ *Chaetoceros calcitrans* ได้อัตรารอดตายสูงสุดเฉลี่ย 3.07 เปอร์เซ็นต์	อนุรักษ์ (2545)
อนุบาลลูกหอยหวาน ระยะ veliger ถึงระยะลงพื้น ที่ความหนาแน่น 62 ตัวต่อลิตร ด้วยแพลงก์ตอนพืช *Chaetoceros calcitrans* และเสริมด้วยไรน้ำเค็มในวันที่ 10 จนกระทั่งเข้าสู่ระยะลงพื้น พบว่ามีอัตราการรอดตาย 28.69 เปอร์เซ็นต์	ลือชัย และฐิติมา (2545)
อนุบาลลูกหอยหวาน ระยะ veliger ถึงระยะลงพื้น ด้วยแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis galbona,* ที่ความหนาแน่น 3 ระดับได้อัตรารอดตายเฉลี่ย 1.48-2.59 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความหนาแน่น 20,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตรให้อัตรารอดตายสูงสุด	จรัญ และคณะ (2547)
อนุบาลลูกหอยหวาน ระยะวัยอ่อนที่ความหนาแน่นตั้งแต่ 720-1,233 ตัวต่อลิตร ได้อัตรารอดตาย 9.82 เปอร์เซ็นต์	บังอร และคณะ (2548)
อนุบาลลูกหอยหวาน ระยะ veliger ถึงระยะลงพื้น ด้วยแพลงก์ตอนพืช *Chaetoceros calcitrans* ในวันที่1-5 ของการอนุบาล และให้ *Tetraselmis* ในวันที่ 6 ของการอนุบาลจนถึงระยะลงพื้น สามารถให้อัตรารอดตายเฉลี่ยสูงสุด 25.50 เปอร์เซ็นต์	ปริญญา และสมพิศ (2549)

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในกลุ่มหอยมากขึ้น เช่นการทดลองของสาธิต (2550) ในการเลี้ยงหอยมุกน้ำจืด H. (*Hyriopsis*) *bialatus* ระยะจูวีไนล์ในระบบปิด เพื่อเปรียบเทียบระบบการกรองน้ำที่แตกต่างกัน พบว่าระบบการกรองที่ผ่านใยไนล่อน ผ่านระบบกรองชีวภาพ โดยใช้สาหร่ายฉัตร และลูกพลาสติก (bioball) ลูกหอยที่

เลี้ยงในระบบนี้มีการเติบโตเฉลี่ย อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตรารอดตายสูงกว่าระบบที่ผ่านวัสดุกรอง ใยไนล่อน กรวด และเปลือกหอยมุก (ภาพที่ 2-5)



ภาพที่ 2-5 ระบบการเลี้ยงลูกหอยมุกน้ำจืดในงานวิจัยของ สาธิต (2550)

Macmillan *et al*. (1994) ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงหอยสองฝาหลายชนิด ในระบบหมุนเวียนน้ำทะเลเทียมแบบปิดในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ หอยเชลล์ (bay scallop) หอยแมลงภู่ (blue mussels) หอยนางรม (eastern oyster) หอยนางรม (european oyster) หอยเชลล์ (sea scallop) หอยกาบ (softshell clams) และหอย quahaugs (หอยสองฝาเปลือกแข็งชายฝั่งอเมริกาเหนือ) โดยเลี้ยงหอยทุกชนิดในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 400 ลิตร ตั้งแต่เป็นตัวอ่อน โดยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดมีการกรอง (ระบบกรองสารแขวนลอย และการกรองด้วยคาร์บอน) การฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี ระบบกรองชีวภาพ และมีการปรับอุณหภูมิน้ำให้เย็นลง รวมปริมาตรของระบบทั้งหมด 2,300 ลิตร พบว่าตลอดระยะเวลาทดลอง 22 เดือน คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือแอมโมนียน้อยกว่า 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรต์น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรไนเตรตน้อยกว่า 19.16 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตรารอดในชุดควบคุมและชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 79-100 และ 74.8-98.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Yang, *et al*. (1989) ได้ทดลองเลี้ยงหมึกกระดองในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดตลอดวงจรชีวิต เป็นระยะเวลา 5 ปี โดยใช้บ่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร ขนาดปริมาตร 3,000 ลิตร (บ่อ CT) สำหรับการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์จนฟักไข่และมีอายุ 60 วัน ในน้ำทะเลธรรมชาติ และบ่อเลี้ยงตั้งแต่ตัวอ่อนจนเป็นตัวเต็มวัยด้วยน้ำทะเลเทียม (บ่อ RW) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดปริมาตร 14,850 ลิตรทั้งสองระบบประกอบด้วยตัวกรองชีวภาพ (เปลือกหอยนางรม) เครื่องกำจัดฟอง กรองสารแขวนลอยผ่านคาร์บอน และฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีมากทั้งสองระบบ คือ (บ่อ CT) มีความเข้มข้นของแอมโมเนียน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรไนไตรต์น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรตน้อยกว่า 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อ (บ่อ RW) มีความเข้มข้นของแอมโมเนียน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรไนไตรต์น้อยกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตรไนเตรตน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ

นอกจากนี้ Wickin (1985) ได้รายงานการเลี้ยงกุ้งในสกุล *Penaeus* sp. และกุ้งมังกรยุโรป ในระบบหมุนเวียนน้ำอย่างง่ายในห้องปฏิบัติการ โดยมีตัวกรองชีวภาพจากเม็ดพลาสติกหรือทรายขนาดเล็กร่วมกับเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อตรวจวัดการขับถ่ายแอมโมเนียและอัตราการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน พบว่าการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ดีที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์ไม่เกิน 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรต์ อยู่ระหว่าง 0.1-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และ0.02-0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อพัฒนาระบบอนุบาลลูกหอยหวาน

การศึกษาในส่วนนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบถังอนุบาลลูกหอยหวาน ประกอบด้วยการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวาน

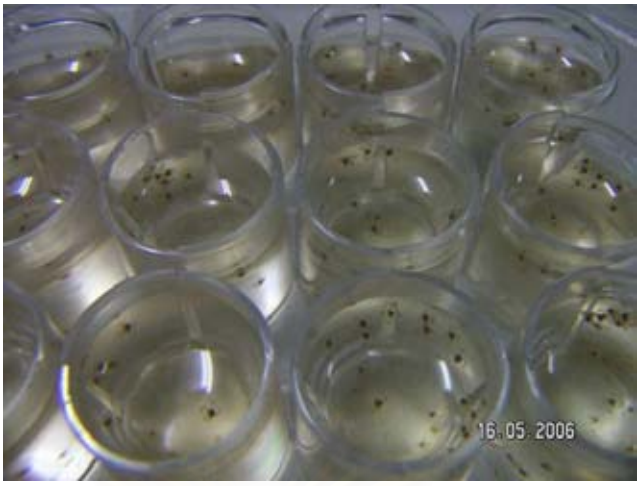
3.1.1 การศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros calcitrans* ของลูกหอยหวาน

การศึกษาอัตราการกินสาหร่ายของลูกหอยหวาน ใช้ลูกหอยหวานหลังจากที่ฟักออกจากไข่อายุ 1, 3, 8 และ 13 วัน ใส่ในหลุมพลาสติก (tissue culture plate) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร (ภาพที่ 3-1) โดยเติมสาหร่าย *c. calcitrans* ภายในหลุม ปริมาตร 3 มิลลิลิตร หลังจากนั้นใส่ลูกหอยจำนวน 1, 10 และ20 ตัวต่อหลุม (ตารางที่ 3-1) ในระหว่างการทดลองทำการตรวจนับปริมาณสาหร่ายในหลุมด้วยสไลด์นับเซลล์ (Haemacytometer) ที่เวลาเริ่มต้น, 0.5, 1, 3 และ 6 ชั่วโมง และคำนวณอัตราการกินสาหร่ายสูงสุด โดยใช้ข้อมูลอัตราการลดลงของสาหร่ายในหลุมระหว่างเวลา 0-0.5 ชั่วโมง นำมาคำนวณอัตราการกินสาหร่ายในหน่วยจำนวนเซลล์ต่อลูกหอยต่อวัน

ตารางที่ 3-1 ความหนาแน่นของลูกหอยในการศึกษาอัตราการกินสาหร่ายของลูกหอย ที่มีอายุ 3, 8 และ 13 วัน

ชุดทดลองที่	จำนวนหอย/หลุม	ปริมาตรน้ำ (ml)	ความหนาแน่น (veliger/L)
1	1	3	330
2	10	3	3330
3	20	3	6660

หมายเหตุ: การทดลองที่ทำกับลูกหอยอายุ 1 วัน ใช้ปริมาตรน้ำ 2 ml ทำให้มีความหนาแน่นของลูกหอยแตกต่างจากชุดการทดลองที่ทำกับลูกหอยอายุ 3, 8 และ 13 วัน ที่แสดงในตารางนี้



ภาพที่ 3-1 การศึกษาอัตราการกินสาหร่ายของลูกหอยหวาน

3.1.2 การศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis galbana* ของลูกหอยหวาน

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกับการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* แต่เปลี่ยนมาใช้สาหร่าย *I. galbana* แทน โดยนำลูกหอยหวานอายุ 1, 5, 10 และ15 วัน ใส่ในหลุมพลาสติกปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตรวจนับปริมาณสาหร่ายในหลุมด้วยสไลด์นับเซลล์ (Haemacytometer) ที่เวลาเริ่มต้น, 0.5, 1, 3 และ 6 ชั่วโมง และคำนวณอัตราการกินสาหร่ายสูงสุดโดยใช้ข้อมูลอัตราการลดลงของสาหร่ายในหลุมระหว่างเวลา 0-0.5 ชั่วโมง นำมาคำนวณอัตราการกินในหน่วยจำนวนเซลล์ต่อลูกหอยต่อวัน

3.1.3 การศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวาน

ศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวาน โดยนำลูกหอยหวานอายุ 1, 3, 5, 7, 11 และ 13 วัน จากถังอนุบาล นำมาใส่ในหลอดพลาสติกที่บรรจุน้ำทะเลปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จำนวน 10 ตัว/หลอด เมื่อเวลาผ่านไป 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 6 ชั่วโมง จะทำการสุ่มหลอดพลาสติกเพื่อนำน้ำภายในหลอดมาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียด้วยวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์น้ำทะเล (Strickland and Parsons, 1972) (ภาคผนวก ข.) คำนวณอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในหน่วยมิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลูกหอยต่อวัน

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของถังอนุบาลลูกหอยหวานที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ

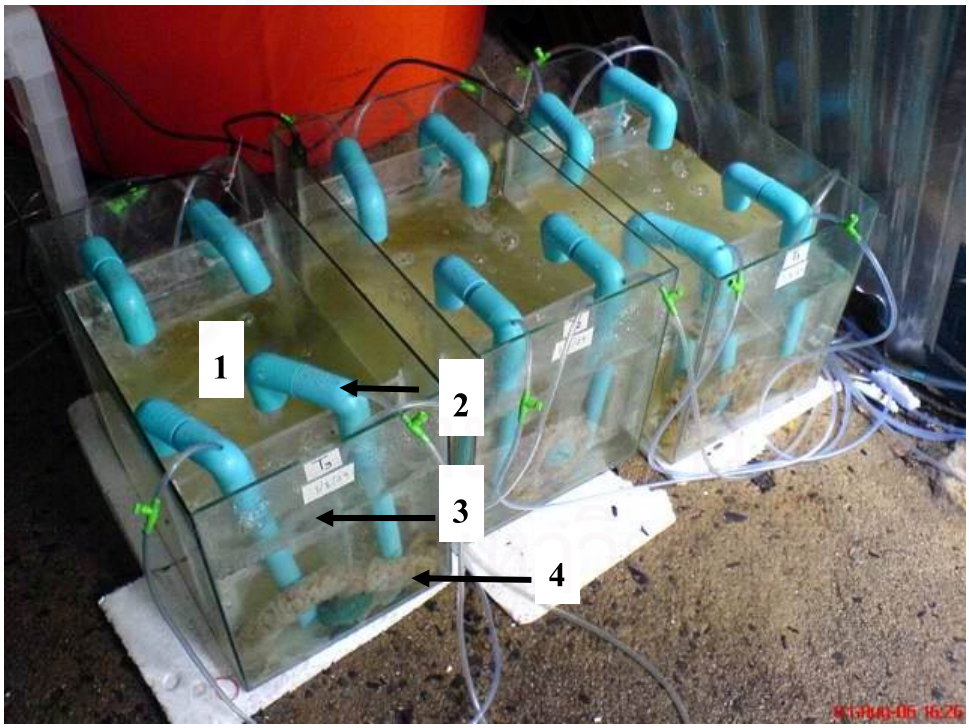
3.2.1 การอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

ทำการศึกษาระบบควบคุมคุณภาพน้ำในการอนุบาลลูกหอยตั้งแต่ระยะ veliger larvae จนถึงระยะลงพื้น โดยใช้ตัวกรองชีวภาพชนิดใยกรองชีวภาพ (Biopolyma) มีลักษณะเป็นเส้นเชือกถักรวมกันความยาวประมาณเส้นละ 30 เซนติเมตร (ภาพที่3-3) ที่มีการเตรียมสภาพพร้อมใช้งานไว้ก่อนล่วงหน้า โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ชุดควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน และชุดทดลองที่มีการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ทำการอนุบาลลูกหอยหวานโดยเริ่มจากการนำฝักไข่ของหอยหวานจากหน่วยวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจร สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตำบลหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี มาบรรจุใส่ในตะกร้าพลาสติกลอยน้ำไว้ภายในถังอนุบาล หลังจากนั้นประมาณ 4-5 วัน ลูกหอยจะฟักออกจากฝักไข่ตามธรรมชาติ จนกระทั่งลูกหอยฟักออกจากฝักไข่หมดจึงนำตะกร้าฝักไข่ออกจากถัง เมื่อลูกหอยฟักออกจากฝักไข่ นำลูกหอยหวานใส่ในถังทดลองที่มีขนาด 15 ลิตร อนุบาลลูกหอยหวานด้วยความหนาแน่นเริ่มต้น 500 ตัวต่อลิตร ในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีเอสยู ให้อากาศที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองขนาด 0.3 ไมครอนเบาๆ อุณหภูมิประมาณ 25-34 องศาเซลเซียส ให้สาหร่ายเซลล์เดียว *Chaetoceros* sp. เป็นอาหารวันละ 1 มื้อ ในถังทดลองชุดควบคุมจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ทุกวัน หลังจากนั้นเติมสาหร่าย *Chaetoceros* sp. ความหนาแน่นประมาณ $1x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ที่ได้จากการเลี้ยงแบบแบตช์ลงในถังอนุบาลลูกหอยหวานประมาณ 1 ลิตร และเติมน้ำใหม่ลงในถังอนุบาลจนได้ปริมาตร 15 ลิตร

สำหรับชุดทดลองเป็นการอนุบาลลูกหอยโดยมีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ ภาพถ่ายของถังทดลองแสดงในภาพที่ 3-2 โดยเป็นตู้กระจกขนาด 44x24x31 เซ็นติเมตร ปริมาตร 15 ลิตร พื้นที่เลี้ยงลูกหอยอยู่ตรงกลางถัง ส่วนด้านข้างทั้งสองด้านถูกกั้นด้วยแผ่นอะคริลิก ขนาด 24x25 เซ็นติเมตรโดยตรงกลางเจาะรูขนาด 19x12 เซ็นติเมตร สำหรับใส่ผ้ากรองขนาดรูพรุน 120 ไมครอน เพื่อเป็นตัวกั้นลูกหอย ส่วนบำบัดด้านข้างทั้งสองด้านบรรจุตัวกรองชีวภาพชนิดเส้นใยความยาว 30 เซนติเมตร ด้านละ 1 เส้น น้ำจากระบบเลี้ยงจะถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดที่บรรจุใยกรองชีวภาพ (Biopolyma) เพื่อลดปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรต์ หลังจากนั้นน้ำจากระบบบำบัดจะถูกหมุนเวียนกลับสู่ระบบเลี้ยงโดยอาศัยท่ออากาศยกเป็นตัวหมุนเวียนน้ำ น้ำจะหมุนเวียนอยู่ภายในระบบทดลองตลอดระยะเวลา 14-16 วันโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการนำน้ำออกจากระบบวันละ 1 ลิตร ซึ่งเท่ากับปริมาตรของสาหร่าย *Chaetoceros* sp. ที่เติมลงไปเพื่อเป็นอาหารสำหรับลูกหอยหวาน ในระหว่างการทดลองบันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเติบโต อัตราการรอด และอัตราการลงเกาะ รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์ในระหว่างการทดลอง

พารามิเตอร์	ความถี่ในการเก็บ	วิธีการวิเคราะห์
จำนวนลูกหอย	ทุกวัน	สุ่มตัวอย่างนับจำนวน
ปริมาณสาหร่าย	ก่อนและหลังการเติมสาหร่าย	นับจำนวนด้วยสไลด์นับเซลล์
แอมโมเนีย	ทุกวัน	Modified Phenol-hypochlorite Method (Strickland and Parsons, 1972) (ภาคผนวก ข.)
ไนไตรต์	ทุกวัน	Colorimetric Method (Strickland and Parsons, 1972) (ภาคผนวก ข.)
ไนเตรต	ทุกวัน	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (Greenberg *et .al*., 1992) (ภาคผนวก ข.)
อุณหภูมิ	ทุกครึ่งชั่วโมง	Hanna instruments รุ่น NTC Thermologger
อัลคาลินิตี	ทุกวัน	Titration (Strickland and Parsons, 1972)
อัตราการเติบโต	ทุกวัน	สุ่มตัวอย่างวัดความกว้างและความยาวเปลือก



ภาพที่ 3-2 ถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ (1) ส่วนที่ใช้อนุบาลลูกหอยหวาน, (2) ท่ออากาศยก, (3) ผ้ากรองกั้นลูกหอย, (4) ตัวกรองชีวภาพ

ภาพที่ 3-3 ใยกรองชีวภาพ (Biopolyma)

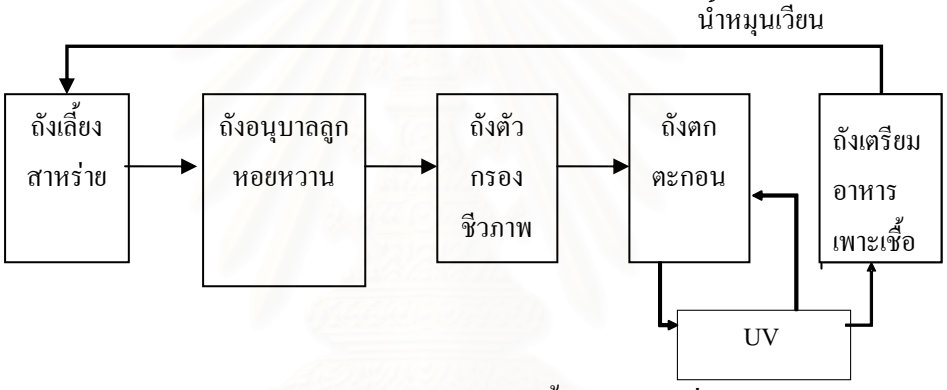
3.2.2 การอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed biofilter)

ทำการอนุบาลลูกหอยหวานตั้งแต่ระยะ veliger จนถึงระยะลงพื้น โดยเป็นการอนุบาลลูกหอยหวานในระบบควบคุมคุณภาพน้ำด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed)ที่มีลักษณะเป็นเม็ดพลาสติกทรงกลม BCN-009 ของบริษัท 2H ประเทศเยอรมัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ผ่านการเตรียมสภาพโดยแขวนลอยในน้ำความเค็ม 30 พีเอสยูที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 mg N/L และมีการพ่นอากาศตลอดเวลา จนกระทั่งตัวกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งตรวจสอบได้โดยการวิเคราะห์ติดตามการลดลงของแอมโมเนียในน้ำ เมื่อพบว่าตัวกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจึงนำตัวกรองไปบรรจุในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับอนุบาลลูกหอยหวานต่อไป

การอนุบาลลูกหอยหวานในระบบควบคุมคุณภาพน้ำ เป็นการทดลองควบคู่กับระบบผลิตสาหร่าย *Isochrysis galbana* แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยถังอนุบาลลูกหอยหวาน มีลักษณะเป็นถังกระจกที่มีการเชื่อมต่อของน้ำ มีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน (ภาพที่ 3-4 และภาพที่ 3-5) ได้แก่ (1) ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสงสำหรับเลี้ยงสาหร่าย *I. galbana* (2) ถังเลี้ยงลูกหอยหวาน (3) ถังตัวกรองชีวภาพแบบตัวกรองเคลื่อนที่ (4) ถังตกตะกอน และ (5) ถังเตรียมอาหารเพาะเชื้อสาหร่าย โดยถังเตรียมอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายมีขนาดความจุ 12 ลิตร ภาชนะด้านบนปิดสนิท ด้านบนมีท่ออากาศเข้า, ท่ออากาศออก, ท่อเติมอาหาร และท่อให้สาหร่ายออก สาหร่ายจากถังสาหร่ายจะถูกส่งเข้าสู่ถังเลี้ยงหอยทุกวัน วันละ4 ลิตรโดยอาศัยแรงดันลม หลังจากนั้นปล่อยให้ลูกหอยหวานกรองกินสาหร่ายประมาณ 2-3 ชั่วโมง น้ำส่วนเกินจากระบบเลี้ยงหอยจะถูกท่ออากาศยกเป็นตัวหมุนเวียนน้ำเข้าสู่ส่วนบำบัด ที่มีปริมาตร 6 ลิตร ภายในบรรจุตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (BCN-009) จำนวน 1,300 ลูก (ภาพที่ 3-5) หลังจากนั้นน้ำจากส่วนบำบัดจะเข้าสู่ส่วนตกตะกอนที่มีปริมาตร 6 ลิตร เพื่อลด

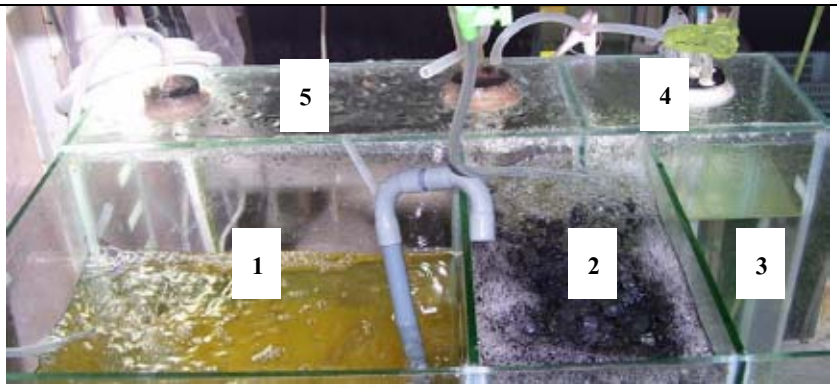
ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ และทำการฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงอัลตราไวโอเลตภายในถังตกตะกอน ก่อนที่น้ำจะเข้าสู่ส่วนเตรียมอาหารเพาะเชื้อ ที่มีปริมาตร 6 ลิตร ซึ่งในส่วนนี้เป็นภาชนะปิดสนิท ประกอบด้วย ท่อสำหรับเติมอาหารเพาะเชื้อ และท่อสำหรับนำอาหารเพาะเชื้อเข้าสู่ถังเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยอาหารจะกลับเข้าสู่ถังเลี้ยงสาหร่ายอีกครั้งโดยอาศัยแรงดันอากาศ ที่มีรูปแบบดังแสดงในภาพที่ 3-4 และ ภาพที่ 3-6 โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับการเลี้ยงในถังชุดควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันวันละประมาณ 50 เปอร์เซนต์ และให้สาหร่าย *I. galbana* จากการเลี้ยงแบบแบตช์ที่มีความหนาแน่นประมาณ $1x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรวันละ 4 ลิตร

สภาวะของการทดลองเป็นการศึกษาในโรงเรือนที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิในระหว่างการทดลองอยู่ระหว่าง 24-34 องศาเซลเซียส แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ ในระหว่างการทดลองบันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเติบโต อัตราการรอด และอัตราการลงเกาะ รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.1

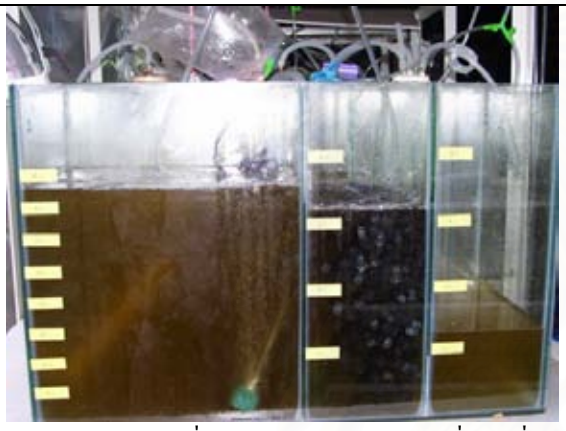


ภาพที่ 3-4 ไดอะแกรมของระบบอนุบาลลูกหอยแบบน้ำหมุนเวียนที่มีระบบผลิตสาหร่าย

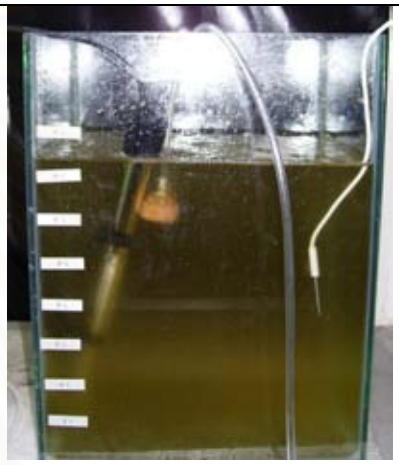
ภาพที่ 3-5 ลักษณะตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed biofilter)
(พื้นที่ผิว = 0.0009 m^2ต่อชิ้น และ= 864 m^2/m^3)



ถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพ (ด้านบน)
(1) ส่วนเลี้ยงลูกหอย, (2) ส่วนบำบัด, (3) ส่วนตกตะกอน, (4) ส่วนเตรียมอาหาร (5) ส่วนเลี้ยงสาหร่าย



ถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง
และระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพ (ด้านข้าง)



ภาพที่ 3-6 ถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่องและระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพ (บน), (ล่างขวา) และถังอนุบาลลูกหอยที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (ซ้ายล่าง)

3.2.3 การเปรียบเทียบการอนุบาลลูกหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด กับระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสงและได้รับแสงน้อย

จากผลการทดลองอนุบาลลูกหอยหวานในหัวข้อ 3.2.2 พบว่าการวางระบบในที่ได้รับแสงมีผลช่วยเพิ่มการเติบโตตามธรรมชาติของแพลงก์ตอนพืชในถังเลี้ยง และยังส่งผลต่อคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงอีกด้วย การทดลองครั้งนี้จึงได้ปรับระบบการเลี้ยงเพื่อให้มีการเติบโตของสาหร่ายร่วมด้วยในถังเลี้ยง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชุดทดลอง (ภาพที่ 3-7) ได้แก่

ชุดควบคุม เป็นการอนุบาลในถังทึบแสงซึ่งปิดด้านข้างถังด้วยแผ่นพลาสติกสีดำ ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Dark+Water Exchange) วันละ7.5 ลิตร

ชุดทดลอง 1 เป็นการอนุบาลในถังที่ได้รับแสง (Light) และมีการรักษาความหนาแน่นของปริมาณแพลงก์ตอนพืชในระดับที่เหมาะสม โดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำวันละ 4 ลิตรเท่ากับปริมาตรสาหร่ายที่เติมลงในถังแต่ละวัน

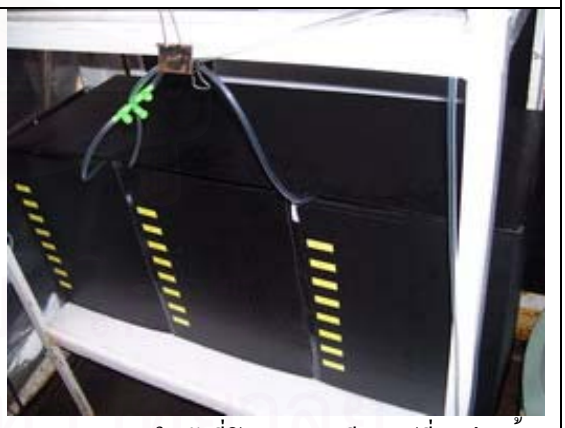
ชุดทดลอง 2 เป็นการอนุบาลในถังระบบหมุนเวียนน้ำ ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง แต่มีการนำน้ำมาบำบัดและหมุนเวียนกลับไปใช้เลี้ยงสาหร่าย

การทดลองในครั้งนี้ได้เพิ่มความหนาแน่นของลูกหอยเป็นประมาณ 800 ตัวต่อลิตร ในระหว่างการทดลองบันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเติบโต อัตราการรอด และอัตราการลงเกาะ รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกันกับการทดลองหัวข้อ 3.2.1

ถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (RAS)

ภาพส่วนถังเลี้ยงลูกหอย (ซ้าย) และส่วนตัวกรองชีวภาพ (ขวา)

ระบบอนุบาลในถังที่ได้รับแสง (Light)

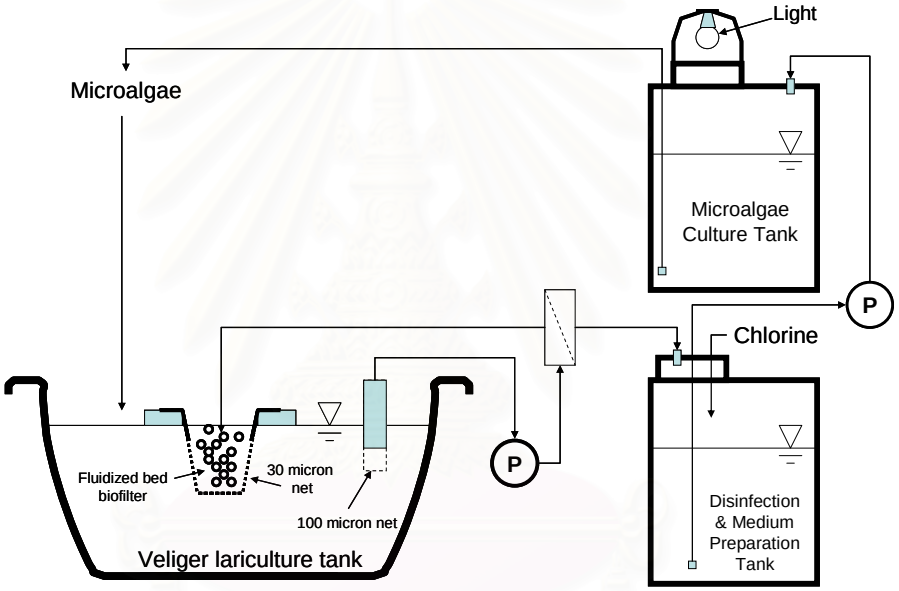


ระบบอนุบาลในถังที่ปิดแสงและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Dark+WE)

ภาพที่ 3-7 ระบบเลี้ยงหอยหวานแบบต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองอนุบาลลูกหอย

3.2.4 การอนุบาลลูกหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาด 100 ลิตร

จากผลการทดลองอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดแบบต่างๆ พบว่าสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ได้เป็นอย่างดี การทดลองนี้จึงได้ขยายขนาดถังอนุบาลขึ้นเป็นถังขนาด 100 ลิตร (ภาพที่ 3-9) และปรับเปลี่ยนรูปแบบของระบบหมุนเวียนน้ำให้มีระบบตัวกรองชีวภาพรวมอยู่ภายในถัง เพื่อลดความซับซ้อนของระบบ และง่ายต่อการทำงาน โดยได้ทำการทดลองจำนวนสองรอบ ในรอบแรกเป็นระบบอนุบาลลูกหอยหวานที่สร้างขึ้นโดยจัดให้มีขนาดถังเลี้ยงลูกหอย ถังเลี้ยงสาหร่าย และถังบำบัด มีขนาดความจุน้ำ 100 ลิตรเท่ากัน รูปแบบของระบบอนุบาลในถังขนาด 100 ลิตร แสดงดังภาพที่ 3-8 และภาพที่ 3-9

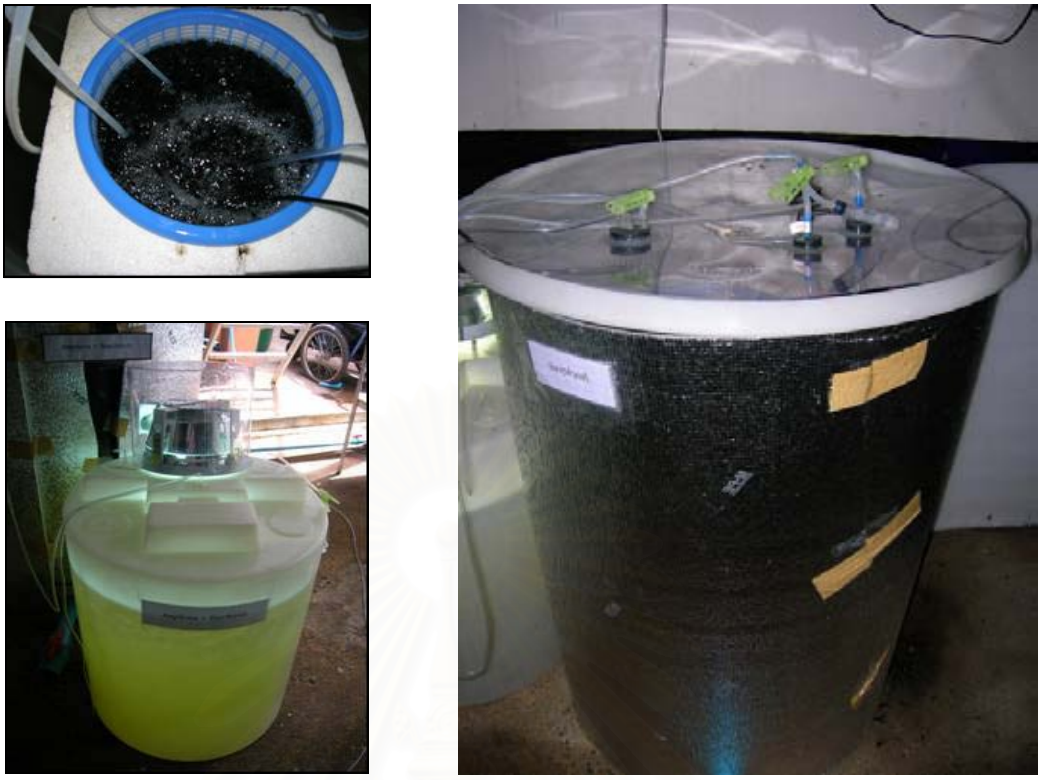


ภาพที่ 3-8 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดสำหรับอนุบาลลูกหอยหวาน ขนาดถังเลี้ยง 100 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3-9 ระบบอนุบาลลูกหอยหวาน ประกอบด้วย ถังอนุบาลขนาด 100 ลิตร (ซ้ายบน) ระบบตัวกรองชีวภาพแบบฟลูอิดไดส์ที่ติดตั้งภายในถังอนุบาลลูกหอย (ซ้ายล่าง) และถังเลี้ยงสาหร่ายขนาด 100 ลิตร (ล่างขวา)

การทดลองในรอบที่สอง ได้ปรับเปลี่ยนถังเลี้ยงลูกหอยหวานเป็นถังสีขาว เพื่อความสะดวกในการทำงาน หุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในถัง พร้อมทั้งมีฝาปิดเพื่อป้องกันฝุ่นละอองจากภายนอก มีระบบตัวกรองชีวภาพรวมอยู่ภายในถัง ส่วนขนาดถังเลี้ยงสาหร่ายและขนาดถังบำบัดมีความจุน้ำ 100 ลิตร เท่ากับการทดลองในรอบแรก รูปแบบของระบบอนุบาลแสดงในภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 ระบบอนุบาลลูกหอยหวานที่ประกอบด้วย ถังอนุบาลขนาด 100 ลิตร (ขวา) ระบบตัวกรองชีวภาพแบบฟลูอิดไดส์ที่ติดตั้งภายในถังอนุบาลลูกหอย (ซ้ายบน) และถังเลี้ยงสาหร่ายขนาด 100 ลิตร (ซ้ายล่าง)

การเลี้ยงลูกหอยทำการทดลองเหมือนกันทั้งสองรอบ โดยเติมสาหร่ายที่ได้จากถังเลี้ยงสาหร่าย (Microalgal culture tank) ลงในถังเลี้ยงลูกหอยวันละ 30 ลิตร ในแต่ละวันสูบน้ำปริมาตร 30 ลิตร ผ่านระบบกรองขนาดรู 0.3 ไมครอน (PE filter) เพื่อแยกสาหร่ายออกจากน้ำ นำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วไปเข้าถังฆ่าเชื้อและเตรียมอาหารเพาะเชื้อ การฆ่าเชื้อจะใช้คลอรีนความเข้มข้นประมาณ 100 ppm (Sodium Dichloroisocyanurate, Foodsafe Chlorine tablet, Hydrachem Ltd., U.K.) ทำการเติมอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายตามสูตร F/2 ก่อนที่จะนำไปใช้เลี้ยงสาหร่ายในถังเลี้ยงสาหร่ายต่อไป ทำการทดลองอนุบาลลูกหอยในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจำนวน 2 ชุด ชุดแรก (ชุดควบคุม) เป็นการเลี้ยงโดยใช้สาหร่าย *Isochrysis* เป็นอาหาร และชุดที่สอง (ชุดทดลอง) เป็นการเลี้ยงโดยใช้สาหร่ายผสม *Isochrysis* และไดอะตอม *Amphora delicatissima* ซึ่งเป็นไดอะตอมที่เติบโตแบบเกาะพื้นถัง โดยการเลี้ยงไดอะตอมแบบผสมจะทำการเติมหัวเชื้อทั้ง *Isochrysis* และ *Amphora* ลงเลี้ยงในถังสาหร่ายถังเดียวกัน ซึ่งสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถเติบโตร่วมกันในถังได้เป็นอย่างดี ในระหว่างการทดลองได้ทำการประเมินอัตรารอดของลูกหอยโดยสุ่มตัวอย่างนับ อัตราการลงเกาะ การเติบโตโดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการให้อาหารในแต่ละวัน

เพื่อใช้ในการตรวจสอบปริมาณสาหร่าย ตรวจวัดคุณภาพน้ำในถังทุกวัน รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกันกับการทดลองหัวข้อ 3.2.1

3.2.5 การศึกษาผลของการใช้สาหร่ายผสมสำหรับการอนุบาลลูกหอยหวานระบบปิดในถังที่มีการให้แสง

เนื่องจากจัดให้ถังอนุบาลลูกหอยได้รับแสงอย่างเพียงพอ จะส่งผลให้สาหร่ายภายในถังมีการเติบโตเพิ่มจำนวนทดแทนสาหร่ายที่เป็นอาหารของลูกหอย ทำให้ไม่จำเป็นต้องเติมสาหร่ายเพิ่มลงในถังอนุบาล และการเติบโตของสาหร่ายยังช่วยลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำส่งผลให้คุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อลูกหอยจึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้เลือกรูปแบบของระบบการเลี้ยงแบบที่มีการให้แสง และสภาวะการเลี้ยงที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ผ่านมานำมาประยุกต์เป็นระบบอนุบาลลูกหอยหวานแบบปิดที่มีการให้แสง โดยได้จัดวางถังเลี้ยงให้ได้รับแสงตามธรรมชาติพร้อมทั้งเปิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตลอด 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 3-11) ที่ความเข้มแสงประมาณ 700-2,000 ลักซ์ เพื่อเป็นการให้แสงในเวลากลางคืน และเนื่องจากผลการทดลองในหัวข้อ 3.2.4 ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้สาหร่ายผสมสองชนิดมีผลดีต่ออัตราการรอดของลูกหอย จึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการอนุบาลลูกหอยในระบบปิดที่มีการให้แสงโดยใช้สาหร่าย *Isochrysis* เพียงชนิดเดียว (ชุดควบคุม) และใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* (ชุดทดลอง) โดยทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ทั้งสองชุดการทดลองเป็นอาหาร เลี้ยงลูกหอยที่ความหนาแน่นเริ่มต้นประมาณ 700 ตัวต่อลิตร ในถังที่มีขนาด 15 ลิตร ให้อากาศที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองขนาด 0.2 ไมครอน ทดลองอนุบาลลูกหอยเป็นระยะเวลา 14-16 วัน ในระหว่างการทดลองจะทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ปริมาณสาหร่ายภายในถังทดลอง การเติบโตของลูกหอย และพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองหัวข้อ 3.2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3-11 ระบบอนุบาลลูกหอยหวานแบบปิดที่เลี้ยงโดยใช้สาหร่ายเพียงชนิดเดียว (3 ถังชั้นบน) กับการเลี้ยงด้วยสาหร่ายผสมสองชนิด (3 ถังชั้นล่าง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

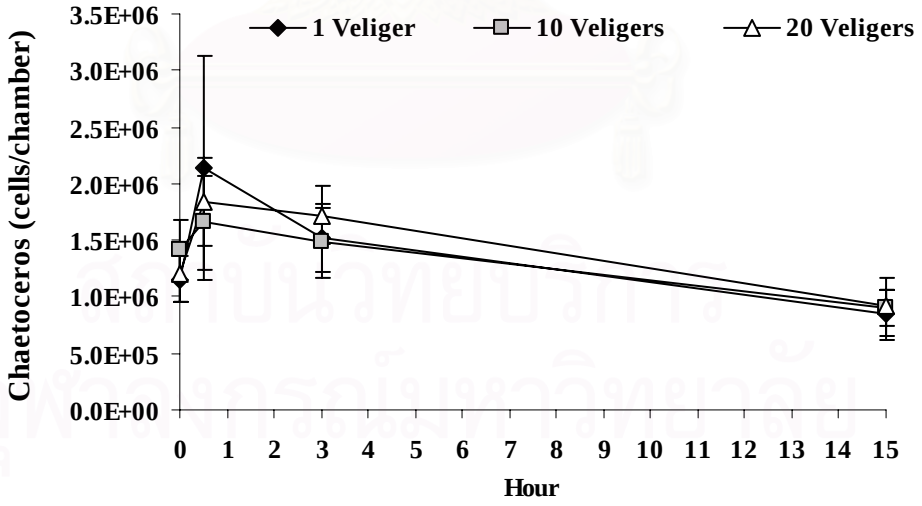
บทที่ 4

ผลการทดลอง

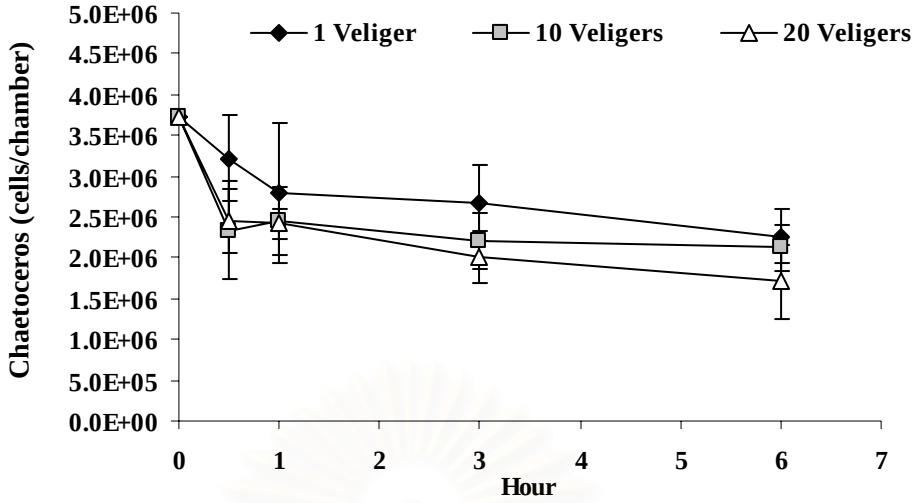
4.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของระบบอนุบาลลูกหอยหวาน

4.1.1 การศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* sp. ของลูกหอยหวาน

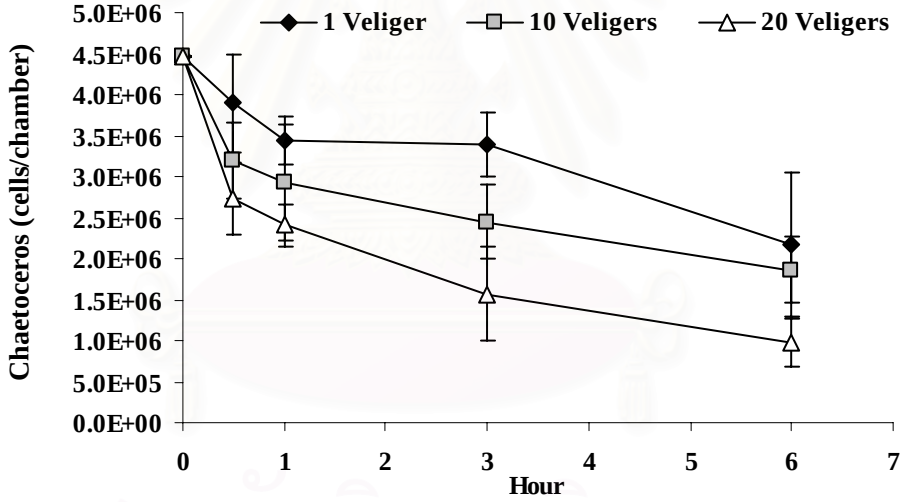
จากการศึกษาเพื่อหาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* sp. ของลูกหอยหวานระยะ veliger พบว่าลูกหอยอายุ 1 วัน มีอัตราการกินอาหารต่ำและอัตราการกินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อลูกหอยมีอายุ 3 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ ลูกหอยที่มีอายุ 8 และ 13 วันจะมีอัตราการกินอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นในชั่วโมงที่ 3 จนถึงชั่วโมงที่ 6 อัตราการกินจะลดลง โดยการเลี้ยงหอยที่ความหนาแน่น 1 ตัว/3 มิลลิลิตร หรือเทียบเท่ากับ 330 ตัว/ลิตร ซึ่งเป็นความหนาแน่นปกติที่ใช้ในการอนุบาลลูกหอย พบว่าลูกหอย จะมีอัตราการกินสูงกว่าลูกหอยที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูง 10 ตัว/3 มิลลิลิตร (3330 ตัว/ลิตร) และ 20 ตัว/3 มิลลิลิตร (6660 ตัว/ลิตร) แม้ว่าในน้ำจะยังคงมีสาหร่ายหลงเหลืออยู่ก็ตาม โดยลูกหอยจะกรองกินสาหร่ายภายในเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมงในทุกชุดการทดลอง ทำให้ความเข้มข้นของสาหร่ายในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นปริมาณสาหร่ายจะลดลงอย่างช้าๆ โดยความหนาแน่นของสาหร่ายยังคงสูงกว่า $3.3x10^5$ cells/ml ($1x10^6$ cells/chamber)



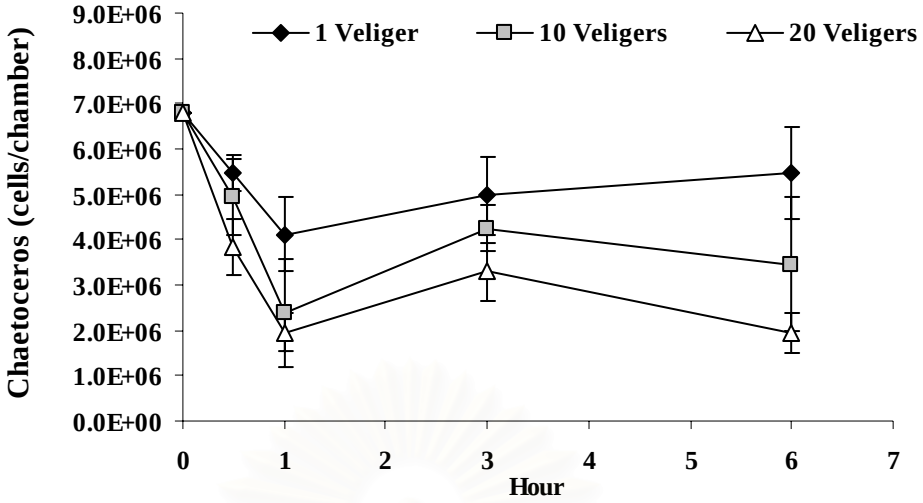
ภาพที่ 4-1 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ในน้ำปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 1 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



ภาพที่ 4-2 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 3 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม



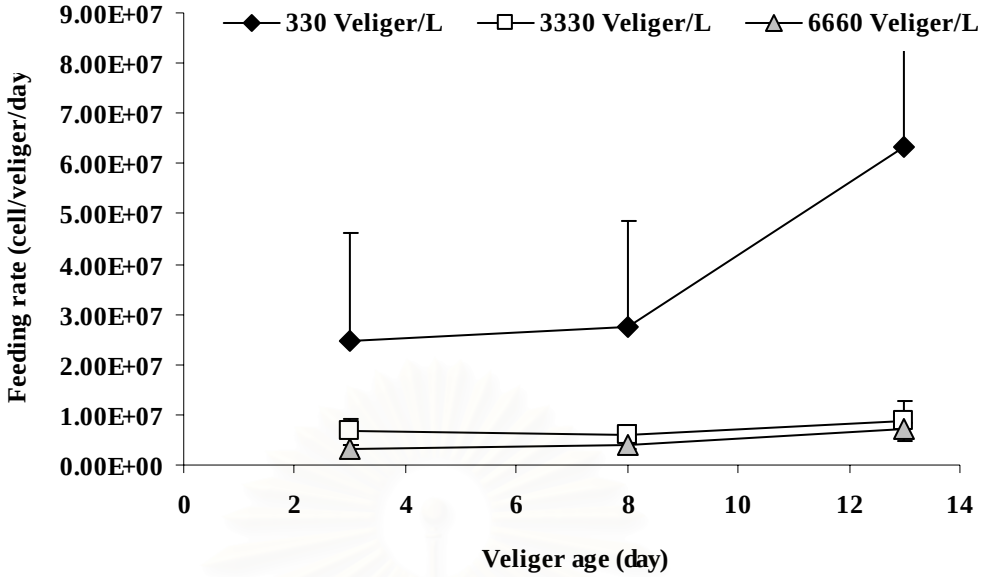
ภาพที่ 4-3 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 8 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม



ภาพที่ 4-4 ปริมาณสาหร่าย *Chaetoceros* ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 13 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม

จากการคำนวณอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยที่มีอายุ 3, 8 และ 13 วัน ที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 330, 3,330 และ 6,660 ตัว/ลิตร พบว่าลูกหอยที่มีอายุมากขึ้นจะมีอัตราการกินสาหร่ายเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4-5) โดยการเลี้ยงลูกหอยที่ความหนาแน่น 330 ตัว/ลิตร จะมีอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* อยู่ระหว่าง 2.4-6.3 $x10^7$ เซลล์/ลูกหอย/วัน และลูกหอยอายุ 13 วันจะกินสาหร่ายมากกว่าลูกหอยอายุ 3 วันประมาณ 2.6 เท่า นอกจากนี้พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของลูกหอยทำให้อัตราการกินของลูกหอยลดลงอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณสาหร่ายไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยที่อัตราการกินจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของสาหร่ายในน้ำมีค่าต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

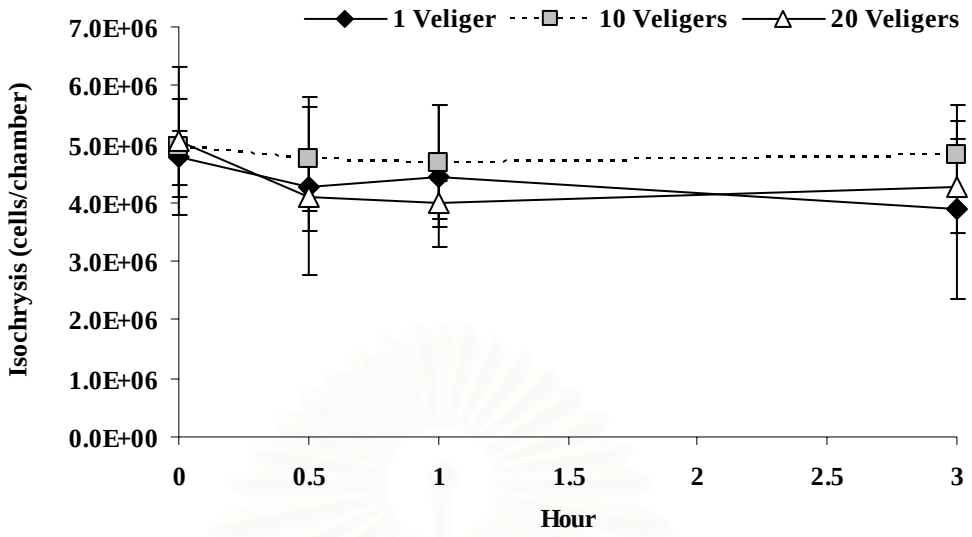


ภาพที่ 4-5 อัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 3, 8 และ 13 วันที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 330, 3330 และ 6660 ตัว/ลิตร

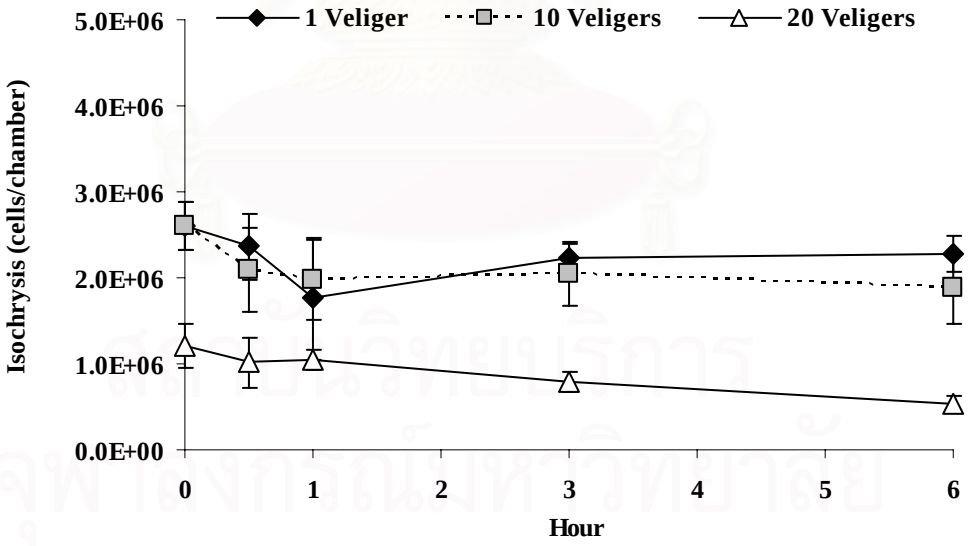
4.1.2 การศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* sp. ของลูกหอยหวาน

อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* sp. ของลูกหอยหวาน แตกต่างจากอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวาน โดยลูกหอยหวานที่กินสาหร่าย *Isochrysis* มีอัตราการกินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ลูกหอยอายุ 1 วัน โดยการเลี้ยงหอยที่ความหนาแน่น 1 ตัว/3 มิลลิลิตร หรือเทียบเท่ากับ 330 ตัว/ลิตร ซึ่งเป็นความหนาแน่นปกติที่ใช้ในการอนุบาลลูกหอย พบว่าลูกหอยจะมีอัตราการกินต่ำกว่าลูกหอยที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูง 10 ตัว/3 มิลลิลิตร (3330 ตัว/ลิตร) และ 20 ตัว/3 มิลลิลิตร (6660 ตัว/ลิตร) ตามลำดับ โดยลูกหอยจะกรองกินสาหร่ายภายในเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมงในทุกชุดการทดลอง เช่นเดียวกับการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวาน

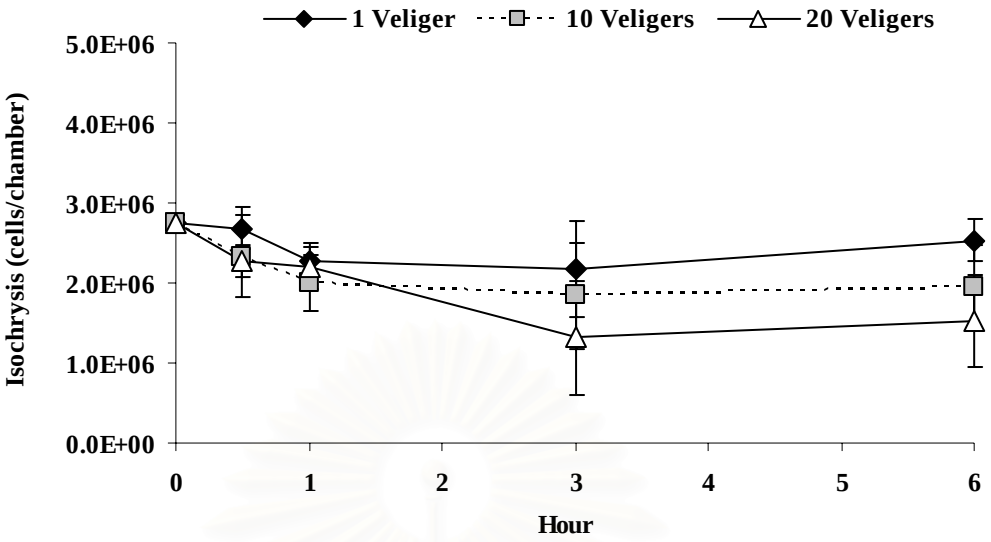
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



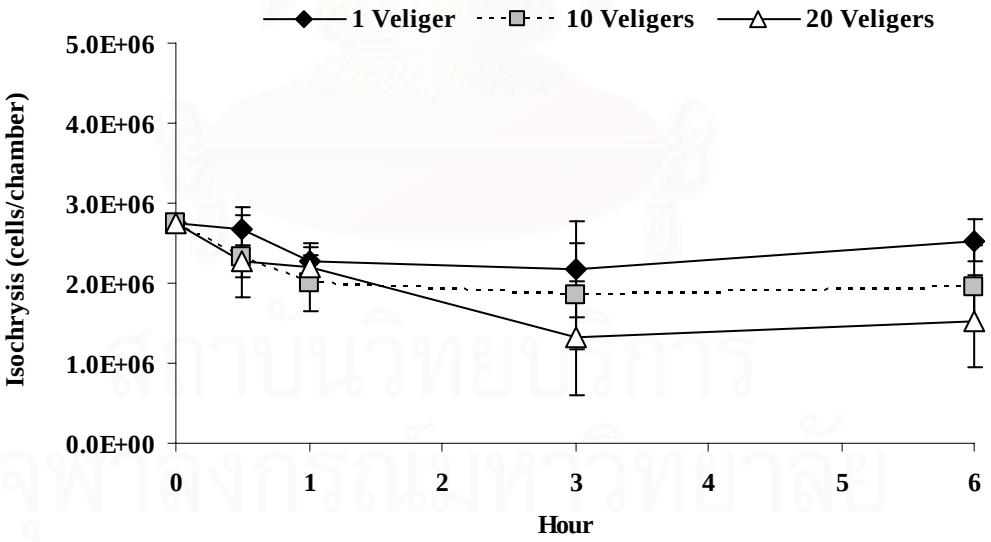
ภาพที่ 4-6 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 1 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม



ภาพที่ 4-7 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 5 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม



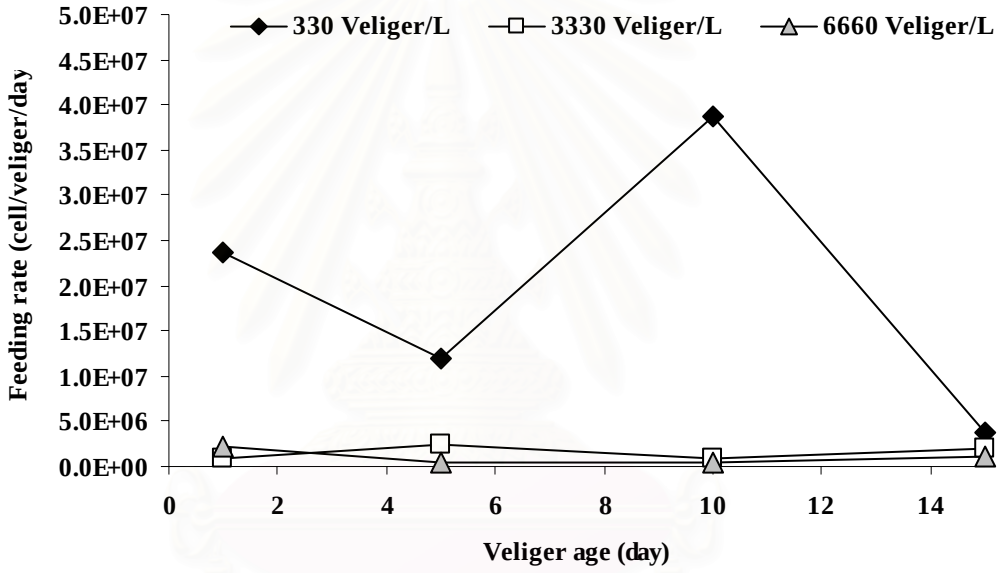
ภาพที่ 4-8 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 10 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม



ภาพที่ 4-9 ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในน้ำปริมาตร 3 มิลลิลิตร ที่มีลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 15 วัน จำนวน 1, 10 และ 20 ตัว ต่อหลุม

จากการคำนวณอัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* sp. ของลูกหอยที่มีอายุต่างๆ กัน โดยคิดจากการลดลงของสาหร่ายภายในเวลา 30 นาที พบว่าอัตราการกินสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อลูกหอยมีอายุมากขึ้น โดยการเลี้ยงลูกหอยที่ความหนาแน่น 330 ตัว/ลิตร จะมีอัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* อยู่ระหว่าง 3.7 $x10^6$ -3.8 $x10^7$ เซลล์/ลูกหอย/วัน และพบอัตราการกินสาหร่ายสูงสุด (ภาพที่ 4-10) เมื่อลูกหอยมีอายุ 10 วัน ในการทดลองด้วยความหนาแน่นลูกหอย 330 ตัว/ลิตร แต่เมื่อลูกหอยมีอายุ 15 วัน พบว่าอัตราการกินสาหร่ายของลูกหอยที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 330 ตัว/ลิตร กลับลดลงมาก

อย่างไรก็ตาม อัตราการกินสาหร่ายทั้งสองชนิดจากการคำนวณจะมีค่ามากกว่าความเป็นจริง เพราะลูกหอยไม่ได้มีการกินสาหร่ายในอัตราสูงสุดตลอดเวลา ในทุกการทดลองจะพบว่าการลดลงของสาหร่ายจะมีค่ามากในเวลาระหว่าง 0.5 ถึง 1 ชั่วโมงแรกเท่านั้น หลังจากนั้นอัตราการกินจะลดลง

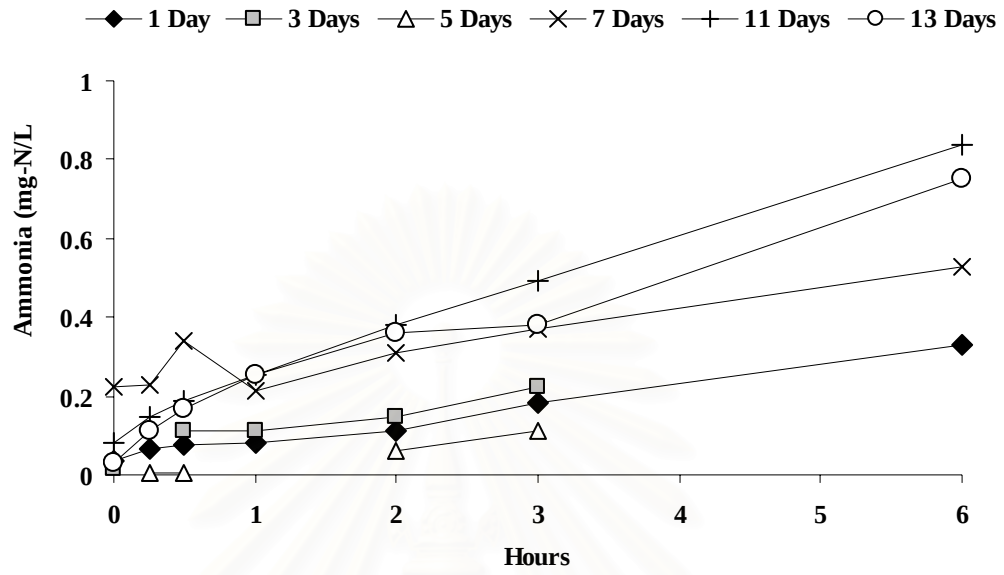


ภาพที่ 4-10 อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานระยะ veliger อายุ 1, 5, 10 และ 15 วันที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นต่างๆ กัน

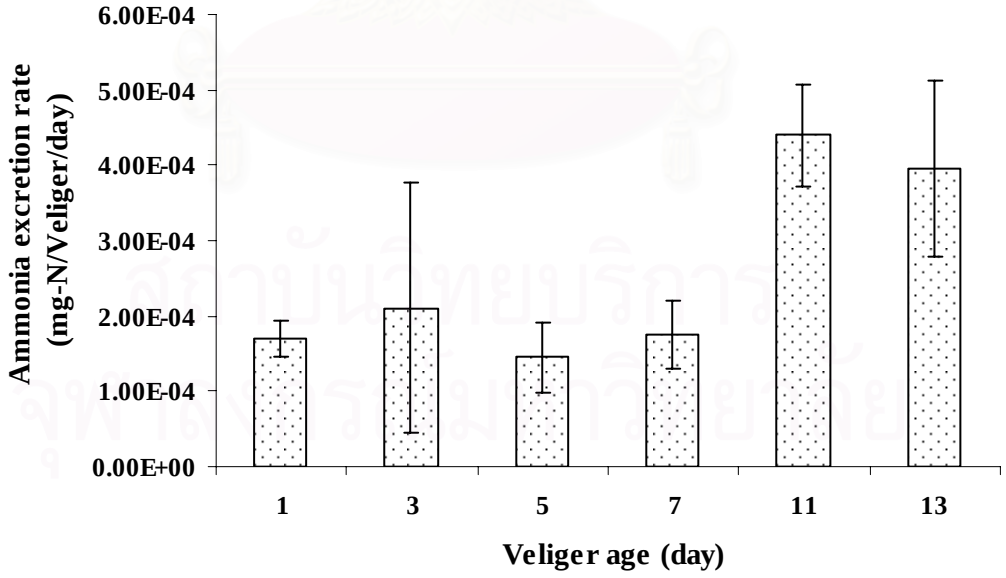
4.1.3 การศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวาน

จากการศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวานระยะ veliger ที่มีอายุ 1, 3, 5, 7, 11 และ 13 วัน พบว่าลูกหอยมีการขับถ่ายของเสียในรูปแอมโมเนียในอัตราสูงในทุกระยะของการเติบโต โดยการเพิ่มของแอมโมเนียในน้ำมีลักษณะเป็นการเพิ่มแบบเส้นตรง แสดงว่าลูกหอยมีการขับถ่ายแอมโมเนียอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 4-11 และจากการคำนวณอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในภาพที่ 4-12 แสดงว่าลูกหอยที่มีอายุมากขึ้นจะมีการอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย

เพิ่มสูงขึ้น โดยอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00014-0.00044 มก.ไนโตรเจน/ลูกหอย/วัน



ภาพที่ 4-11 การขับถ่ายแอมโมเนียในน้ำจากลูกหอยหวานระยะ veliger ที่มีอายุแตกต่างกัน

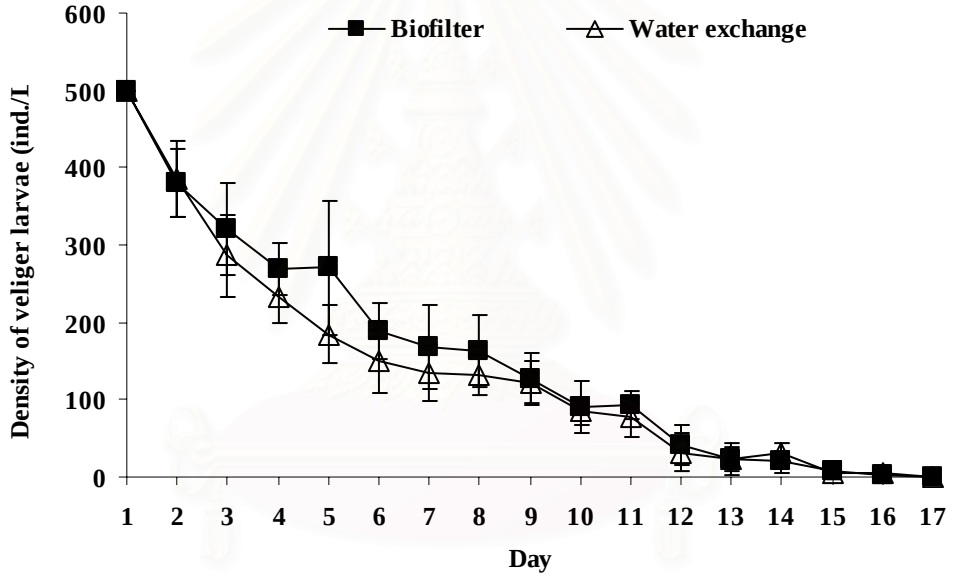


ภาพที่ 4-12 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวานระยะ veliger ที่มีอายุแตกต่างกัน

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของถังอนุบาลลูกหอยหวานที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ

4.2.1 การทดลองอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด

จากการศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ ในถังปริมาตร 15 ลิตร พบว่าความหนาแน่นของลูกหอยในระยะ veliger ในถังชุดควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและชุดทดลองที่มีใยกรองทางชีวภาพ ลดลงตลอดเวลา โดยการลดลงของปริมาณลูกหอยเกิดจากการตายและการเปลี่ยนรูปร่างลงเกาะกับพื้นถัง ซึ่งพบว่าลูกหอยลงเกาะพื้นทั้งหมดในวันที่ 17 ของการทดลอง และความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4-13) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตรารอดของลูกหอยที่เติบโตจนถึงระยะลงพื้นในชุดควบคุมและชุดทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ชุดควบคุมมีอัตรารอดร้อยละ 3.09 ส่วนชุดทดลองมีอัตรารอดร้อยละ 2.2 (ตารางที่ 4-1)

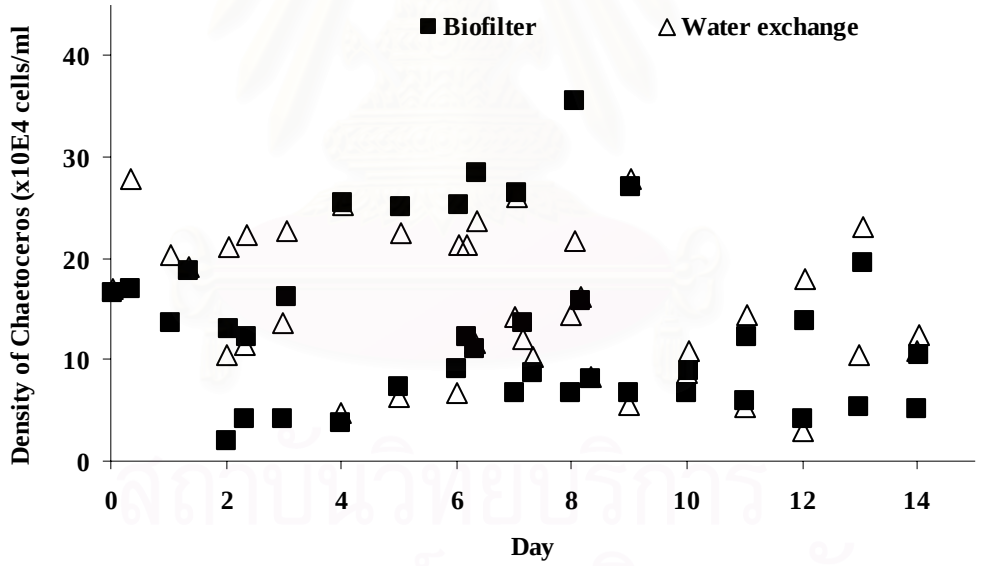


ภาพที่ 4-13 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)

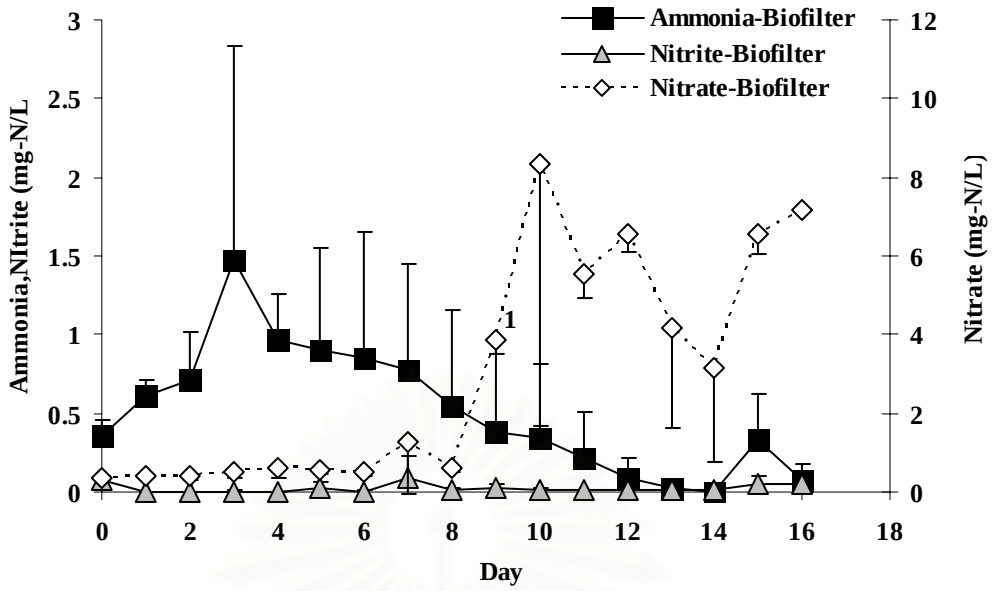
ตารางที่ 4-1 จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะในชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพแบบเส้นใย และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม
จำนวนลูกหอยทั้งหมดเมื่อเริ่มเลี้ยง (ตัว/ถัง)	7500	7500
จำนวนลูกหอยที่รอดลงเกาะพื้นเฉลี่ย (ตัว/ถัง)	165±66	232±80
% การรอดชีวิตของลูกหอยที่ลงเกาะ	2.2±0.88	3.09±1.07

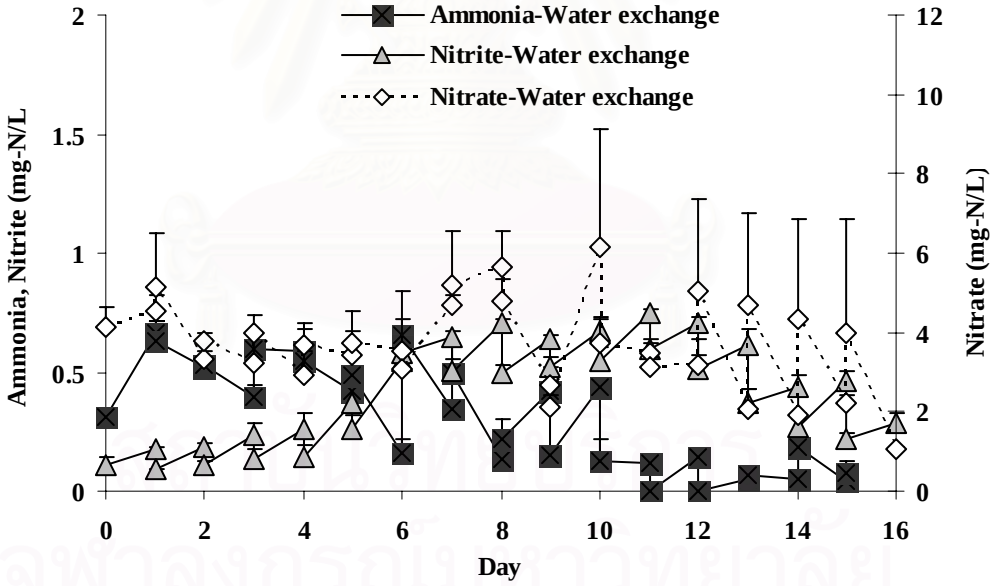
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสาหร่ายในถังของชุดทดลองและชุดควบคุม พบว่าตลอดระยะเวลาการทดลองสาหร่ายยังคงมีความหนาแน่นระหว่าง 5-35 $x10^4$เซลล์/มิลลิลิตร (ภาพที่ 4-14) จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่าชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่น้อยกว่า แต่ระบบตัวกรองสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียในถังได้ดี (ภาพที่ 4-15) อย่างไรก็ตามก็ยังพบว่าแอมโมเนียในน้ำมีค่าสูงขึ้นในช่วง 3 วันแรก และมีถังชุดทดลองอยู่หนึ่งถังที่มีความเข้มข้นแอมโมเนียสูงมาก ทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนีย ณ วันดังกล่าวมีค่าความแปรปรวนสูง แต่หลังจากนั้นตัวกรองสามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำต่ำกว่า 0.5 mg-N/L ได้ในวันที่ 8 และไม่พบการสะสมของแอมโมเนียในถังอนุบาลตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนชุดควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณวันละ 66% (ภาพที่ 4-16) มีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่า 0.8 mg-N/L ตลอดการทดลอง นอกจากนี้ผลการทดลองในภาพที่ 4-16 ยังแสดงให้เห็นว่าในถังชุดควบคุมเกิดการสะสมของไนไตรต์ขึ้น ในขณะที่ชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพสามารถควบคุมปริมาณไนไตรต์ไว้ได้เป็นอย่างดี และพบการสะสมของไนเตรตแทน แสดงว่าการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นเกิดจากขบวนการไนตริฟิเคชัน



ภาพที่ 4-14 ความหนาแน่นเฉลี่ยของสาหร่าย *Chaetoceros* ของถังชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)

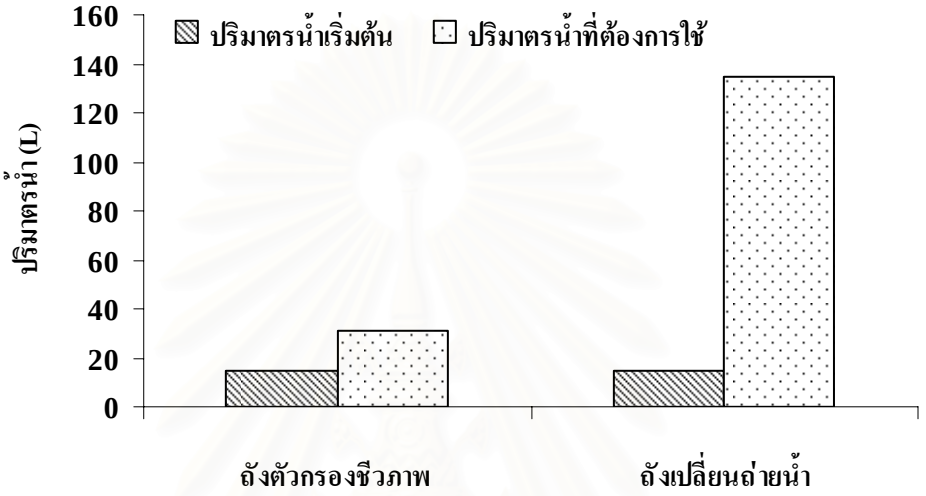


ภาพที่ 4-15 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter)



ภาพที่ 4-16 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)

เมื่อคำนวณปริมาณความต้องการน้ำที่ใช้ในการทดลองอนุบาลลูกหอย พบว่าถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในถังออกจำนวน 16 ลิตร ซึ่งเป็นการนำน้ำออกก่อนที่จะเติมสาหร่ายเพื่อเป็นอาหารลูกหอย ในขณะที่ถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุมมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำไปทั้งหมด 136 ลิตร จะเห็นได้ว่าระบบถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำสามารถลดการน้ำได้ 120 ลิตร หรือเท่ากับความต้องการใช้น้ำลดลงถึง 8.5 เท่า



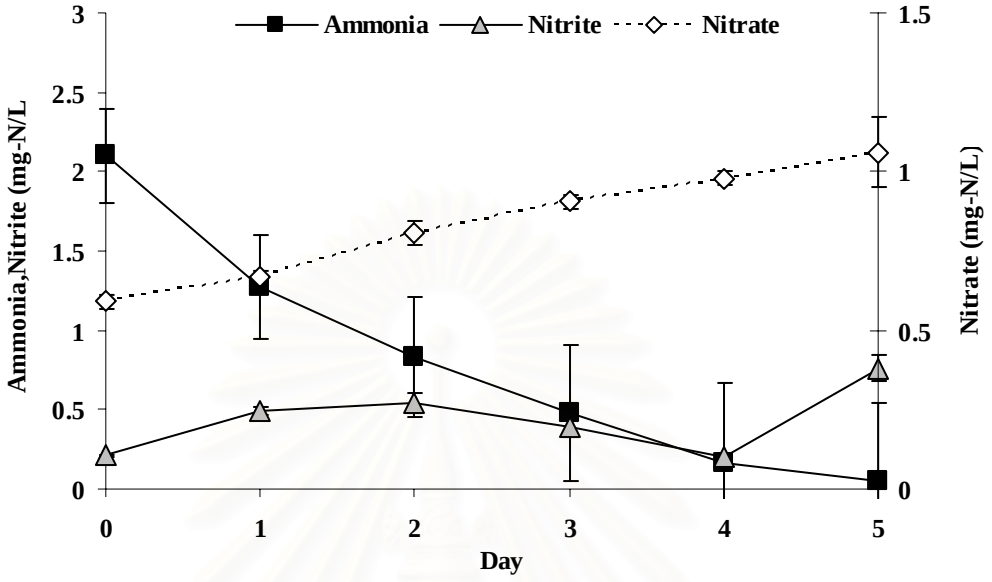
ภาพที่ 4-17 ปริมาตรน้ำที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง

4.2.2 การอนุบาลลูกหอยหวานที่ประกอบด้วยระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed biofilter)

เนื่องจากการทดลองอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดในหัวข้อ 4.2.1 นั้นยังต้องมีการผลิตสาหร่ายจากภายนอกระบบเพื่อเติมลงสู่ระบบเลี้ยง โดยที่ก่อนเติมสาหร่ายต้องนำน้ำออกจากระบบเลี้ยงทิ้งในปริมาณที่เท่ากับสาหร่ายที่เติมลงในแต่ละวันทำให้เกิดความยุ่งยากและสิ้นเปลืองน้ำ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงออกแบบระบบให้สามารถนำน้ำจากระบบเลี้ยงกลับมาใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายอีกครั้งโดยผ่านกระบวนการบำบัดตามขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพ การทำให้ตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงยูวี ก่อนที่จะนำน้ำเข้าสู่ถังเตรียมอาหารเพาะเชื้อ

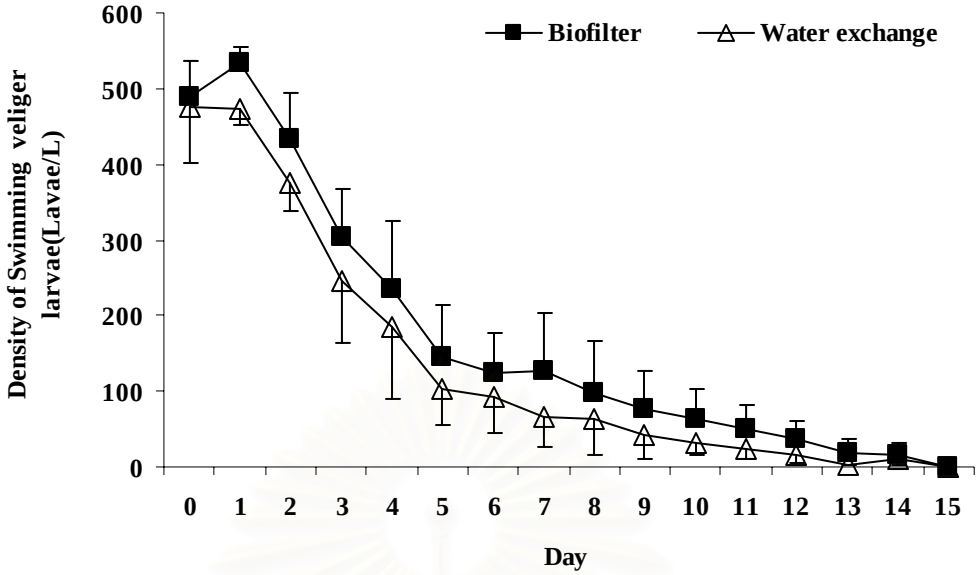
ผลการติดตามปริมาณแอมโมเนียในระยะการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพดังแสดงในภาพที่ 4-18 พบว่า ตัวกรองชีวภาพสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ และพบการสะสมไนเตรตภายในถัง โดยมีอัตราการลดลงของแอมโมเนียเท่ากับ 0.466 mg NH_4-N/L/day (R^2=0.955) ซึ่งเมื่อคำนวณต่อหน่วยของตัวกรองชีวภาพแล้วจะมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 0.0046 mg NH_4-N/media/day ซึ่ง

แสดงว่าตัวกรองมีไนตริไฟอิงแบคทีเรียเกาะติดอยู่มีความพร้อมที่จะนำมาใช้งานในการบำบัดแอมโมเนียในถังอนุบาลลูกหอย



ภาพที่ 4-18 การติดตามการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในขั้นตอนการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน

ผลการทดลองระบบอนุบาลลูกหอยหวาน ในภาพที่ 4-19 พบว่าความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ภายในถังทดลองทั้งสองลดลง และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 2 ถึงวันที่ 6 เนื่องจากลูกหอยบางส่วนตาย ส่วนปริมาณลูกหอยที่ค่อยๆลดลงในช่วงวันที่ 10 เนื่องจากหอยในระยะนี้อาศัยว่ายน้ำอยู่ใกล้พื้นเป็นหลักและเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปร่างเข้าสู่ระยะลงพื้น และเมื่อลูกหอยเข้าสู่ระยะลงพื้นแล้ว ถังชุดทดลองและชุดควบคุม มีอัตรารอดใกล้เคียงกันคือ 343.66 ตัวหรือคิดเป็น 4.58% และ 325.66 ตัวคิดเป็น 4.34% ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P=0.92: T-test) ส่วนจำนวนเปลือกที่เหลือในถังชุดทดลองเท่ากับ 2,009 ตัว ชุดควบคุมเท่ากับ 986 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ส่วนการเปรียบเทียบความยาวเปลือกของหอยในภาพที่ 4-20 พบว่าหอยที่เลี้ยงแบบเปลี่ยนถ่ายน้ำ (ชุดควบคุม) มีความยาวเปลือกที่ยาวกว่าหอยที่เลี้ยงในระบบปิด (ชุดทดลอง) แต่เมื่อทดสอบทางสถิติมีค่าไม่แตกต่างกัน

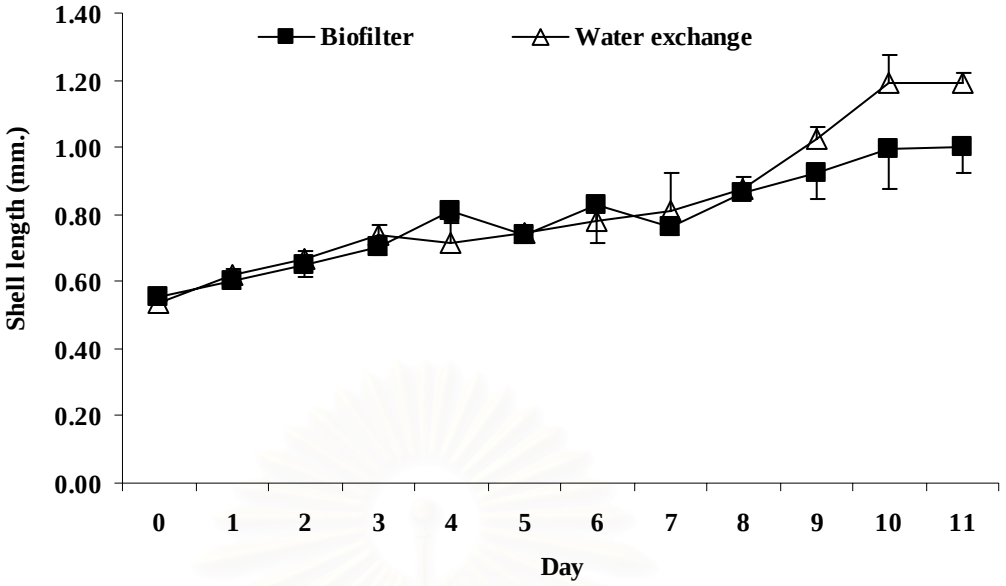


ภาพที่ 4-19 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ Veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)

ตารางที่ 4-2 จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะในชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

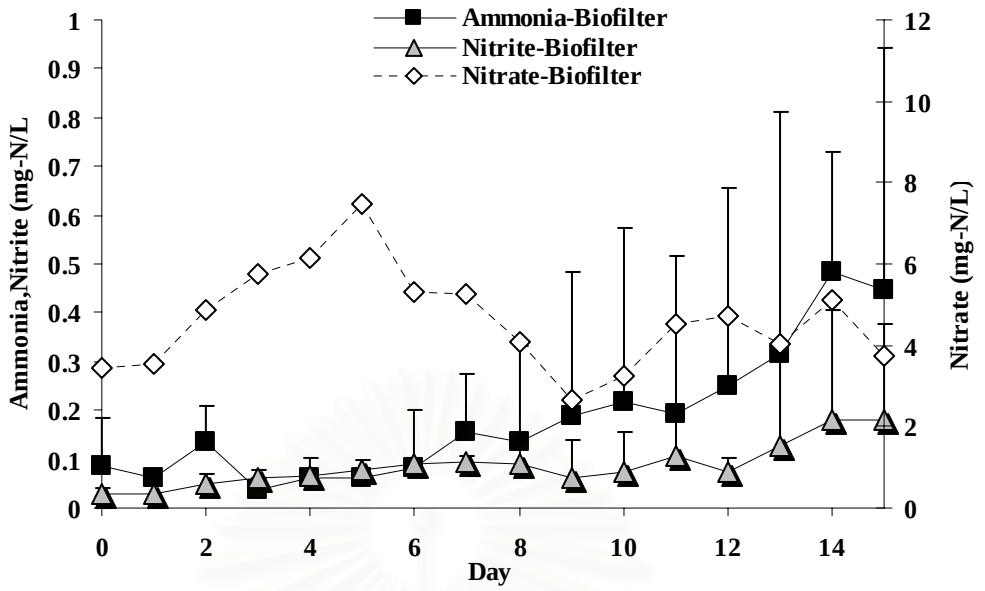
	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม
จำนวนลูกหอยทั้งหมดเมื่อเริ่มเลี้ยง (ตัว/ถัง)	7500	7500
จำนวนลูกหอยที่รอดลงเกาะเฉลี่ย (ตัว/ถัง)	343.6±117	325.6±168
% อัตรารอดลูกหอยที่รอดลงเกาะเฉลี่ย	4.58±1.56	4.34±2.24
จำนวนเปลือกที่เหลือในถัง (ตัว/ถัง)	2,009	986

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

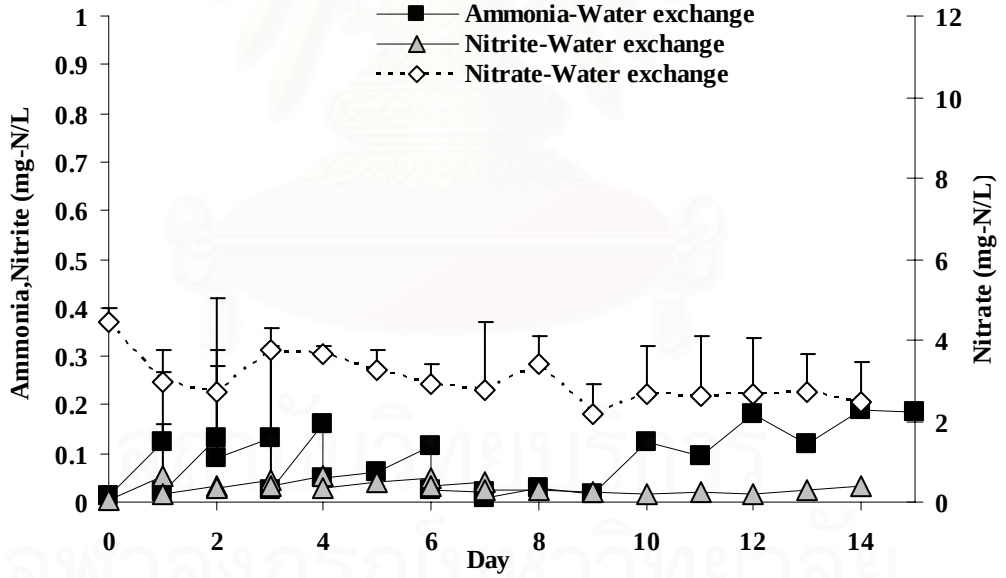


ภาพที่ 4-20 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ Veliger ของถังชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจน ในถังชุดควบคุม ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำในวันที่ 1,2,3,4,6,7 ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรตมีค่าต่ำตลอดระยะเวลาการทดลอง ส่วนในชุดทดลองที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่มีตัวกรองชีวภาพสามารถควบคุมปริมาณปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรต์ ให้มีความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4-21 และภาพที่ 4-22 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณแอมโมเนียในแต่ละซ้ำของการทดลองภายในชุดทดลองเดียวกัน พบว่ามีความแตกต่างกันมาก (ภาพที่ 4-23) โดยเมื่อทำการวัดแสงตามธรรมชาติที่แต่ละถังได้รับพบว่ามีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2-3 สำหรับถังชุดทดลองในซ้ำที่ 3 และถังชุดควบคุมในซ้ำที่ 3 นั้นได้รับแสงน้อยกว่าถังอื่นๆ ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำมีค่าสูงกว่าซ้ำอื่นๆ อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังไม่พบการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้นในทุกถังทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง แสดงให้เห็นว่าการบำบัดที่เกิดขึ้นไม่ได้มาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน แต่จะเป็นการบำบัดแบบ assimilation โดยเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช

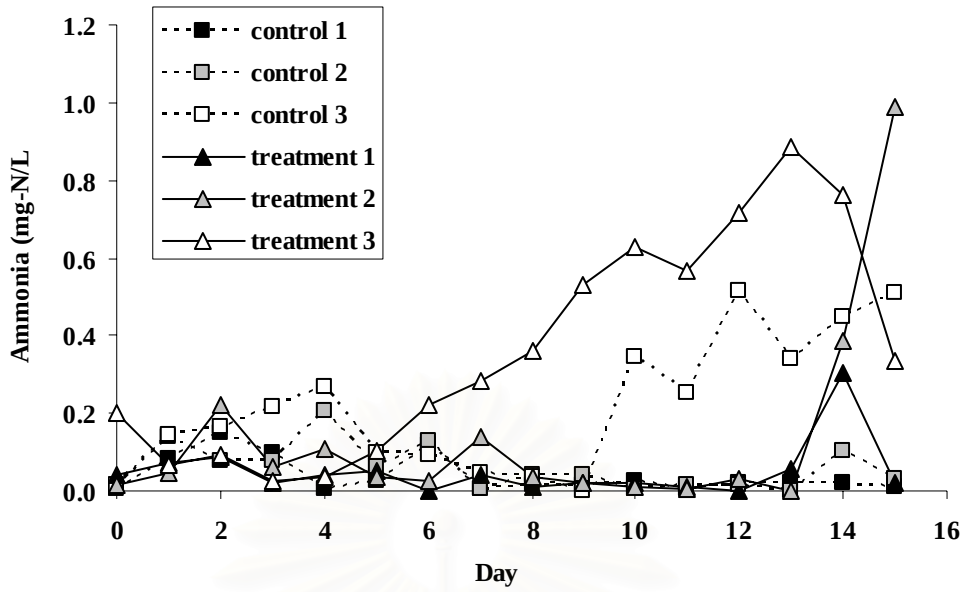


ภาพที่ 4-21 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter)



.

ภาพที่ 4-22 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)



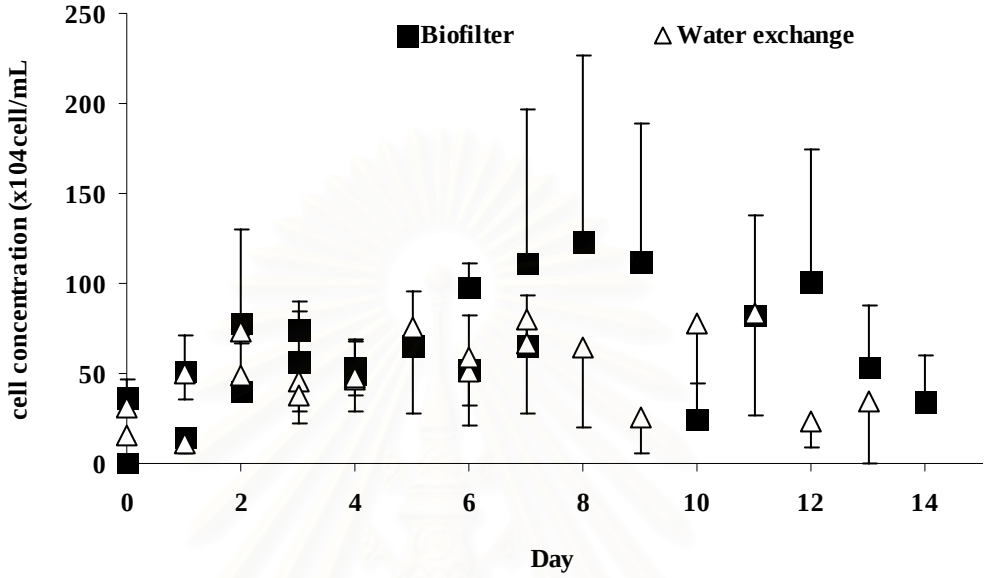
ภาพที่4-23 ปริมาณแอมโมเนียในถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุม (Control) และชุดทดลองระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Treatment) แสดงข้อมูลแยกในแต่ละซ้ำ

ตารางที่ 4-3 ค่าความเข้มแสงในแต่ละซ้ำของชุดการทดลอง

	ความเข้มแสงด้านหน้า (Lux)	ความเข้มแสงด้านข้าง (Lux)
ชุดทดลอง ซ้ำที่ 1	3,100	4,500
ชุดทดลอง ซ้ำที่ 2	3,500	1,000
ชุดทดลอง ซ้ำที่ 3	300	1,600
ชุดควบคุม ซ้ำที่ 1	3,100	7,600
ชุดควบคุม ซ้ำที่ 2	1,500	1,400
ชุดควบคุม ซ้ำที่ 3	400	1,100

สำหรับปริมาณสาหร่ายในถังทดลองการทดลองนี้มีการเติมสาหร่ายเพื่อเป็นอาหารในวันที่ 1,2,3,4,6 และ 7 ของการทดลอง พบว่าหลังจากวันที่ 7 ของการทดลอง ปริมาณสาหร่ายเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีความหนาแน่นสูงขึ้นจนกระทั่งไม่จำเป็นต้องเติมสาหร่ายจากระบบเลี้ยงภายนอก ปริมาณสาหร่ายในถังเลี้ยงลูกหอยในการทดลองนี้มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 10.69 -123 $x10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร ดังแสดงในภาพที่ 4-24 ซึ่งสาเหตุที่ปริมาณแพลงก์ตอนพืชเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากในบริเวณที่วางถังทดลองมีแสงแดดส่องถึงในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะถังชุดทดลองและชุดควบคุมที่วางอยู่ด้านนอกสุด ส่วนถังชุดทดลองและชุดควบคุมที่วางอยู่ทางด้านในโดนแสงน้อย

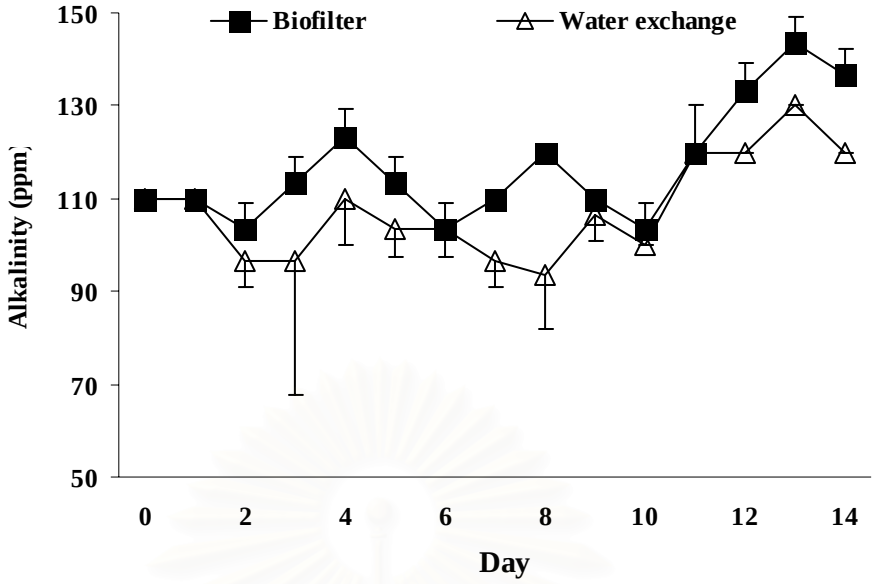
กว่าถังอื่นๆ (ตารางที่ 4-3) ปริมาณแพลงก์ตอนพืชจึงเติบโตน้อย และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 9 ของการทดลอง



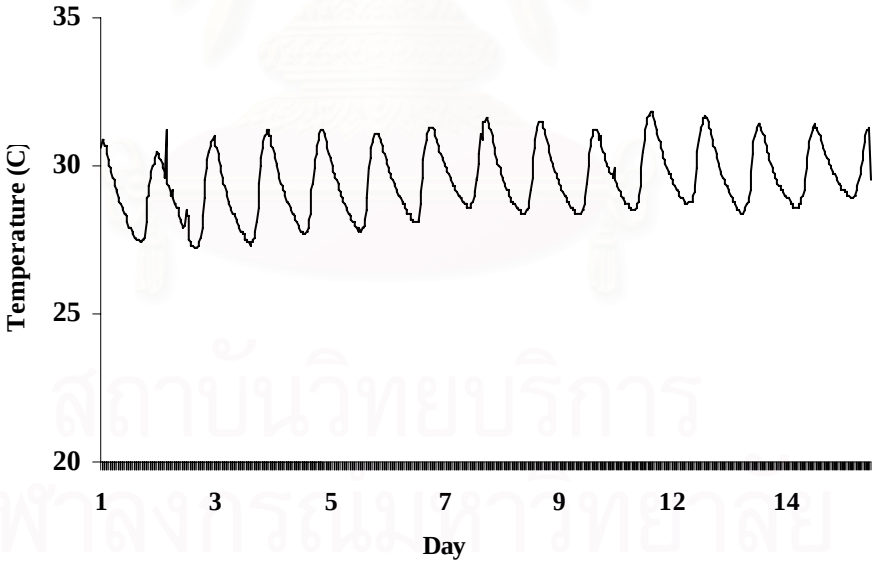
ภาพที่ 4-24 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสาหร่ายในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพ แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)

สำหรับค่าอัลคาลินิตีมีค่าอยู่ระหว่าง 93.3-143.3 ppm และอัลคาลินิตีของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการทดลอง (ภาพที่ 4-25) ส่วนอุณหภูมิน้ำในระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ย 27.4 - 31.4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-26)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



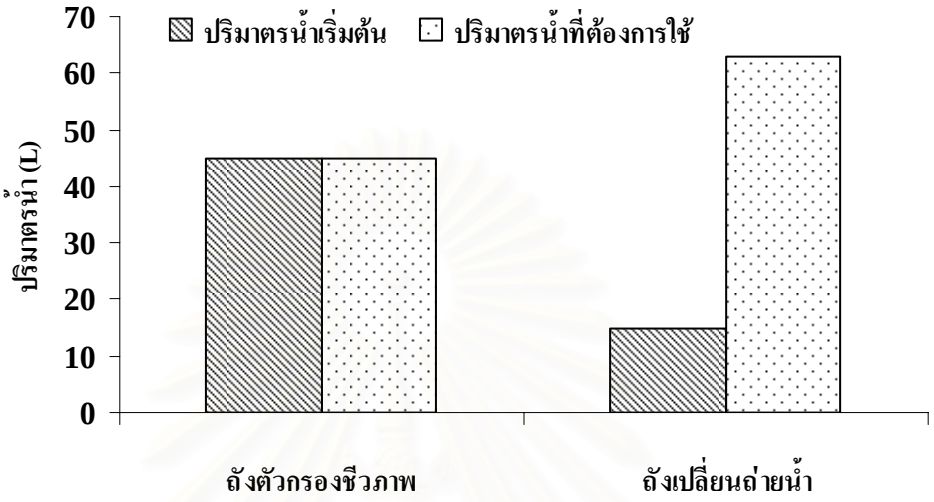
ภาพที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่มีตัวกรองชีวภาพ (with biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการ เปลี่ยนถ่ายน้ำ (water exchange)



ภาพที่4-26 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ระหว่างการทดลองอนุบาลลูกหอย

เมื่อเปรียบเทียบความต้องการใช้น้ำในระหว่างการทดลอง พบว่าถังอนุบาลลูกหอยชุดควบคุม มีปริมาตรน้ำในถัง 30 ลิตร และต้องการน้ำในการเปลี่ยนทั้งหมด 31 ลิตร ซึ่งการเปลี่ยนน้ำในที่นี้มีปริมาณน้อยกว่าการเลี้ยงตามปกติเนื่องจากการที่มีแพลงก์ตอนพืชปริมาณมากในน้ำทำให้

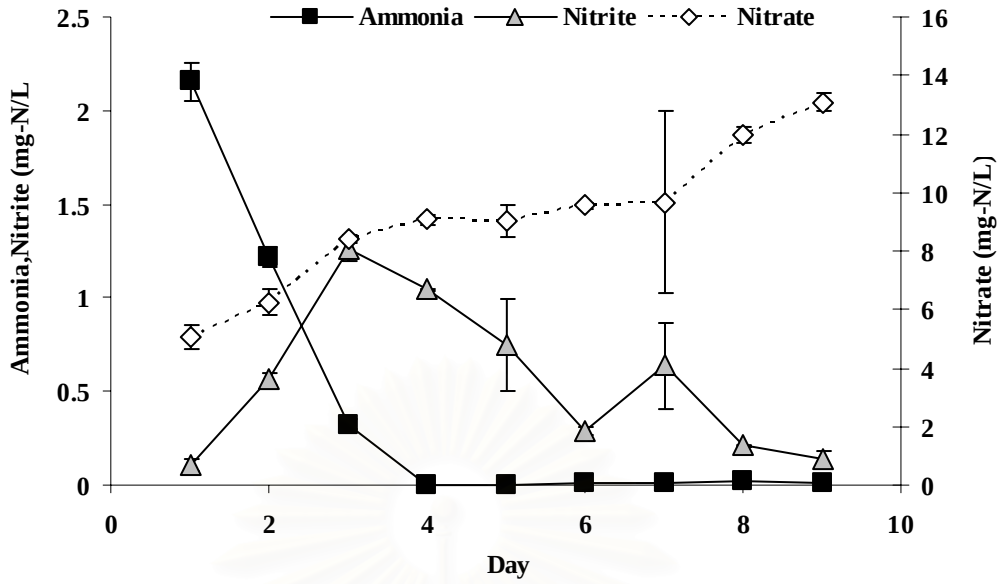
ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์มีค่าไม่สูง จึงไม่จำเป็นต้องถ่ายน้ำทุกวัน ในขณะที่บ่อชุดทดลองระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด มีการเติมสาหร่ายลงในระบบรวมปริมาตร 15 ลิตร แต่น้ำที่ผ่านการเลี้ยงได้หมุนเวียนกลับไปใช้เลี้ยงสาหร่าย จึงเท่ากับว่าไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงเลย



ภาพที่ 4-27 ปริมาตรน้ำที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง

4.2.3 การเปรียบเทียบการอนุบาลลูกหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด กับระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสงและได้รับแสงน้อย

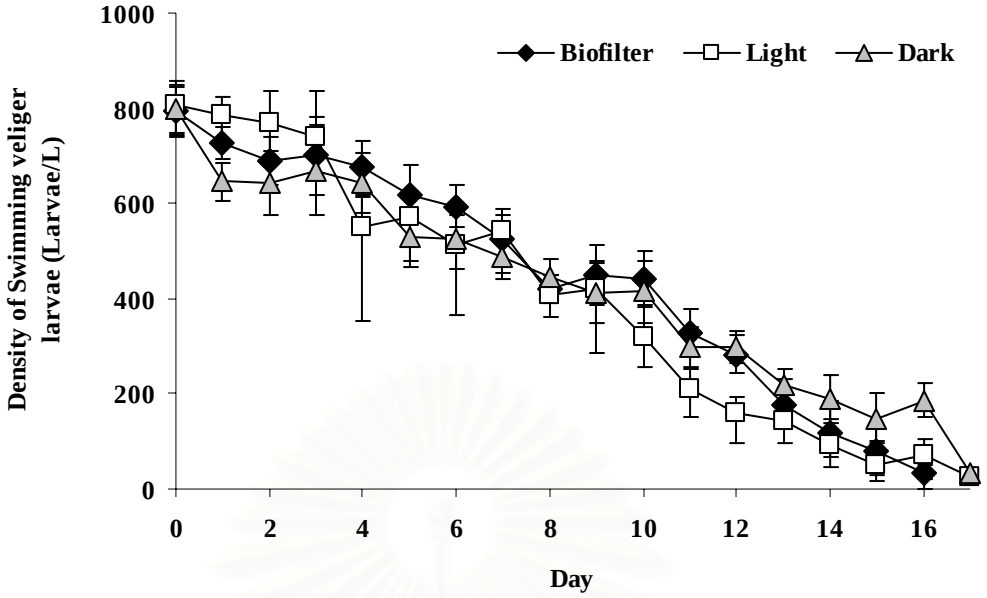
ผลการติดตามปริมาณแอมโมเนียในระยะการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 4-28 พบว่า ตัวกรองชีวภาพสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ และพบการสะสมไนเตรตภายในถัง โดยมีอัตราการลดลงของแอมโมเนียเท่ากับ 0.915 mg NH_4-N/L/day (R^2=0.999) ซึ่งแสดงว่าตัวกรองที่มีไนตริไฟอิงแบคทีเรียเกาะติดอยู่มีความพร้อมที่จะนำมาใช้งานในการบำบัดแอมโมเนียในถังอนุบาลลูกหอย



ภาพที่ 4-28 การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ในขั้นตอนการเตรียม สภาพตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างถังเลี้ยงลูกหอยที่ได้รับแสง (Light) ซึ่งมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำวันละ 4 ลิตร เท่ากับปริมาตรสาหร่ายที่เติมลงในถังแต่ละวัน (ชุดทดลอง 1) กับถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (RAS) ที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง (ชุดทดลอง 2) และชุดควบคุมซึ่งเป็นถังเลี้ยงลูกหอยแบบปิดแสง (Dark) ซึ่งจะปิดด้านข้างถังด้วยแผ่นพลาสติกสีดำ และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเข้าและออกจากระบบทุกวัน

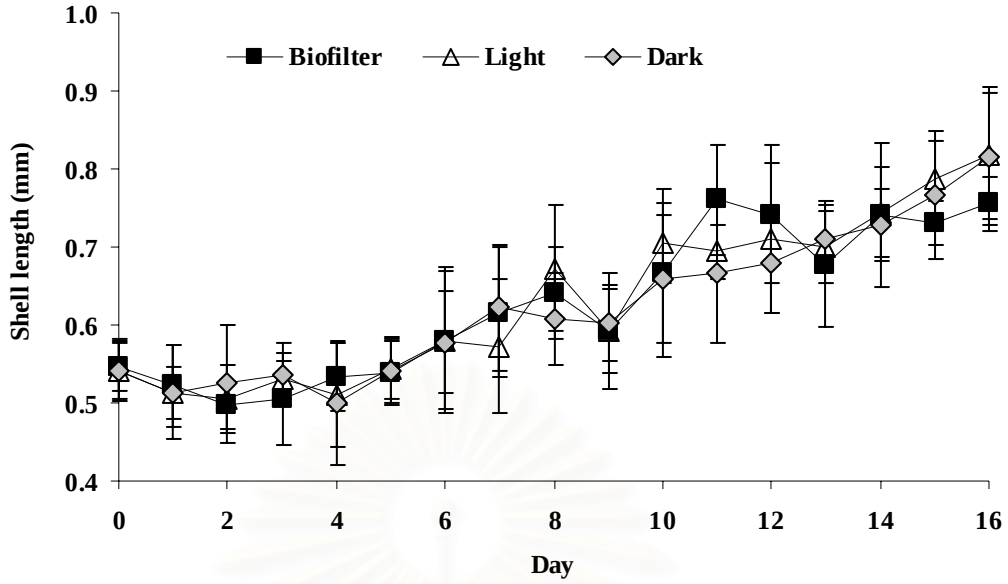
ผลการทดลองในภาพที่ 4-29 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณลูกหอยระยะ veliger ภายในถังทดลองทั้งสามลดลง ปริมาณลูกหอยที่ลดลงในช่วงวันแรกๆ ของการทดลอง เกิดจากลูกหอยบางส่วนตาย ส่วนการลดลงของจำนวนลูกหอยในช่วงท้ายของการทดลองนั้นมาจากการที่ลูกหอยเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (metamorphosis) และเริ่มลงเกาะกับพื้นถังทดลอง ผลการตรวจนับลูกหอยที่รอดจนถึงระยะลงพื้นพบว่าชุดทดลองที่มีอัตรารอดสูงสุดคือชุดทดลองที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ชุดทดลองทึบแสง และชุดทดลองมีแสง โดยมีจำนวนหอยที่รอดเฉลี่ย 1,534 ตัวต่อถัง 1,051 ตัวต่อถัง และ 1,351 ตัวต่อถัง คิดเป็น 12.78% , 11.25% และ 8.75% ตามลำดับ ซึ่งอัตราการรอดของทั้งสามชุดทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-4) การเติบโตของลูกหอยในทั้งสามชุดการทดลองมีการเพิ่มขนาดความยาวเปลือกขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงในอัตราที่ไม่แตกต่างกัน(ภาพที่ 4-31)



ภาพที่ 4-29 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลอง RAS ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทั้งแบบได้รับแสง (Light) และแบบทึบแสง (Dark)

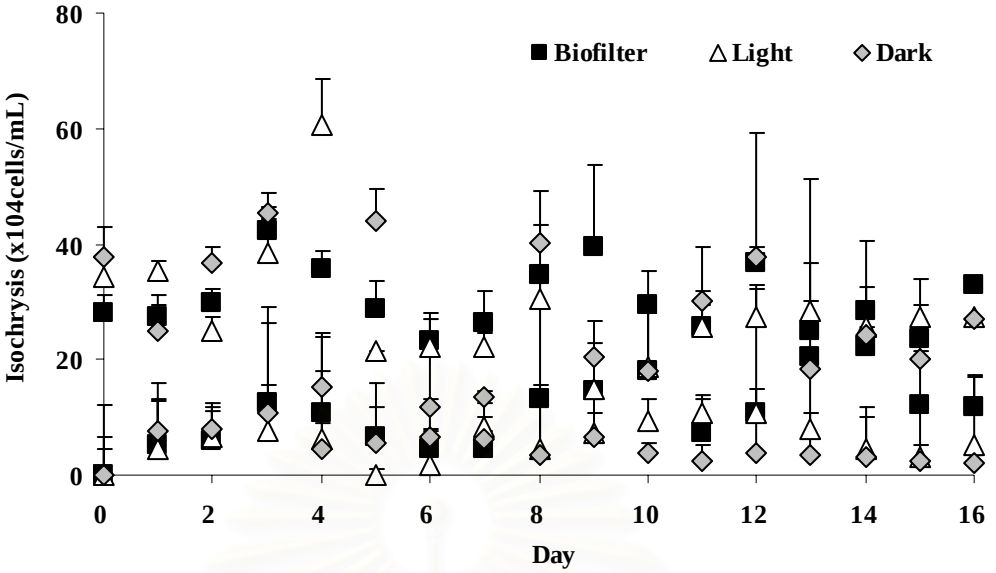
ตารางที่ 4-4 จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงพื้น ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด กับระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสงและได้รับแสงน้อย

	ถังระบบหมุนเวียนน้ำ	ถังที่ได้รับแสง	ถังทึบแสง
จำนวนลูกหอยทั้งหมดเมื่อเริ่มเลี้ยง (ตัว/ถัง)	12,000	12,000	12,000
อัตรารอดจนถึงระยะลงพื้นเฉลี่ย(ตัว/ถัง)	1,534.6±251.9	1,051±199.4	1,351±274.7
% รอดจนถึงระยะลงพื้น	12.78±2.09	8.75±1.66	11.25±2.28



ภาพที่ 4-30 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลอง RAS ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทั้งแบบได้รับแสง (Light) และแบบทึบแสง (Dark)

สำหรับปริมาณแพลงก์ตอนพืชในถังทดลอง จากผลการทดลองอนุบาลลูกหอยในหัวข้อ 4.2.2 พบว่าการวางระบบในที่ได้รับแสงมีผลต่อการเติบโตตามธรรมชาติของแพลงก์ตอนพืชภายในถังเลี้ยงลูกหอย และแพลงก์ตอนพืชมีบทบาทสำคัญต่อการเดินระบบเพราะหากมีแพลงก์ตอนพืชเกิดมากในถังจะช่วยลดความต้องการการเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชจากภายนอก และยังมีผลช่วยควบคุมคุณภาพน้ำ แต่ก็ยังจำเป็นต้องมีการควบคุมแพลงก์ตอนพืชให้มีปริมาณที่เหมาะสมไม่เช่นนั้นหากเกิดการตายของแพลงก์ตอนพืชขึ้นภายในถังเลี้ยงก็จะส่งผลกระทบต่อลูกหอย ด้วยเหตุนี้การทดลองนี้จึงได้จัดให้มีระบบถังอนุบาลที่ได้รับแสงธรรมชาติเปรียบเทียบกับถังอนุบาลที่ได้รับแสงน้อยทั้งระบบหมุนเวียนและระบบที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงฤดูฝน สภาพอากาศธรรมชาติมืดครึ้มและมีฝนตกบ่อย ทำให้แสงธรรมชาติที่ชุดทดลอง Light ได้รับมีปริมาณน้อยกว่าที่คาดหมายไว้ ทำให้ปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (ตารางที่ 4-5) จึงต้องมีการเติมแพลงก์ตอนพืชที่เลี้ยงในถังผลิตจากภายนอกเพื่อเป็นอาหารเช่นเดียวกับชุดการทดลองควบคุม แต่ในชุดการทดลองที่ได้รับแสงจะมีการเติมแพลงก์ตอนพืชในปริมาณที่น้อยกว่าชุดที่มีระบบบำบัดและชุดการทดลองทึบแสง และในระหว่างการทดลองได้มีการตรวจวัดความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชทุกวันเพื่อควบคุมปริมาณให้ไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละชุดทดลอง โดยสาหร่ายในถังทดลองมีความหนาแน่นระหว่าง 1.83-60.50 x10^4 เซลล์/มิลลิลิตร (ภาพที่ 4-31)



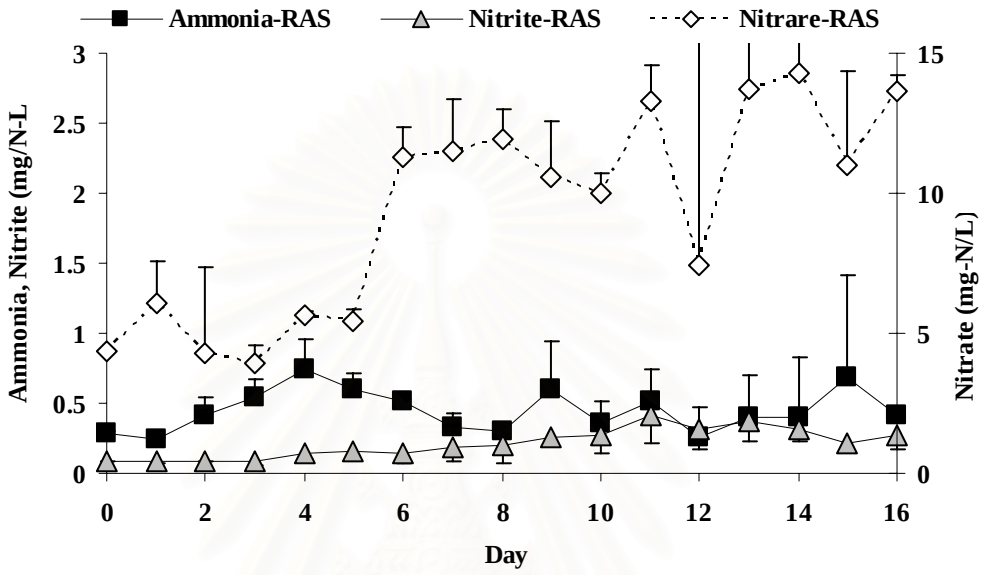
ภาพที่ 4-31 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสาหร่ายในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง RAS ที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทั้งแบบได้รับแสง (Light) และแบบทึบแสง (Dark)

ตารางที่ 4-5 ค่าความเข้มแสงในแต่ละชุดทดลอง

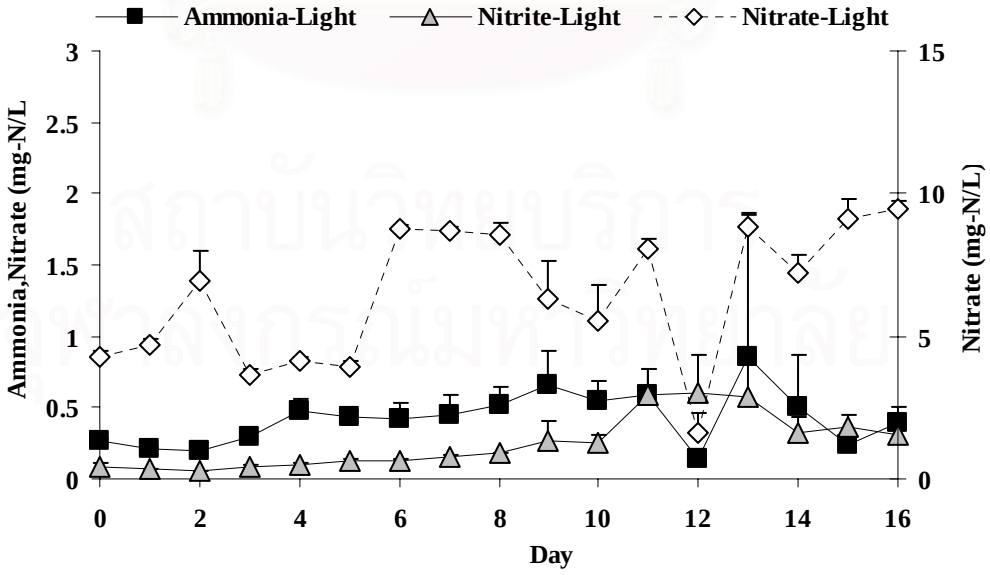
	ความเข้มแสงด้านบน (Lux)	ความเข้มแสงด้านข้าง (Lux)
ชุดทดลองที่มีระบบบำบัด	310	650
ชุดทดลองที่ได้รับแสง	1,390	320
ชุดทดลองทึบแสง	0	0

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในชุดทดลองที่มีระบบบำบัด (biofilter) (ภาพที่ 4-32) ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง ความเข้มข้นของแอมโมเนียในช่วง 4 วันแรกของการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของไนไตรต์และไนเตรตค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันยังไม่สมบูรณ์ เมื่อเข้าวันที่ 6 ของการทดลอง พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรตเริ่มสะสมเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการบำบัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นเป็นผลจากกระบวนการไนตริฟิเคชันของตัวกรองชีวภาพ สำหรับถังทดลองที่ได้รับแสง (Light) (ภาพที่ 4-33) แม้ว่าจะมีการถ่ายน้ำน้อยแต่ระดับแอมโมเนียค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชที่เติบโตอยู่ในถัง ทำให้ไม่มีการสะสมของ ไนเตรตซึ่งเป็นผลสุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชัน ในขณะที่ชุดการทดลองในถังที่ปิดแสง (Dark) (ภาพที่ 4-34) พบว่าไม่มีการสะสมของแอมโมเนียและไนเตรต เนื่องจากมีการ

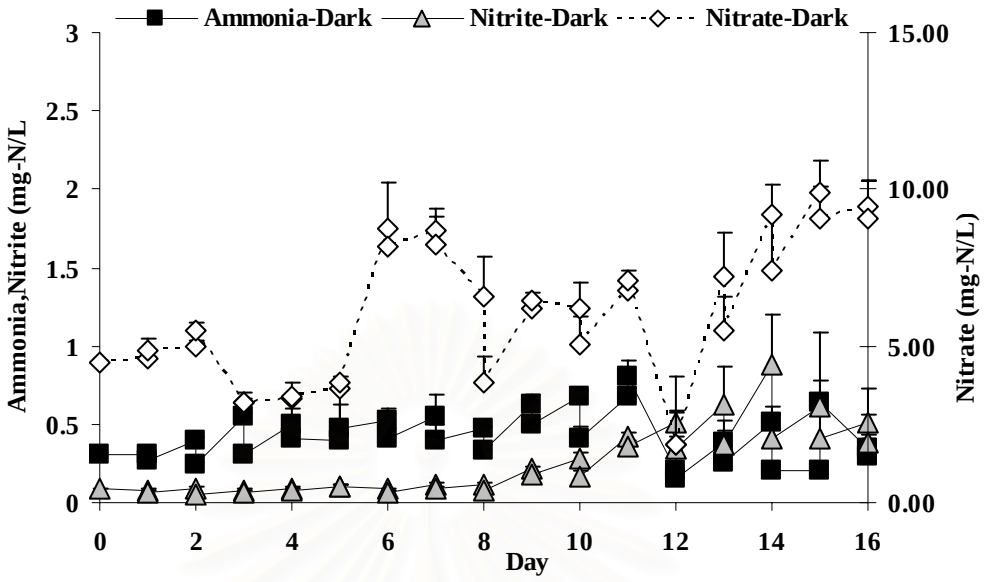
เปลี่ยนถ่ายน้ำในสัดส่วน 50% ทุกวัน แต่ในช่วงท้ายของการทดลองระหว่างวันที่ 10 ถึงวันที่ 16 พบว่าปริมาณไนไตรต์ในน้ำเพิ่มสูงขึ้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันที่ 14 ของการทดลอง หากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอาจจะทำให้ความเข้มข้นของไนไตรต์เพิ่มสูงกว่า 1 mg-N/L ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อลูกหอยได้



ภาพที่ 4-32 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของถังชุดทดลอง RAS ที่มีตัวกรองชีวภาพ



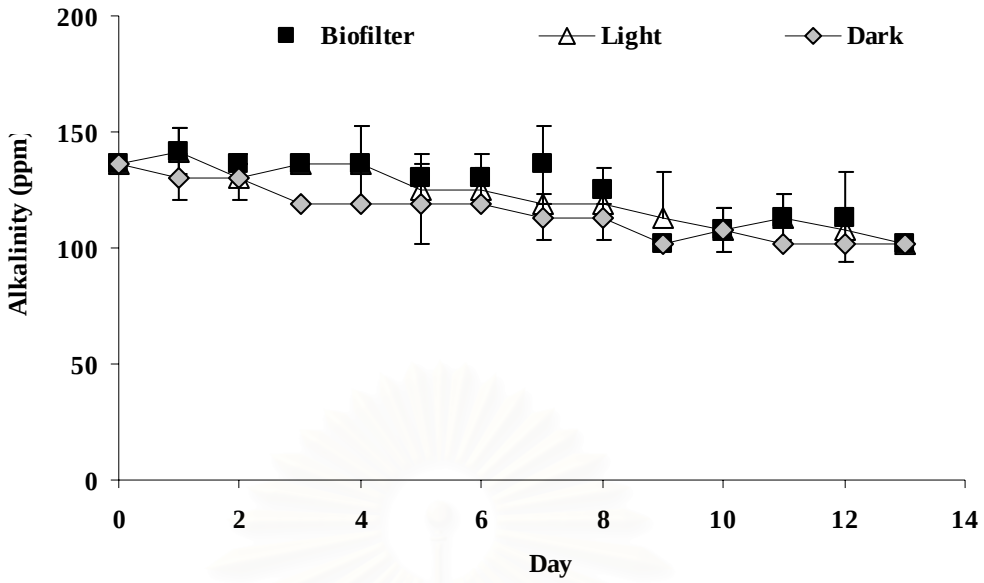
ภาพที่ 4-33 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของถังชุดควบคุมแบบที่ได้รับแสงที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ



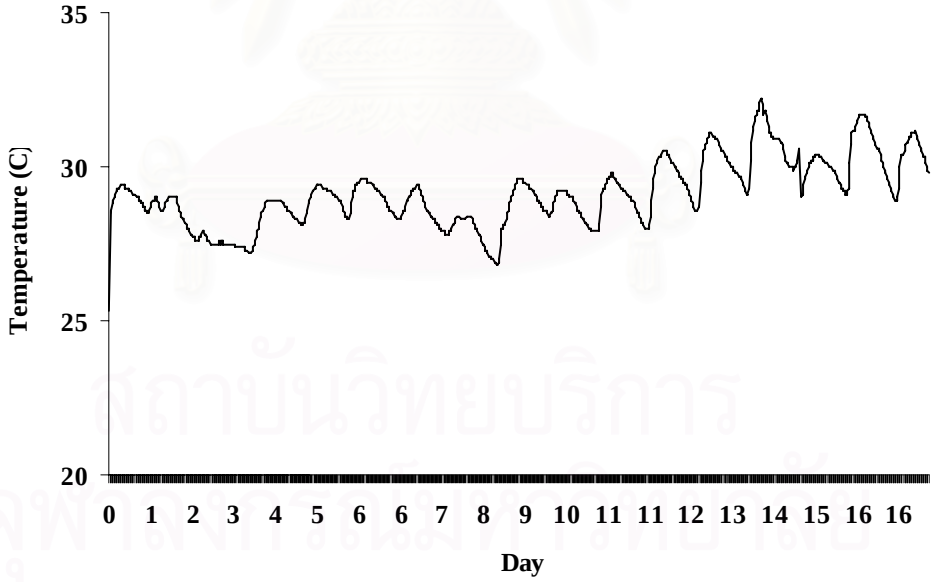
ภาพที่ 4-34 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของถังชุดควบคุมแบบทึบแสงที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

สำหรับค่าอัลคาลินิตีทั้งสามชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าอยู่ระหว่าง 102-141 ppm และอัลคาลินิตีของน้ำมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการทดลอง (ภาพที่ 4-35) โดยในการทดลองนี้ลูกหอยมีอัตราการรอดค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณอัลคาลินิตีในน้ำ ส่วนอุณหภูมิน้ำในระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ย 27-32.2 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



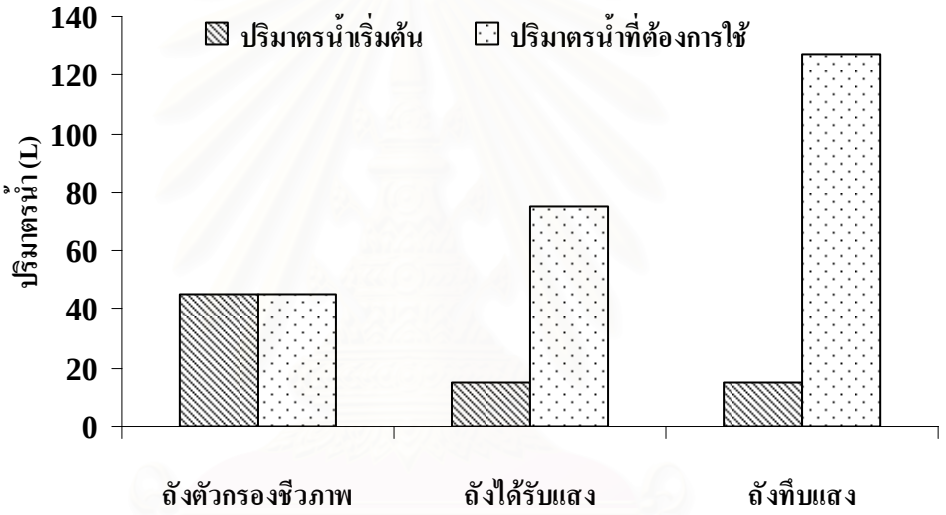
ภาพที่ 4-35 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอย ชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ (biofilter) และถังชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกรองชีวภาพแต่มีการ เปลี่ยนถ่ายน้ำทั้งแบบได้รับแสง (Light) และแบบทึบแสง (Dark)



ภาพที่ 4-36 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการทดลองอนุบาลลูกหอย

เมื่อคิดปริมาณความต้องการใช้น้ำในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าในชุดการทดลองที่มีระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (RAS) มีการใช้น้ำทะเล 45 ลิตร ตลอดการทดลอง 16 วัน โดยคิดจากปริมาณน้ำ

รวมทั้งระบบ คือ ในส่วนถังเลี้ยง ถังบำบัด ถังตกตะกอน ถังเตรียมอาหารเพาะเชื้อ จนถึงถังเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งเชื่อมต่อกันเป็นชุดเดียว ในขณะที่ชุดควบคุมที่อนุบาลในถังที่ทึบแสง (Dark) ในถังขนาด 15 ลิตรที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำร้อยละ 50 ทุกวัน มีการใช้น้ำไปทั้งหมด 120 ลิตร ส่วนในชุดการทดลองที่ได้รับแสง (Light) ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเท่ากับปริมาตรของสาหร่ายที่เติมในถังมีการใช้น้ำไปทั้งหมด 71 ลิตร ดังนั้นในวันสุดท้ายของการทดลองจึงพบว่าชุดทดลองระบบปิดมีการใช้น้ำทั้งหมด 45 ลิตร ซึ่งก็คือปริมาตรน้ำของระบบเลี้ยงนั่นเอง แต่ในขณะที่ชุดควบคุม (Dark) ต้องใช้น้ำในการเปลี่ยนถ่ายถึง 56 ลิตร จากปริมาตรน้ำในถังทดลอง 15 ลิตร คิดเป็นความต้องการน้ำในการเปลี่ยนถ่ายตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงถึง 3.73 เท่าของปริมาตรน้ำที่ใช้เลี้ยง การอนุบาลลูกหอยในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจึงช่วยลดความต้องการในการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้เป็นอย่างดี

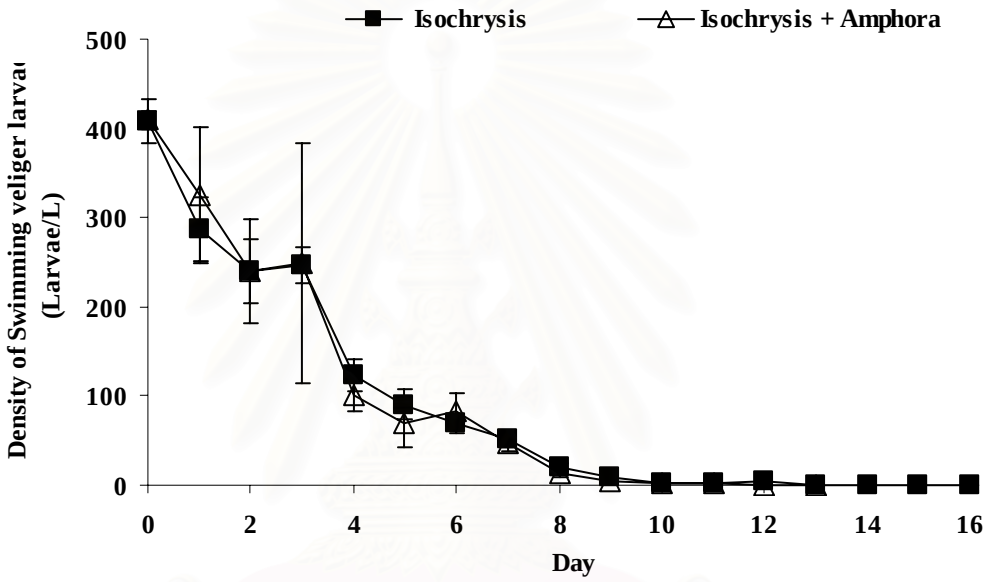


ภาพที่ 4-37 ปริมาตรน้ำที่ใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยระบบหมุนเวียนน้ำ (RAS) มีปริมาตรเริ่มต้น 45 ลิตร เนื่องจากมีถังเลี้ยงขนาด 15 ลิตร และมีน้ำในส่วนบำบัดและส่วนเลี้ยงสาหร่ายอีก 30 ลิตร ในขณะที่ชุดที่ได้รับแสง (Light) และชุดควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Dark) จะมีปริมาตรเริ่มต้น 15 ลิตร เท่ากัน

4.2.4 การทดลองอนุบาลลูกหอยหวาน ในถังขนาด 100 ลิตร

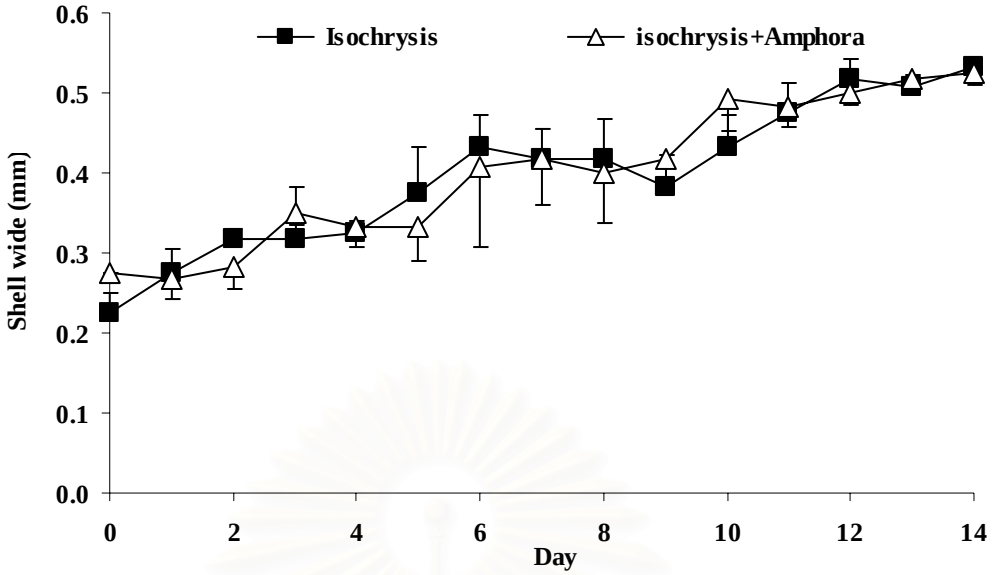
การทดลองนี้ได้ขยายขนาดของถังเลี้ยงลูกหอยให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และทำการเลี้ยงลูกหอยโดยใช้สาหร่าย *Isochrysis* เพียงชนิดเดียวเปรียบเทียบกับการเลี้ยงโดยใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* ทำการทดลองจำนวนสองรอบ ในรอบแรกซึ่งทำในถังเลี้ยงลูกหอยขนาด 100 ลิตร ผลการทดลองในภาพที่ 4-38 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณลูกหอยระยะ veliger ที่อยู่ภายในถังทดลองทั้งสองมีจำนวนลดลง แม้ว่าจะพบอัตราการตายมากแต่หอยที่รอดชีวิตก็มีอัตราการเติบโตโดยมี

การเพิ่มความกว้างและยาวของเปลือกอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 4-39 และภาพที่ 4-40) โดยอัตรารอดจนถึงระยะลงพื้นในถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* คือ 458 ตัวต่อถัง หรือคิดเป็น 1.14% ซึ่งสูงกว่าถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* เพียงอย่างเดียว ที่มีอัตรารอดจนถึงระยะลงพื้นเท่ากับ 175 ตัวต่อถัง หรือคิดเป็น 0.43% (ตารางที่ 4-6) เช่นเดียวกับการทดลองในรอบที่สอง ที่อัตรารอดจนถึงระยะลงพื้นในถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* คือ 310 ตัวต่อถัง หรือคิดเป็น 0.77% ซึ่งสูงกว่าถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* เพียงอย่างเดียว ที่มีอัตรารอดจนถึงระยะลงพื้นเท่ากับ 157 ตัวต่อถัง หรือคิดเป็น 0.39% ดังแสดงในตารางที่ 4-7

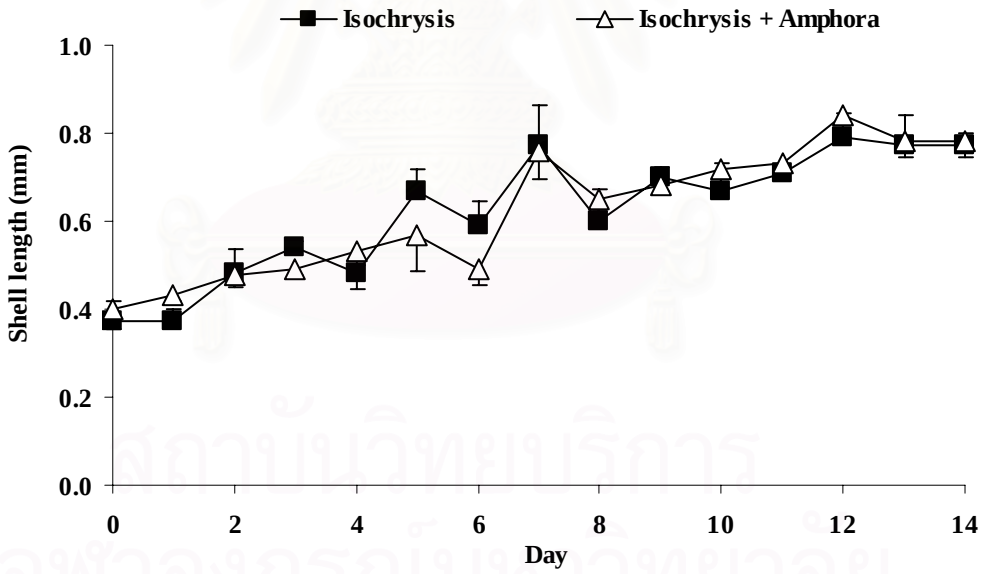


ภาพที่ 4-38 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-39 การเพิ่มความกว้างเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



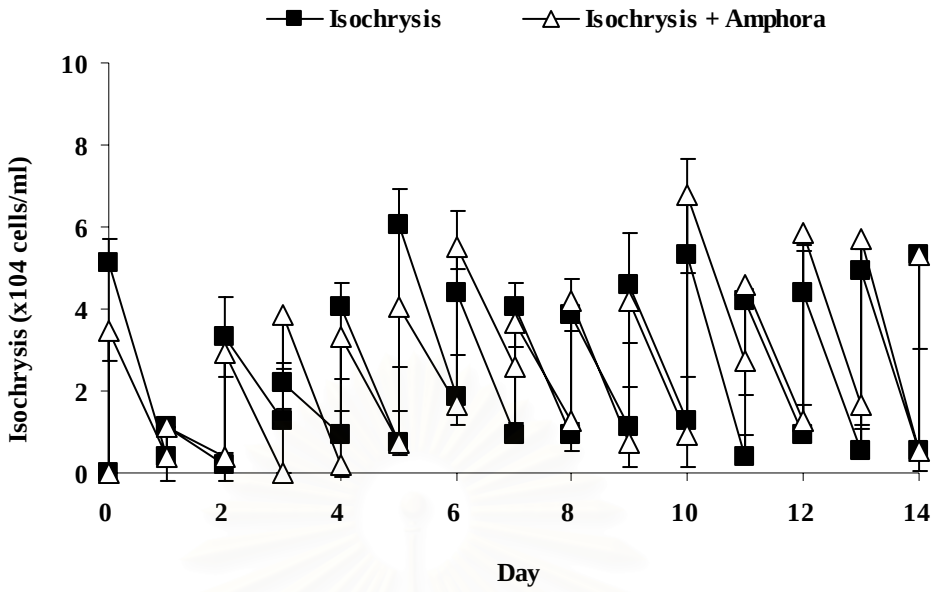
ภาพที่ 4-40 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

ตารางที่ 4-6 จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะ ในถังขนาด 100 ลิตร ที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* และใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*

	ถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis*	ถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*
จำนวนลูกหอยทั้งหมดเมื่อเริ่มเลี้ยง (ตัว/ถัง)	40,000	40,000
จำนวนลูกหอยที่รอดถึงระยะลงพื้น (ตัว/ถัง)	174	458
% รอดจนถึงระยะลงพื้น	0.43	1.14

อัตราการรอดของลูกหอยจนถึงระยะลงพื้นในการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าการทดลองก่อนหน้านี้มาก สาเหตุที่สำคัญเกิดจากสาหร่ายในถังอนุบาลลูกหอยมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ โดยมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.1-6.78 $x10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร (ภาพที่ 4-41) อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบการอนุบาลลูกหอยด้วยสาหร่าย *Isochrysis* และการใช้สาหร่ายผสมระหว่าง *Isochrysis* และ *Amphora* แต่เนื่องจาก *Amphora* เป็นสาหร่ายที่เติบโตอยู่ที่พื้นถังเป็นหลัก ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจวัดสาหร่ายในที่นี้จึงรายงานเฉพาะปริมาณของ *Isochrysis* แต่เพียงชนิดเดียว ปัญหาอีกประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณสาหร่ายก็คือพบการปนเปื้อนของโคพีพอดในถังอนุบาลลูกหอย (ภาพที่ 4-42) ซึ่งเป็นสิ่งที่นอกเหนือความคาดหมายเนื่องจากการปนเปื้อนของโคพีพอดมาจากถังเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพซึ่งต้องทำการเตรียมน้ำก่อนล่วงหน้าเป็นเวลานานหลายเดือน ดังนั้นแม้จะมีการบำบัดน้ำในถังอนุบาลลูกหอยเป็นอย่างดี เมื่อนำตัวกรองมาใส่ในถังเลี้ยงหอยจึงทำให้เกิดการปนเปื้อนขึ้น และการปนเปื้อนของโคพีพอดซึ่งเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่กินสาหร่ายเซลล์เดียวเป็นอาหารจึงส่งผลกระทบต่อปริมาณของสาหร่ายในระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

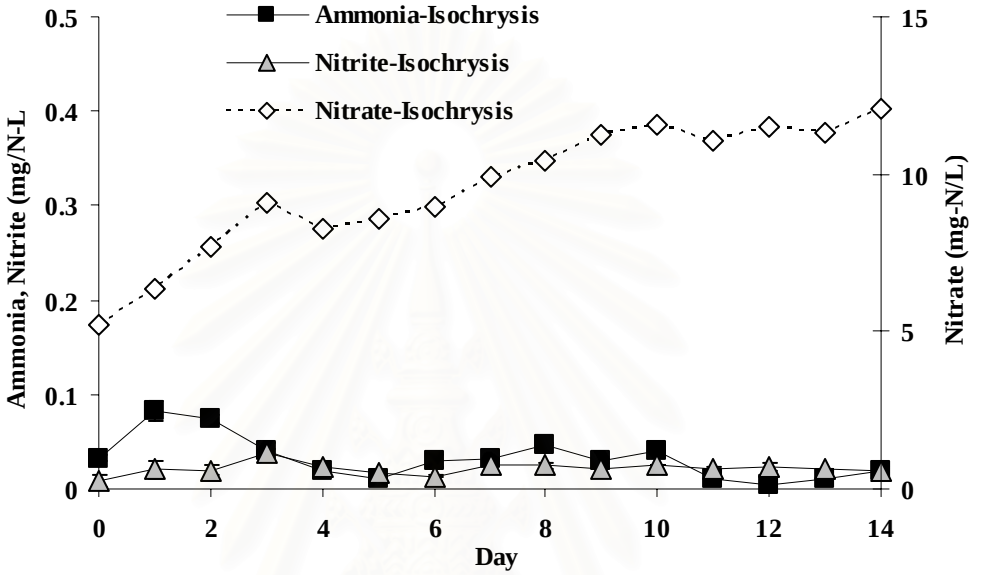


ภาพที่ 4-41 ค่าความหนาแน่นของสาหร่ายของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

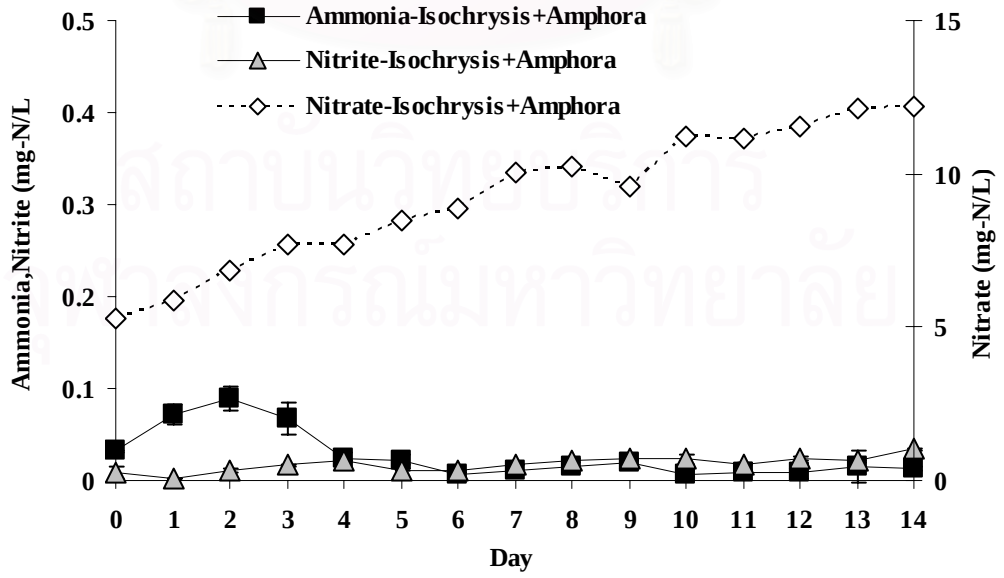
ภาพที่ 4-42 โคพีพอดที่ปนเปื้อนในถังอนุบาลลูกหอยหวาน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในถังอนุบาลลูกหอย พบว่าตัวกรองชีวภาพสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ได้เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรต์มีค่าไม่เกิน 0.1 mg-N/L ส่วนไนเตรตในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.2 เป็น 12.2 mg-N/L เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งการสะสมของไนเตรตในระบบแสดงให้เห็นว่าเกิดการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และในการทดลองนี้ไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างคุณภาพน้ำในชุดควบคุมและ

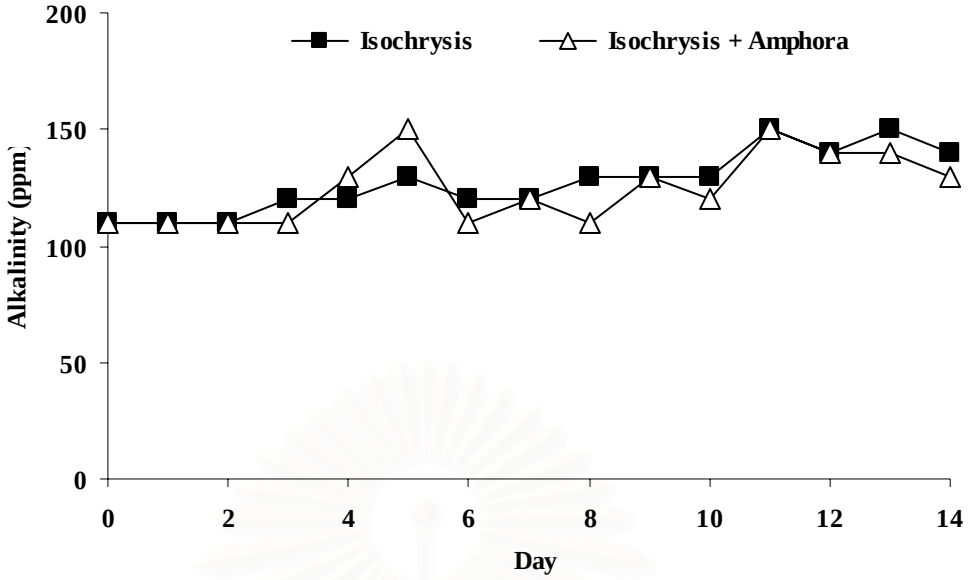
ชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายผสม สำหรับการตรวจวัดอัลคาลินิตีและแคลเซียมในน้ำ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนัก (ภาพที่ 4-45 และภาพที่ 4-46) เนื่องจากหอยมีอัตราการตายสูง ทำให้ปริมาณลูกหอยที่มีชีวิตในระบบค่อนข้างต่ำ การดึงแคลเซียมและไบคาร์บอเนตจากน้ำไปใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกจึงเกิดขึ้นน้อย สำหรับอุณหภูมิในระหว่างการทดลองอยู่ระหว่าง 27-31 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-47)



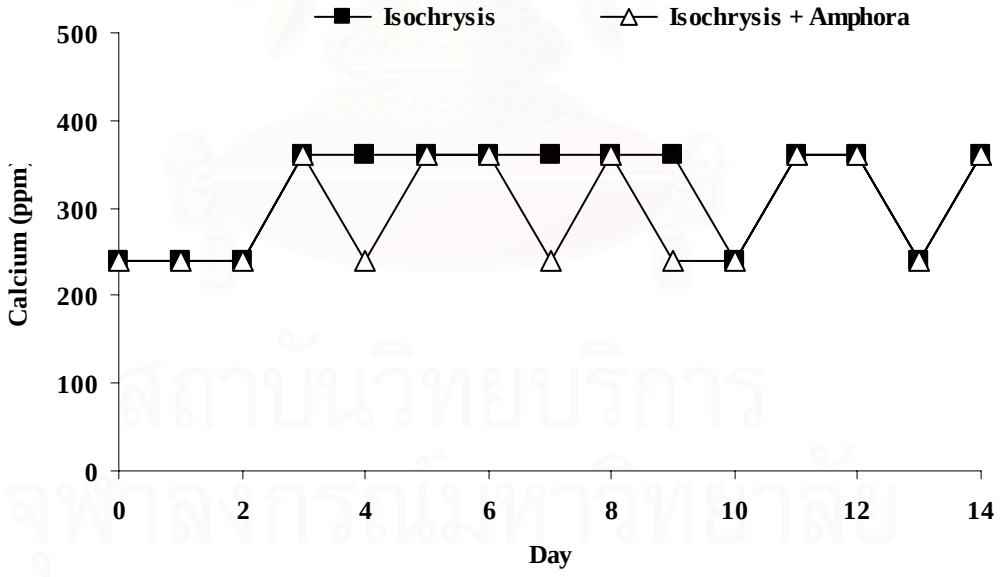
ภาพที่ 4-43 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* เป็นอาหาร



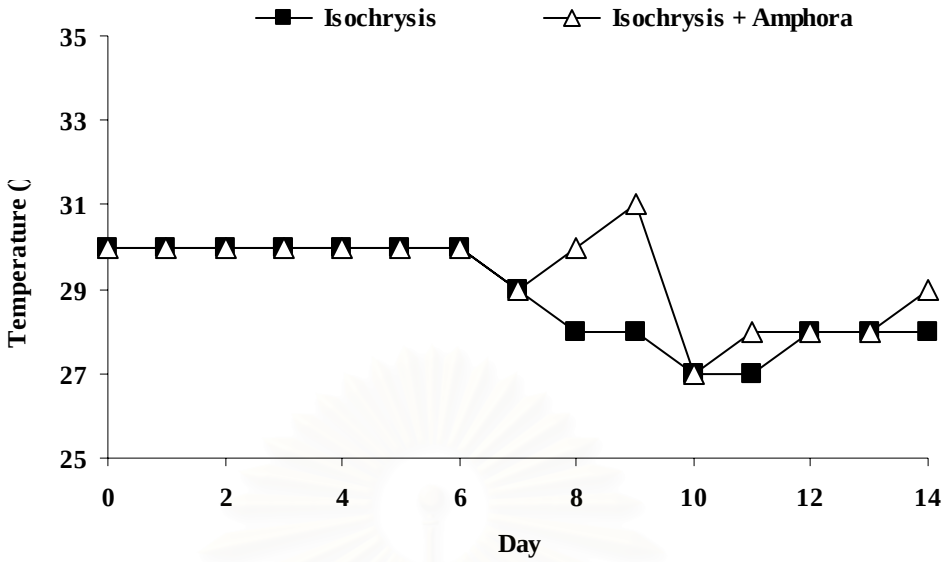
ภาพที่ 4-44 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร



ภาพที่ 4-45 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



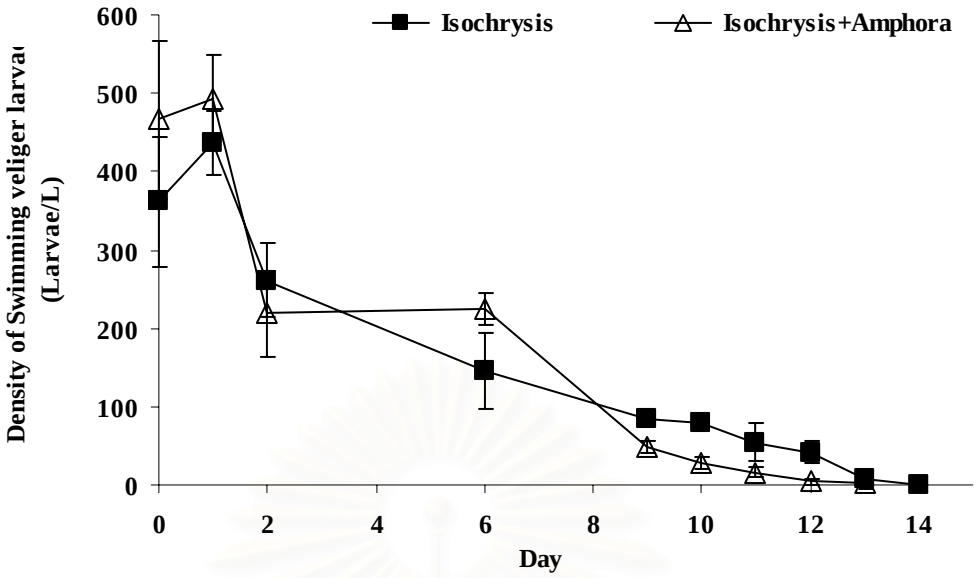
ภาพที่ 4-46 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



ภาพที่ 4-47 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

สำหรับการทดลองในรอบที่สอง ทำการเลี้ยงลูกหอยในถังขนาด 100 ลิตร ผลการทดลองพบว่าปริมาณลูกหอยที่พบในถังเลี้ยงมีการลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 4-48) โดยอัตราการรอดของลูกหอยจนถึงระยะลงพื้นในการทดลองรอบที่สองนี้มีค่าต่ำเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า (ภาพที่ 4-38) ส่วนการเพิ่มความยาวและความกว้างเปลือกของลูกหอยทั้งสองชุดการทดลองมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเลี้ยง ดังแสดงในภาพที่ 4-49 และ 4-50

ปัญหาที่พบในระหว่างการทดลองคือสาหร่ายที่ผลิตได้ไม่เพียงพอทำให้ปริมาณสาหร่ายในถังอนุบาลลูกหอยรอบที่สองนี้มีความหนาแน่นต่ำ โดยมีความหนาแน่นของสาหร่ายอยู่ระหว่าง 1.65-16.50 x10^4 เซลล์/มิลลิลิตร ดังแสดงในภาพที่ 4-51 ส่วนสาเหตุที่สำคัญอีกประการคือ ถังทดลองชุดที่เลี้ยงสาหร่ายสองชนิดร่วมกันนั้น พบการสะสมของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งวันที่ 4 ของการทดลอง ปริมาณแอมโมเนีย มีค่าเท่ากับ 0.57 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อลิตร จึงเป็นสาเหตุให้หอยเกิดอาการเครียดและตายเป็นจำนวนมาก และได้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออก หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนียในทั้งสองชุดการทดลองค่อยๆลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณไนไตรต์มีค่า 0.208 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตมีค่าอยู่ระหว่าง 5.2-12.2 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 4-52-4-53)

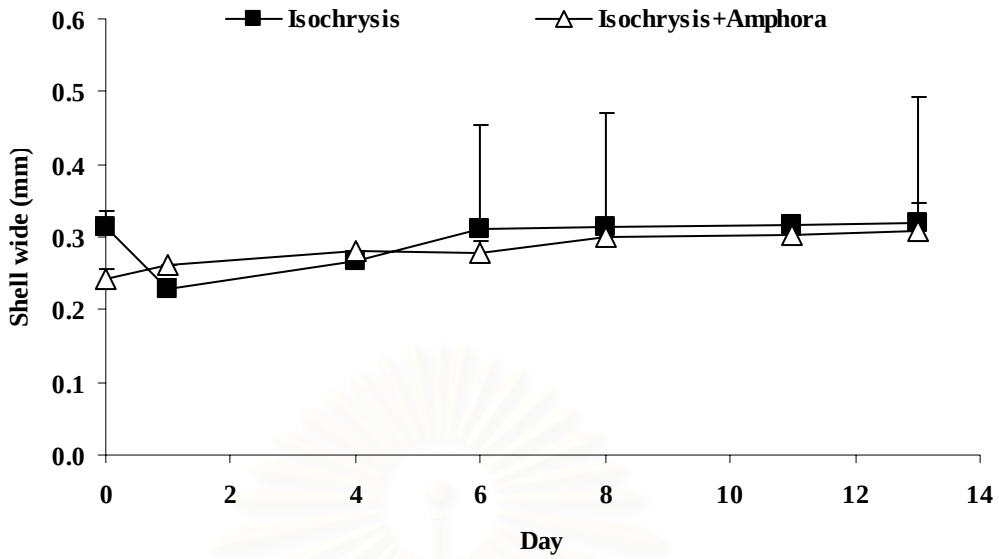


ภาพที่ 4-48 ปริมาณลูกหอยระยะ veliger ภายในถังทดลองขนาด 200 ลิตร ชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

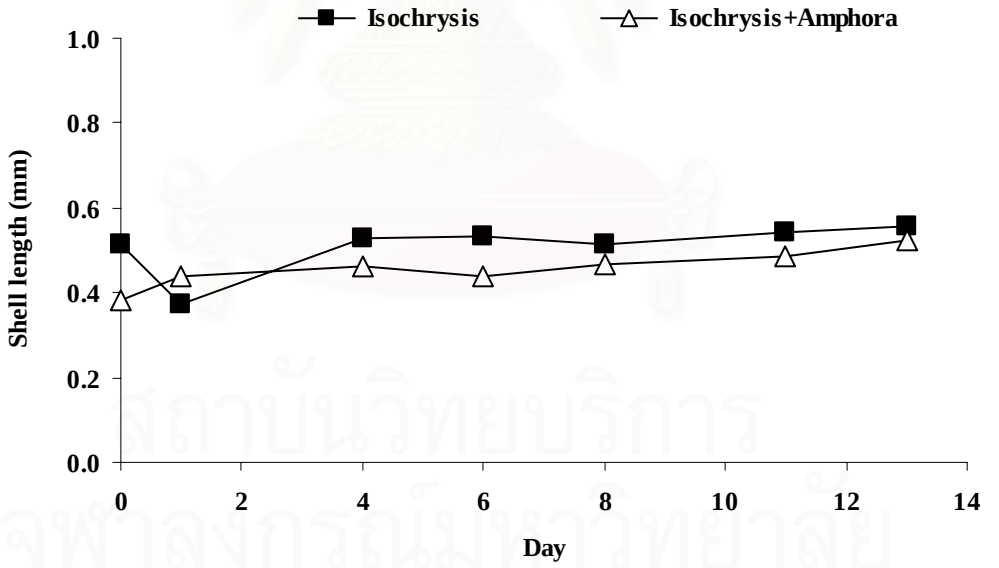
ตารางที่ 4-7 จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะ ในถังขนาด 100 ลิตร ที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* และใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*

	ถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis*	ถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*
จำนวนลูกหอยทั้งหมดเมื่อเริ่มเลี้ยง (ตัว/ถัง)	40,000	40,000
จำนวนลูกหอยที่รอดถึงระยะลงพื้น (ตัว/ถัง)	157	310
% รอดจนถึงระยะลงพื้น	0.39	0.77

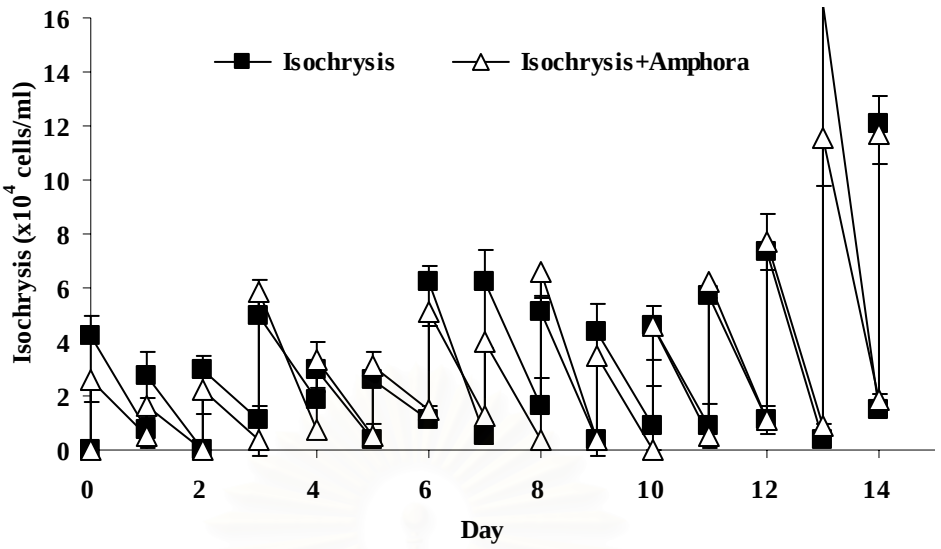
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



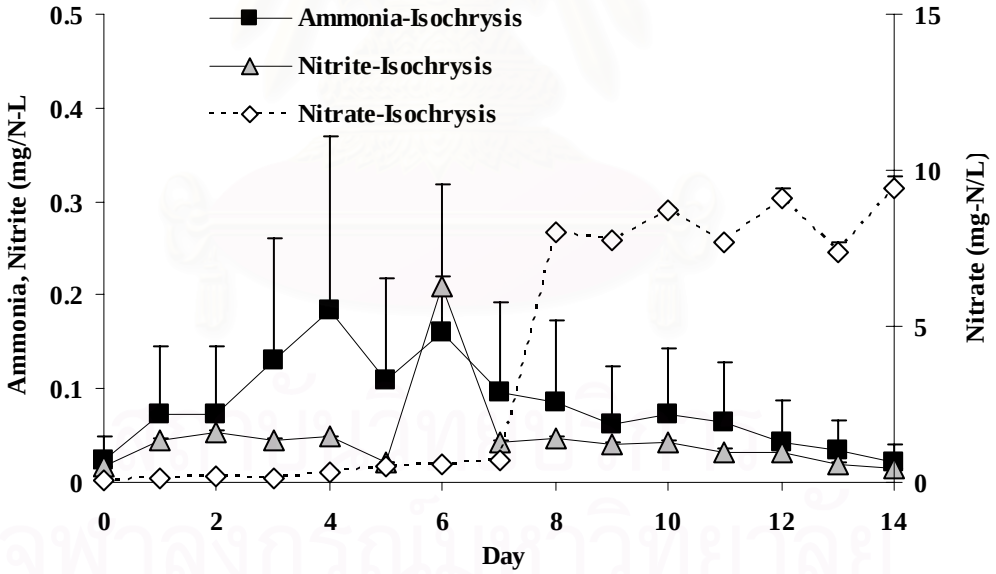
ภาพที่ 4-49 การเพิ่มความกว้างเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



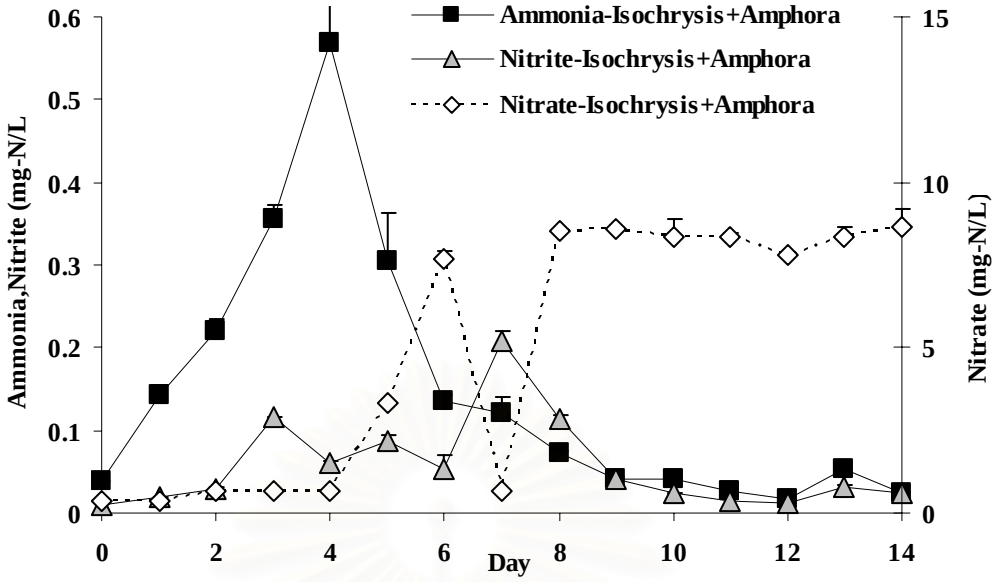
ภาพที่ 4-50 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



ภาพที่ 4-51 ค่าความหนาแน่นของสาหร่ายของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

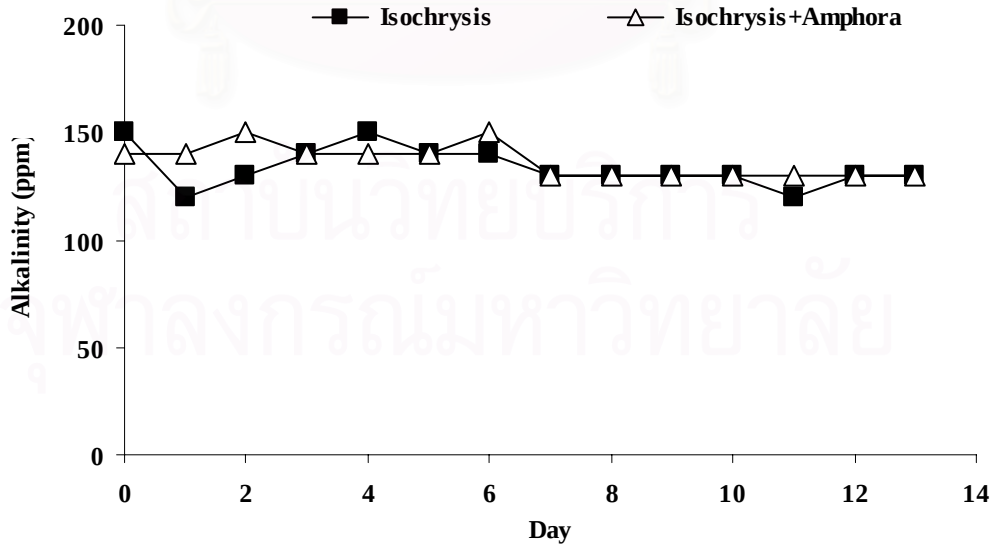


ภาพที่ 4-52 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* เป็นอาหาร

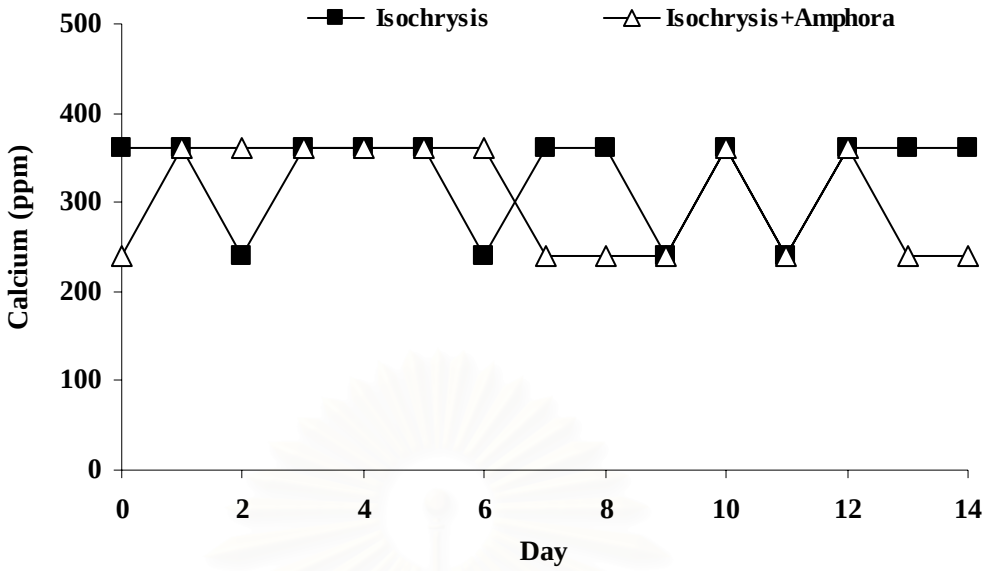


ภาพที่ 4-53 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร

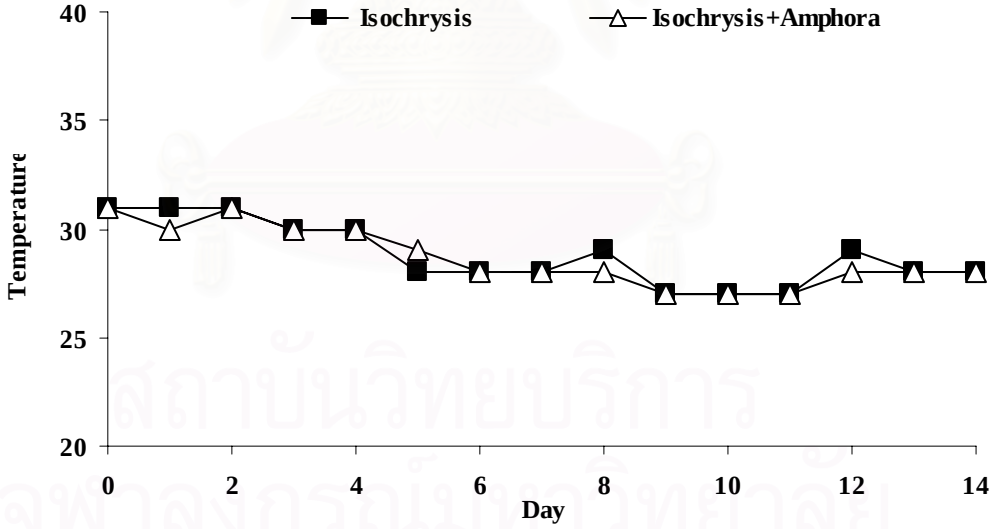
สำหรับค่าอัลคาลินิตี้ทั้งสองชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าอยู่ระหว่าง 120-150 ppm (ภาพที่ 4-54) ปริมาณแคลเซียมในถังทดลองมีค่าระหว่าง 240-360 ppm (ภาพที่ 4-55) ส่วนปริมาณอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันที่ทำการทดลอง ในการทดลองนี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 27-31 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-56)



ภาพที่ 4-54 ปริมาณอัลคาลินิตี้เฉลี่ยในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



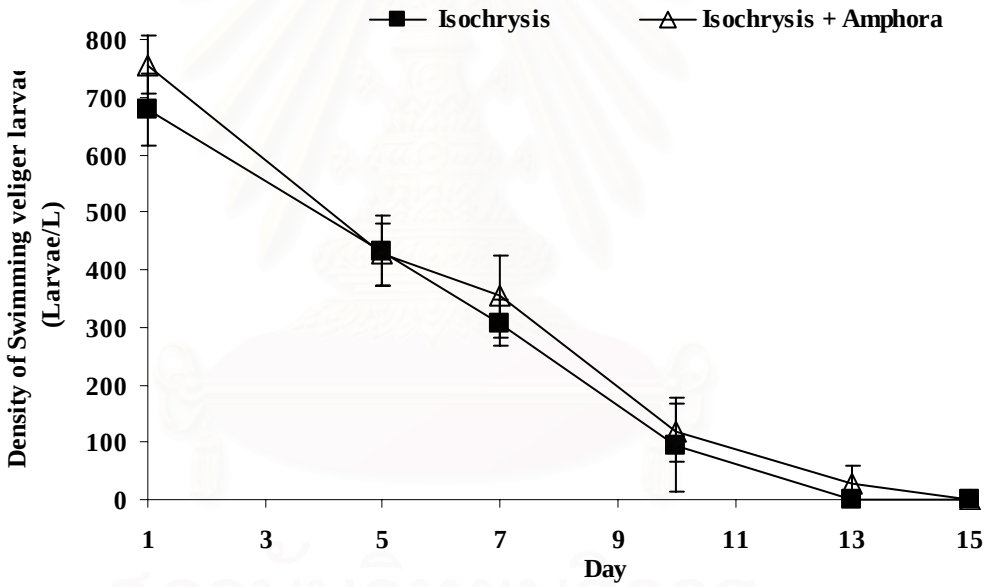
ภาพที่ 4-55 ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



ภาพที่ 4-56 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

4.2.5 การศึกษาผลของการใช้สาหร่ายผสมสำหรับการอนุบาลลูกหอยหวานระบบปิดในถังที่มีการให้แสง

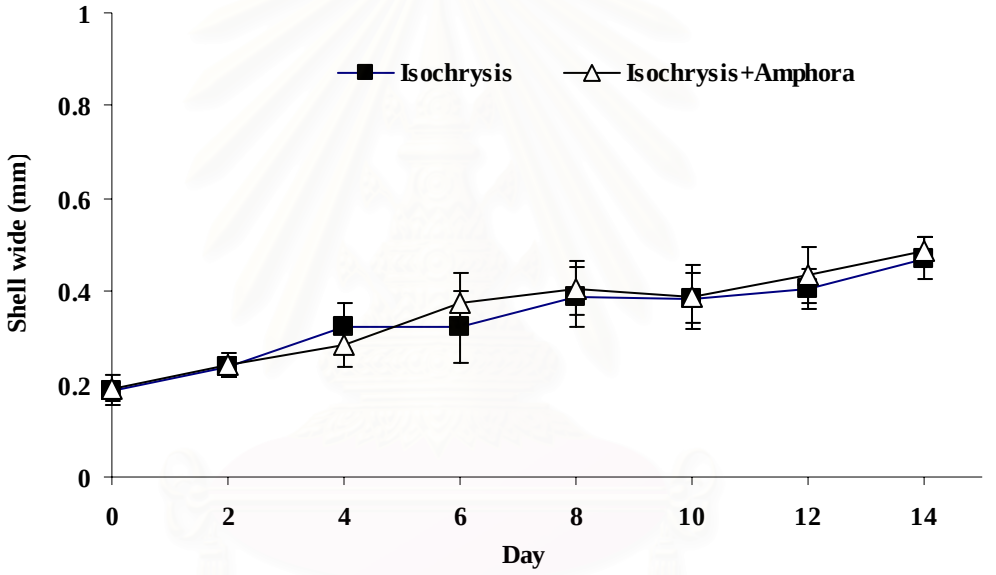
ผลการทดลองในภาพที่ 4-57 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณลูกหอยระยะ veliger larvae ภายในถังทดลองทั้งสองลดลง ปริมาณลูกหอยที่ลดลงในช่วงวันแรกๆ ของการทดลองเนื่องจากลูกหอยบางส่วนตาย ส่วนปริมาณลูกหอยที่ค่อยๆ ลดลงในช่วงวันที่ 13 เนื่องจากหอยในระยะนี้เริ่มเปลี่ยนแปลงรูปร่างเข้าสู่ระยะลงพื้น ผลการตรวจนับลูกหอยที่รอดจนถึงระยะลงพื้นพบว่าชุดทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* มีจำนวนหอยที่รอดเฉลี่ย 3,833 ตัวต่อถัง คิดเป็น 13.88% และชุดทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* มีจำนวนหอยที่รอดเฉลี่ย 1,731 ตัวต่อถัง คิดเป็น 6.90% ตามลำดับ (ตารางที่ 4-8) ส่วนการเติบโตเพิ่มขนาดของลูกหอยในถังอนุบาลทั้งความยาวและความกว้างเปลือกของลูกหอยทั้งสองชุดการทดลอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4-58 และภาพที่ 4-59)



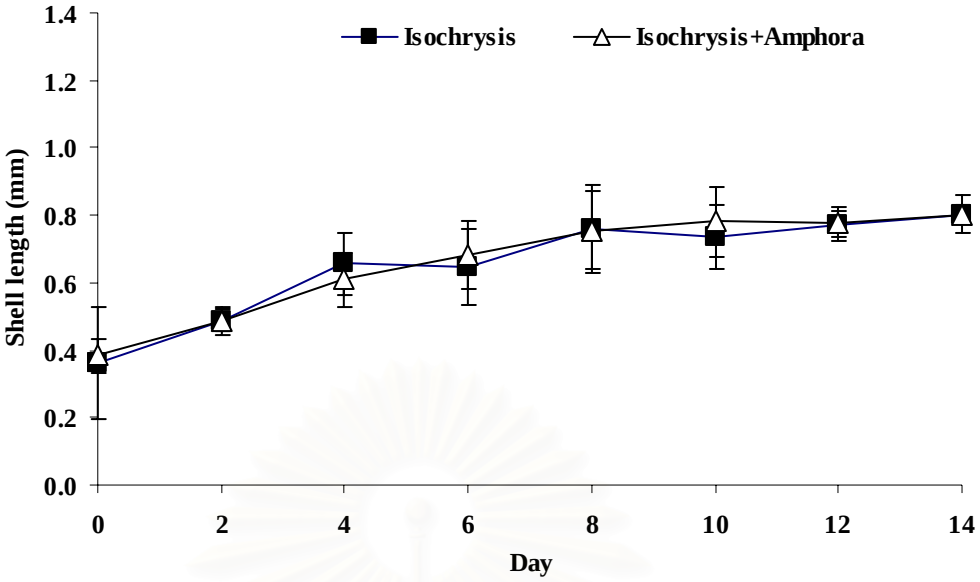
ภาพที่ 4-57 ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในน้ำ ของถังชุดทดลองที่เลี้ยงด้วยสาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ สาหร่าย *Amphora* และถังชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยสาหร่าย *Isochrysis*

ตารางที่ 4-8 จำนวนลูกหอยที่เริ่มเลี้ยงและที่รอดจนถึงระยะลงเกาะ ในถังที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* และใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*

	ถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis*	ถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*
จำนวนลูกหอยทั้งหมดเมื่อเริ่มเลี้ยง (ตัว/ถัง)	25,060±3128	27,612±3491
จำนวนลูกหอยที่รอดถึงระยะลงพื้น (ตัว/ถัง)	1,731±625	3,833±510
% รอดจนถึงระยะลงพื้น	6.90±625	13.88±10.59



ภาพที่ 4-58 การเพิ่มความกว้างเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

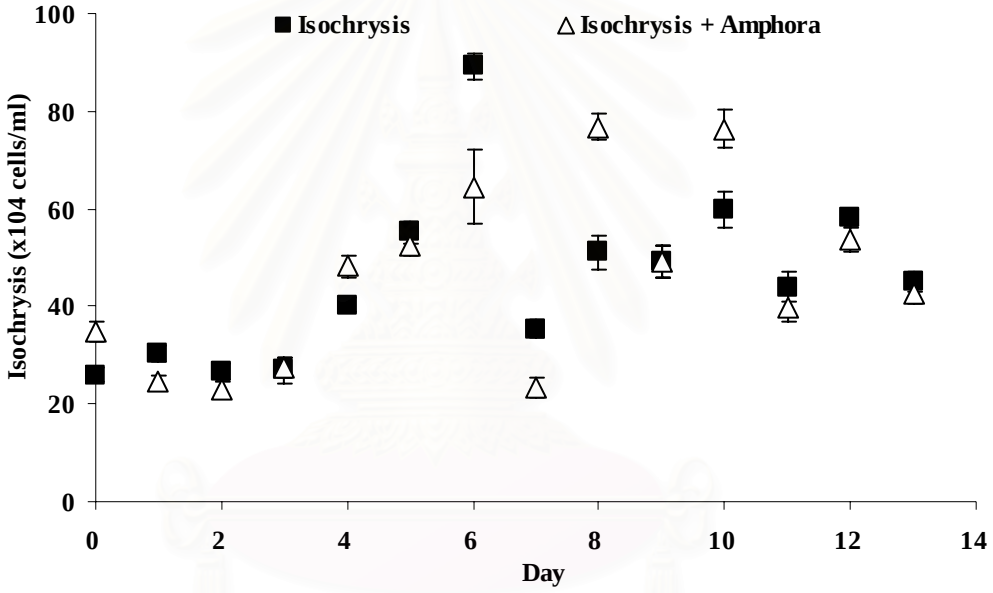


ภาพที่ 4-59 การเพิ่มความยาวเปลือกของลูกหอยระยะ veliger ของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

สำหรับปริมาณแพลงก์ตอนพืชในถังทดลอง การทดลองนี้ได้จัดให้ระบบถังอนุบาลทั้งสองชุดให้ได้รับแสงที่เพียงพอต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยวางถังในที่ที่ได้รับธรรมชาติพร้อมทั้งให้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตลอด 24 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังต้องมีการเติมแพลงก์ตอนพืชที่เลี้ยงในถังผลิตจากภายนอกเพื่อเป็นอาหารในวันที่ 1, 4, 5, 6, 8, 10 และ 11 ของการทดลอง ในปริมาณถังละ 1.5 ลิตร/วัน และในระหว่างการทดลองได้มีการตรวจวัดความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชทุกวันเพื่อควบคุมปริมาณให้ไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละชุดทดลอง โดยผลการตรวจนับพบว่าสาหร่ายในถังทดลองทั้งสองมีความหนาแน่นระหว่าง 22.92-89.22 $x10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร (ภาพที่ 4-61) ซึ่งมีแนวโน้มที่ปริมาณแพลงก์ตอนพืชเพิ่มขึ้นภายในถังทดลอง

ปัญหาที่พบในการอนุบาลในครั้งนี้ก็คือพบการปนเปื้อนของโปรโตซัว โดยแม้ว่าจะได้ทำการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองโดยใช้คลอรีน แต่ไข่หอยที่นำมาจากฟาร์มเลี้ยงหอยหวานมีการปนเปื้อนของโปรโตซัว ดังนั้นในระหว่างการทดลองจึงพบว่ามีโปรโตซัวสกุลซูโอแทมเมียมเกาะติดอยู่กับตัวหอย ทำให้หอยเกิดความรำคาญ และขัดขวางการเคลื่อนที่ ลูกหอยจึงจมลงสู่พื้นถังและตายได้

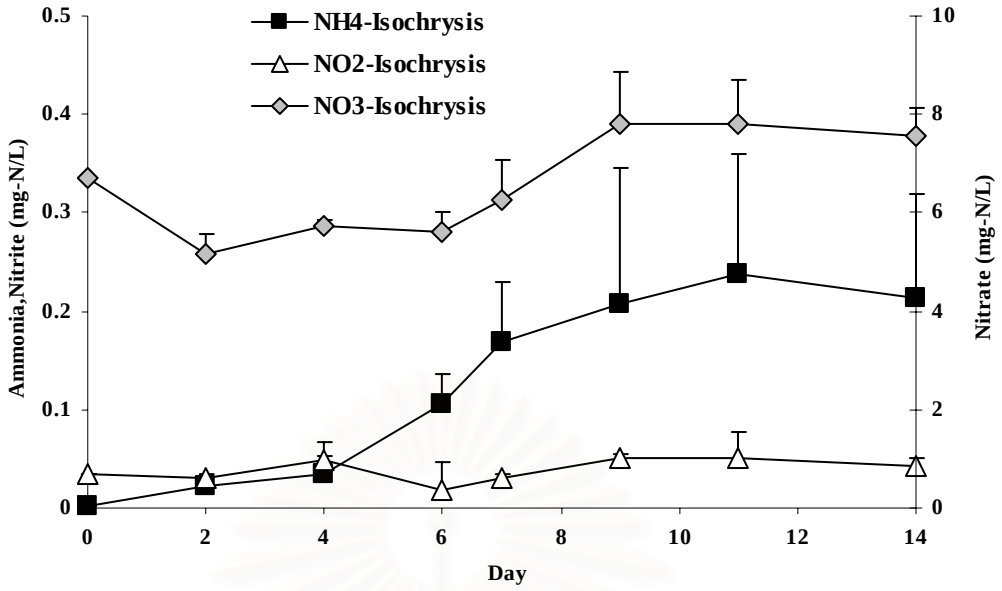
ภาพที่ 4-60 โปรโตซัวซูโอแทมเมียมที่พบเกาะกับตัวลูกหอย



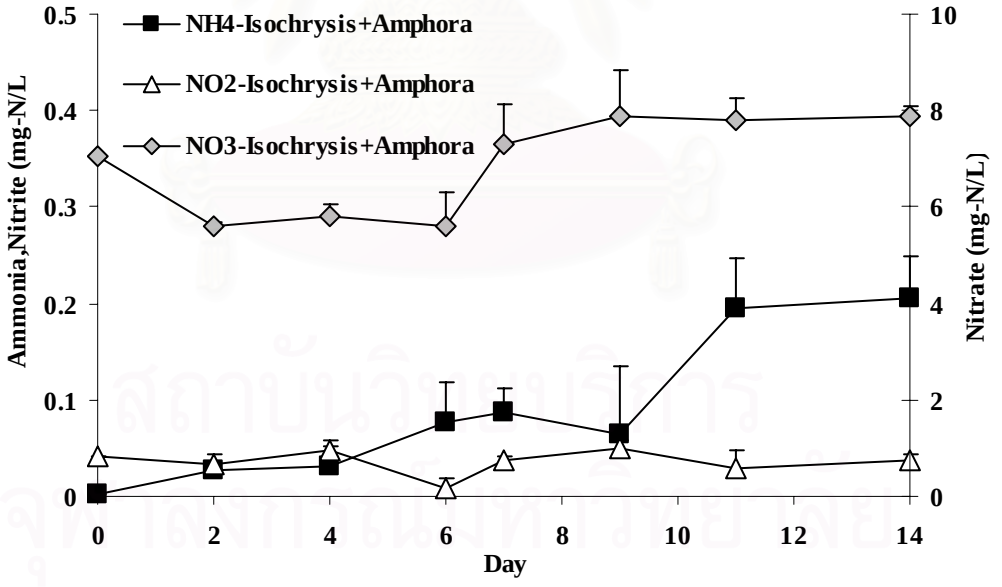
ภาพที่ 4-61 ค่าความหนาแน่นของสาหร่ายของถังชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในชุดทดลอง พบว่าชุดทดลองทั้งสองสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรต์ ได้ดีตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง มีเพียงเอาน้ำออกเพื่อเติมสาหร่ายวันละ 1.5 ลิตร ในวันที่ 1,4,5,6,8,10,11 ของการทดลอง

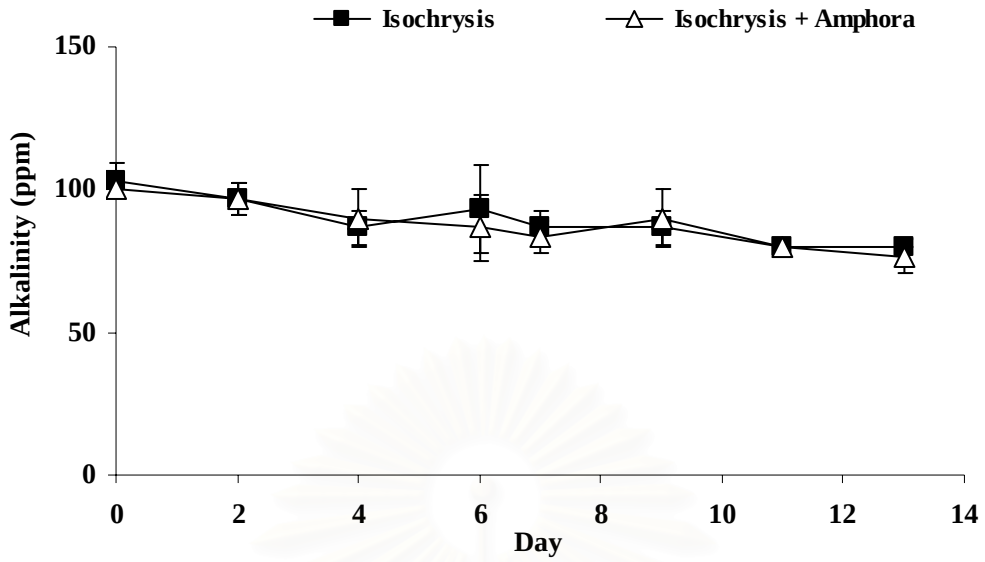
สำหรับค่าอัลคาลินิตีทั้งสามชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าอยู่ระหว่าง 76.7-103.3 ppm และอัลคาลินิตีของน้ำมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการทดลอง (ภาพที่ 4-64) อุณหภูมิในระหว่างการทดลองมีค่า ระหว่าง 24.3-32.6 (ภาพที่ 4-65)



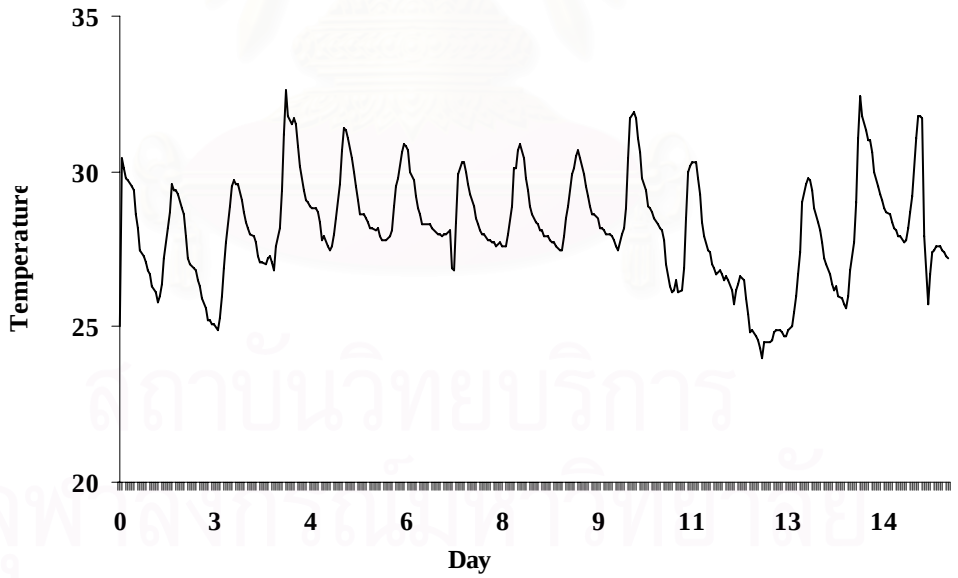
ภาพที่ 4-62 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* เป็นอาหาร



ภาพที่ 4-63 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ของน้ำในถังเลี้ยงลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora*



ภาพที่ 4-64 การเปลี่ยนแปลงค่าอัลคาลินิตี้ในน้ำของถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลอง ที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*



ภาพที่ 4-65 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังอนุบาลลูกหอยชุดทดลองที่ให้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* เป็นอาหาร และชุดควบคุมที่ให้สาหร่าย *Isochrysis*

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำทะเลเพื่อการอนุบาลลูกหอยหวานระยะ veliger ซึ่งเป็นระยะที่ต้องกินสาหร่ายเซลล์เดียวเป็นอาหาร โดยลูกหอยจะดำรงชีวิตเป็นแพลงก์ตอนในน้ำเป็นเวลา 14-16 วัน ก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ลงเกาะกับพื้น และเจริญเติบโตเป็นลูกหอยระยะวัยรุ่น (Jevinile) ต่อไป การจัดการระบบอนุบาลลูกหอยมีประเด็นสำคัญที่ต้องพัฒนาก็คือ การพัฒนาระบบผลิตสาหร่ายเพื่อให้มีสาหร่ายเพียงพอต่อความต้องการของลูกหอย และระบบบำบัด/หมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของลูกหอยและช่วยให้ไม่ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการเลี้ยงได้เป็นอย่างดี

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ในการออกแบบระบบถังอนุบาลลูกหอยหวาน ประกอบด้วย การศึกษาอัตราการกินสาหร่าย และการศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย จากการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* และ *Isochrysis* โดยการให้สาหร่ายในปริมาณที่มากเกินพอต่อความต้องการ พบว่าลูกหอยจะกินสาหร่ายอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาชั่วโมงแรกที่ให้อาหาร และอัตราการกินจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลูกหอยมีอายุมากขึ้น ในขณะที่อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะลงพื้น (อายุ 15 วัน) และเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของลูกหอยอัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* และ *Chaetoceros* กลับลดลง เนื่องจากการเลี้ยงลูกหอยที่ความหนาแน่นสูง ลูกหอยมีโอกาสพบปริมาณสาหร่ายที่อยู่ในน้ำน้อยกว่าการเลี้ยงที่ความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้ลูกหอยกินอาหารได้น้อยกว่า นั่นคือความหนาแน่นของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำมีผลต่ออัตราการกินของลูกหอยด้วย การเลี้ยงลูกหอยที่ความหนาแน่น 330 ตัว/ลิตร ซึ่งเป็นความหนาแน่นปกติ ลูกหอยหวานจะมีอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* และ *Isochrysis* สูงสุดอยู่ระ หว่าง 2.4-6.3 $x10^7$ และ 0.37-3.8 $x10^7$ เซลล์/ลูกหอย/วัน ตามลำดับ โดยอัตราการกินสาหร่ายนี้คำนวณจากข้อมูลในเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง และพบว่าหลังจาก 1 ชั่วโมงลูกหอยจะกินสาหร่ายลดลง (ผลการทดลองหัวข้อ 4.1.1และ 4.1.2) ดังนั้นการคำนวณเมื่อเทียบต่อเวลา 1 วันนั้นจึงเป็นค่าที่สูงกว่าที่จะพบจริงในถังอนุบาล ในขณะที่การเลี้ยงลูกหอยโดยทั่วไปนั้นจะให้สาหร่ายที่ความหนาแน่นเซลล์ประมาณ $1x10^3$-$2x10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Poomtong and Nhongmeesub, 1996; จรัญ และวัลลภ

และคณะ, 2547) ซึ่งความหนาแน่นของสาหร่ายมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับอัตราการกินสาหร่ายจากการคำนวณในการทดลองนี้มาก ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตรารอดที่ได้มีค่าต่ำ

ในส่วนของการศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอย พบว่าลูกหอยมีการขับถ่ายของเสียในรูปแอมโมเนียในอัตราสูงในทุกระยะของการเติบโต โดยลูกหอยที่มีอายุมากขึ้นจะมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองพบว่าอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00014-0.00044 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลูกหอย/วัน หากคำนวณอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในการเลี้ยงลูกหอยความหนาแน่น 400 ตัว/ลิตร พบว่าอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียจะเท่ากับ 0.056-0.176 มก.ไนโตรเจน/ลิตร/วัน ซึ่งจากค่าดังกล่าวจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำจะเพิ่มสูงมากจนถึงระดับที่เป็นอันตรายในเวลาเพียง 1-2 วันหากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ดังนั้นการเลี้ยงลูกหอยหวานระยะ veliger ในระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำควรเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันในปริมาณเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรน้ำในถัง เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณแอมโมเนียให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อลูกหอย

การทดสอบประสิทธิภาพของถังอนุบาลลูกหอยหวานที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำ ในการทดลองที่ 4.2.1 นั้น เป็นการทดลองอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด โดยการใช้ใยกรองชีวภาพ (Biopolyma) ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยไนลอนที่มีความอ่อนนุ่มและมีพื้นที่ผิวมาก ทำหน้าที่เป็นแหล่งยึดเกาะของแบคทีเรียในกระบวนการไนตริฟิเคชัน และมีการเลี้ยงสาหร่ายจากภายนอกระบบมาเติมลงในถังอนุบาล พบว่าชุดทดลองที่มีตัวกรองชีวภาพ สามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรต์ ในถังไว้ได้เป็นอย่างดี แม้ว่าในช่วงแรกของการทดลองปริมาณแอมโมเนียในน้ำจะมีค่าสูง เนื่องมาจากใยกรองชีวภาพ (Biopolyma) ที่มีแบคทีเรียเกาะต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัวกับสภาพแวดล้อม ประมาณ3-4 วัน หลังจากนั้นใยกรองชีวภาพสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียให้มีค่าต่ำได้ตลอดการทดลองโดยที่มีอัตรารอดไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยระบบถังอนุบาลลูกหอยที่มีระบบควบคุมคุณภาพน้ำในการทดลองนี้สามารถลดปริมาณความต้องการน้ำไปได้ 120 ลิตร หรือเท่ากับความต้องการใช้น้ำลดลงถึง 8.5 เท่า

การทดลองใช้ระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยมีการศึกษาอยู่พอสมควร โดยมีการทดลองทดลองระบบบำบัดไนตริฟิเคชันกับสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น ปลากะพงขาว (นภาพร, 2541) ปลาทับทิม (มุฑิตา, 2546), และกุ้งกุลาดำ (สุทธิกาญจน์, 2547; สิริ และชนินทร์, 2541)เป็นต้น ทั้งนี้การบำบัดโดยตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน อาศัยแบคทีเรียสองกลุ่มหลักคือ Ammonium oxidizing bacteria (AOB) และ Nitrite oxidizing bacteria (NOB) ในขั้นแรกเป็นกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไตรต์เกิดโดยแบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) ดังสมการ $NH_4^+ + 1.5O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + 275KJ$ จากนั้นแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) จะเปลี่ยนไนไตรต์ไปอยู่ในรูปไนเตรต ดังสมการ NO_2^- +

$0.5O_2 \longrightarrow NO_3^- + 75KJ$ (Billton, 1994) โดยแบคทีเรียสองกลุ่มนี้ยึดเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุตัวกลาง ดังนั้นหากมีพื้นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียมาก การบำบัดจะเกิดขึ้นได้ดี และนอกจากนี้ต้องยังต้องมีปัจจัยที่สำคัญคือปริมาณออกซิเจน และค่าอัลคาลินิตี แบคทีเรียในกลุ่มนี้จำเป็นต้องดำรงชีวิตในสภาพของน้ำที่มีออกซิเจนและจำเป็นต้องมีแหล่งของคาร์บอน คือไบคาร์บอเนต ในกรณีที่มีออกซิเจนหรือปริมาณแบคทีเรียไม่เพียงพอ จะทำให้การบำบัด เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ควบคุมให้มีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอ และมีการเติม $NaHCO_3$ เพื่อปรับค่าอัลคาลินิตีให้ไม่ต่ำกว่า 110 ppm ซึ่งเป็นการจัดสภาวะแวดล้อมในถังอนุบาลให้เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน จากการสำรวจเอกสารพบว่าการออกแบบระบบบำบัดของถังหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันนั้นมีหลากหลายรูปแบบ โดยที่นิยมใช้กันมากคือแบบตัวกรองจมน้ำอยู่กับที่ (fixed bed submerge filter) เช่นในงานวิจัยของ Grommen *et.al*. (2006); Tseng and Wu (2004); Ridha, and Cruz (2001) แบบโปรยกรอง (Trickling filter) เช่นงานวิจัยของ Arbiv and van Rijn (1995); Twarowska *et.al*. (1997); Barak *et.al*. (2003) อีกรูปแบบหนึ่งคือแบบตัวกรองเคลื่อนที่ (fluidized bed) ซึ่งพบว่าจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง (Sen and Dentel, 1998) ทั้งนี้การเลือกใช้รูปแบบของระบบบำบัดจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบเป็นสำคัญ

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้รูปแบบของตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันแบบตัวกรองจมน้ำอยู่กับที่โดยใช้ตัวกรองแบบเส้นใย biopolyma ในการทดลองหัวข้อ 4.2.1 และแบบตัวกรองเคลื่อนที่โดยใช้วัสดุกรองพลาสติก BCN-009 ในการทดลองหัวข้อ 4.2.2-4.2.4 ซึ่งทั้งสองรูปแบบมีกระบวนการบำบัดเหมือนกันก็คือการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน แต่มีความแตกต่างในเรื่องการใช้งาน โดยตัวกรองแบบเส้นใยนั้นมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากและใช้งานง่าย แต่การนำมาใช้กับระบบถังอนุบาลจะพบปัญหาจากการเกาะติดของสาหร่ายที่เส้นใยตัวกรองเนื่องจากแม้จะมีการกั้นส่วนของระบบกรองกับส่วนเลี้ยงลูกหอยด้วยผ้ากรอง แต่ผ้าดังกล่าวไม่สามารถกั้นเซลล์ของสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีขนาดเล็กมากได้ ในขณะที่ตัวกรองแบบเคลื่อนที่ซึ่งในที่นี้ใช้ตัวกรองพลาสติก BCN-009 นั้นมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ต้องมีการควบคุมการให้อากาศในถังบำบัดให้แรงเพียงพอเพื่อให้ตัวกรองมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

การทดลองในหัวข้อ 4.2.2 และ 4.2.3 ได้ปรับเปลี่ยนตัวกรองชีวภาพมาเป็นแบบตัวกรองเคลื่อนที่โดยใช้วัสดุตัวกรองพลาสติก BCN-009 มาทำการเตรียมสภาพตัวกรองล่วงหน้าก่อนนำมาบรรจุในถังบำบัด และได้ออกแบบให้ถังอนุบาลลูกหอยหวานระยะ veliger มีระบบหมุนเวียนน้ำที่ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 5 ส่วน คือ 1) ส่วนเลี้ยงสาหร่ายมีขนาดความจุน้ำ 12 ลิตร ภาชนะด้านบนปิดสนิท ประกอบด้วยท่ออากาศเข้า ท่ออากาศออก ท่อเติมอาหาร และท่อสาหร่ายออก สาหร่ายจะถูกส่งเข้าสู่ 2) ถังเลี้ยงหอยที่มีขนาดความจุน้ำ 15 ลิตร หลังจากปล่อยให้ลูกหอยกรองกินสาหร่ายประมาณ 2-3 ชั่วโมง จึงปล่อยให้น้ำจากระบบเลี้ยงหอยส่งผ่านสู่ 3) ระบบบำบัดที่มีขนาดความจุน้ำ 6 ลิตร ซึ่งภายในระบบประกอบด้วย ตัวกรองชีวภาพแบบ fluidized bed ซึ่งแอมโมเนียในน้ำจะถูก

บำบัดให้ลดลงในส่วนนี้โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน หลังจากนั้นน้ำจากส่วนบำบัดจะเข้าสู่ 4) ส่วนถังตกตะกอนที่มีขนาดความจุน้ำ 6 ลิตร เพื่อลดปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจะเข้าสู่ส่วนสุดท้าย 5) ที่เป็นถังเตรียมอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายที่มีขนาดความจุน้ำ 6 ลิตร ซึ่งจะมีการผสมอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายชนิดเข้มข้นเข้ากับน้ำทะเลที่ผ่านการบำบัดมาแล้ว ในที่สุดอาหารเพาะเชื้อจะถูกส่งกลับเข้าสู่ถังเลี้ยงสาหร่ายอีกครั้ง ผลจากการทดลองพบว่ามีความเป็นไปได้และสามารถนำมาใช้อนุบาลลูกหอยให้มีการรอดชีวิตจนถึงระยะลงเกาะโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเข้าและออกจากระบบ โดยผลการทดลองในถังขนาด 15 ลิตรของการทดลองในหัวข้อ 4.2.3 ก็ได้ผลที่ดีมากเช่นกัน โดยในการทดลองดังกล่าวลูกหอยมีอัตราการรอดสูงกว่า 10% ซึ่งเป็นอัตรารอดที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่พบทั่วไปซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 5.44-25.50% (ปริญญา และสุพิศ, 2549) และใกล้เคียงกับการศึกษาของ บังอร และคณะ (2548) ที่อนุบาลลูกหอยตั้งแต่ระยะ veliger จนถึงระยะลงพื้นที่อายุ 60 วัน ได้อัตรารอดตั้งแต่ 8.59-11.20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริญญา และสุพิศ (2549) อนุบาลลูกหอยตั้งแต่ระยะveliger จนถึงระยะลงพื้นได้อัตรารอดเฉลี่ยสูงสุด 25.50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเปรียบเทียบอัตราการรอดของลูกหอยหวานในฟาร์มเอกชนทั่วไปนั้นไม่มีการนับจำนวนหรือเก็บข้อมูลอย่างจริงจัง สำหรับอัตราการรอดของการอนุบาลลูกหอยฝาเดียวชนิดอื่น เช่น ลูกหอยสังข์ *Strumbus luhuanus* ที่มีการเลี้ยงด้วยสาหร่ายต่างชนิด จะมีอัตราการรอดอยู่ระหว่าง 1.5-10% ในระยะเวลาการเลี้ยง 6-12 วัน (Wiedemeyer, 1998) ทั้งนี้อัตราความหนาแน่นของลูกหอยที่เลี้ยงนั้นมีส่วนสำคัญ เนื่องจากมีรายงานว่าความหนาแน่นของลูกหอยมีผลต่ออัตราการรอดและการพัฒนาเปลี่ยนรูปร่างของลูกหอยสกุล *Babylonia* (Shieh and Liu, 1999) การทดลองของนิพนธ์ และจรัญ (2543) ที่ทำการอนุบาลลูกหอยระยะวัยอ่อนที่ระดับความหนาแน่น 50-600 ตัวต่อลิตร พบว่าได้อัตรารอดตายเท่ากับ 1.91-4.62 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเลี้ยงด้วยความหนาแน่นสูงกว่า 600-1,000 ตัวต่อลิตร จะได้อัตรารอดต่ำกว่าคือเท่ากับ 0.60-0.62 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การเลี้ยงที่ความหนาแน่นต่ำลูกหอยสามารถเข้าสู่ระยะลงพื้นได้เร็วกว่าการเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาของ Shieh และ Liu (1999) ที่อนุบาลลูกหอยหวานชนิด *Babylonia formosae* ที่ระดับความหนาแน่น1,000, 2,000, 4,000 และ 8,000 ตัวต่อลิตร พบว่าการอนุบาลลูกหอยที่ความหนาแน่นสูงกว่าสามารถกระตุ้นให้ลูกหอยระยะวัยอ่อนพัฒนาและเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นระยะลงพื้นได้เร็วกว่า และให้อัตรารอดตายสูงกว่า โดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ยเพียง 3.21 วัน ดังนั้นการปรับความหนาแน่นของลูกหอยให้เหมาะสม ไม่มากและน้อยจนเกินไปก็อาจเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มอัตราการรอดได้

ผลการทดลองขยายขนาดถังเลี้ยงเป็นขนาด 100 ลิตร ในหัวข้อ 4.2.4 ได้อัตรารอดต่ำกว่าการทดลองในถังกระจกขนาด 15 ลิตรอยู่มาก เนื่องจากการเลี้ยงในถังขนาดใหญ่ทรงสูง ทำให้การทำงานไม่สะดวก การดูแลและการจัดการทำได้ยากกว่าในถังขนาดเล็ก อีกทั้งเกิดการปนเปื้อนของโคพีพอดและโปรโตซัวในถังอนุบาล (ภาพที่ 4-43 และ 4-61) ซึ่ง Lewis *et al.* (1986) ได้สรุป

สาเหตุสำคัญ 4 ประการที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากแบคทีเรีย ในการทำงานของโรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่คือ 1) น้ำทะเลที่ใช้ในการอนุบาลลูกหอย 2) แพลงก์ตอนพืชที่ใช้เป็นอาหาร 3) วัสดุที่ใช้ในการอนุบาลลูกหอย 4) พ่อแม่พันธุ์ การทดลองนี้ได้มีการฆ่าเชื้อในน้ำโดยคลอรีน แต่ในขั้นตอนการนำฝักไข่ของหอยมาจากฟาร์มเพาะพันธุ์นั้น ไม่ได้มีการฆ่าเชื้อโรคก่อนนำเข้าสู่ระบบเลี้ยง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ลูกหอยเกิดการปนเปื้อน ในขณะที่การทดลองของ นิพนธ์ และจรัญ (2543) มีการฆ่าเชื้อฝักไข่ก่อนการอนุบาล จึงไม่พบว่ามีโปรโตซัวชนิดซัวซูโอแทมเมียม ในระหว่างการอนุบาล

การวิจัยนี้ได้ปรับปรุงส่วนประกอบของระบบโดยเน้นประสิทธิภาพในการทำงาน และยังคำนึงถึงการเลือกใช้ส่วนประกอบต่างๆ ที่ไม่ซับซ้อนและราคาไม่แพง การปรับเปลี่ยนระบบบำบัดตัวกรองชีวภาพมาใช้รูปแบบตัวกรองชีวภาพเคลื่อนที่ (Fluidized biofilter) แทนที่จะใช้ตัวกรองชีวภาพแบบติดนิ่ง (Fixed biofilter) ที่มีใช้กันโดยทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากระบบ Fluidized biofilter มีประสิทธิภาพสูงและมีการจัดการง่ายกว่า และนอกจากนี้ในการทดลองในถังขนาด 100 ลิตรได้นำเอาตัวกรองชีวภาพรวมอยู่ในถังอนุบาลลูกหอย แทนที่จะต้องสูบน้ำออกไปเข้าถังบำบัดภายนอก นับเป็นแนวทางที่ได้ผลดี โดยจะช่วยลดภาระงานและต้นทุนค่าสร้างระบบและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบลงได้มาก และยังมีประสิทธิภาพดีง่ายต่อการใช้งาน ดังจะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำภายในถังอนุบาลลูกหอยยังคงมีสภาพดี มีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรต์อยู่ในระดับที่ปลอดภัยตลอดการทดลอง

การอนุบาลลูกหอยหวานระยะ veliger ด้วยสาหร่ายผสมระหว่างสาหร่ายสองชนิดคือ *Isochrysis* และ *Amphora* นับเป็นแนวทางใหม่ที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากในงานวิจัยของ Poomtong and Nhongmeesub (1996) อนุบาลลูกหอยโดยใช้สาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Chaetoceros*ในอัตราส่วน 1:1 ได้อัตรารอดของลูกหอยจนถึงระยะลงพื้นเฉลี่ยเท่ากับ 13.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการให้สาหร่ายมากกว่าหนึ่งชนิดร่วมกันทำให้ได้คุณค่าทางอาหารสูงกว่าการให้สาหร่ายชนิดเดียว (Webb and Chu, 1983) จึงอาจส่งผลทำให้ได้อัตรารอดที่สูงขึ้นด้วย สมมติฐานของการใช้สาหร่ายผสมก็คือการที่มีสาหร่าย *Amphora delicatissima* สายพันธุ์ AM9901 (ชมพูนุท และคณะ, 2545) ซึ่งเป็น diatom ที่ดำรงชีวิตได้ทั้งแบบล่องลอยในน้ำ (planktonic) และเกาะติดกับพื้น (benthic) ไดอะตอมนี้นอกเหนือจากการเป็นอาหารของลูกหอยแล้วยังจะช่วยครอบครองบริเวณผิวของพื้นถัง โดยสามารถเติบโตได้ในถังที่ปิดมืด ลดปัญหาการเติบโตของจุลินทรีย์ไม่พึงประสงค์ในบริเวณผนังของถังเลี้ยงได้ นอกจากนี้การใช้สาหร่ายผสมนั้นไม่จำเป็นต้องแยกการเลี้ยงสาหร่ายแต่ละชนิดออกจากกัน โดยงานวิจัยของมะลิวัลย์และคณะ (2548) แสดงให้เห็นว่าสามารถเลี้ยงสาหร่าย *Tetraselmis* และ *Amphora* ร่วมกันในถังเลี้ยงเดียวกันได้ ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้ก็ได้เลี้ยงสาหร่าย *Isochrysis* ร่วมกับ *Amphora* พบว่าได้ผลดีเช่นเดียวกัน ในปัจจุบันมีการนำไดอะตอมชนิดเกาะติดมาร่วมกับการอนุบาลลูกสัตว์น้ำ เช่น ใช้ควบคุมคุณภาพน้ำในการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำ

(Khatoon *et al.,* 2007; Thompson *et al.,* 2002) โดยไดอะตอมจะช่วยลดปริมาณแอมโมนีย และฟอสเฟตในน้ำได้

การนำสาหร่าย *Isochrysis* มาใช้ในการทดลองนี้ เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้ เลี้ยงง่าย โตเร็ว เซลล์มีขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้ในการอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน และที่สำคัญมีคุณค่าทางอาหารสูง เนื่องจากมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของอนุรักษ์ ที่ทดลองเลี้ยงลูกหอยหวานด้วยอาหารต่างชนิด พบว่าการใช้สาหร่าย *Isochrysis* และ *Chaetoceros* มีการเติบโตดีที่สุด เนื่องจากสาหร่ายทั้งสองชนิดมีคุณค่าทางอาหารสูง (Meley and Daintith, 1992)

จากผลการทดลองอนุบาลลูกหอยในระบบปิดที่มีระบบเติมสาหร่ายและระบบบำบัดน้ำ สรุปได้ว่าระบบตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชันสามารถควบคุมคุณภาพน้ำของถังอนุบาลลูกหอยให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ โดยที่อัตรารอดและการเจริญเติบโตของลูกหอยก็ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม ในขณะที่ชุดควบคุมต้องใช้น้ำในการเปลี่ยนถ่ายน้ำถึงเกือบ 4 เท่าของปริมาตรน้ำของถังอนุบาล

ปัญหาการผลิตสาหร่ายไม่เพียงพอยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการขาดอาหารของลูกหอยจะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนรูปร่าง (metamorphosis) ของหอยในสกุล *Babylonia* โดยลูกหอยที่ให้อาหารตั้งแต่ที่ฟักออกมาจากฝักไข่จะมีอัตราการเติบโตด้านความยาวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 49.77 ไมครอนต่อวัน สามารถพัฒนาเป็นระยะลงพื้นได้ 53.75 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาเพียง 11.5 วัน ส่วนลูกหอยที่ให้อาหารหลังจากฟักออกมาจากฝักไข่ 96 ชั่วโมง (4 วัน) มีอัตราการเติบโตด้านความยาวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 12.49 ไมครอนต่อวัน ซึ่งต้องใช้เวลาของการพัฒนาจากระยะเวลลิเจอร์ถึงระยะลงพื้นถึง 20 วัน ส่วนลูกหอยที่เริ่มให้อาหารหลังจากฟักออกจากฝักไข่ 108 ชั่วโมง(4.5 วัน)นั้นมีอัตราการเติบโตด้านความยาวเฉลี่ยเพียง 11.13 ไมครอนต่อวัน และระยะเวลลิเจอร์จะตายหมดหลังจากอนุบาลได้ 10 วันเท่านั้น (Zheng *et al*., 2005) ดังนั้นข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบอนุบาลลูกหอยในระยะต่อไป ก็คือควรพัฒนาไปสู่การอนุบาลลูกหอยด้วยสาหร่ายเข้มข้นที่ผ่านการเตรียมและเก็บรักษาไว้ล่วงหน้า ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการผลิตสาหร่ายที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกหอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับระบบการผลิตสาหร่ายที่ต้องพึ่งพาแสงจากธรรมชาติที่มีผลผลิตไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพฤดูกาล การผลิตสาหร่ายเข้มข้นจะทำโดยการผลิตสาหร่ายปริมาณมาก (mass culture) และทำการกรองเก็บเซลล์ให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น 50-100 เท่า และเก็บรักษาสาหร่ายเข้มข้นไว้ในที่เย็น สามารถนำสาหร่ายมาเติมลงในถังอนุบาลลูกหอยได้ตลอดเวลาเมื่อต้องการ นอกจากนี้ควรมีการพัฒนารูปแบบของถังอนุบาลระบบปิดที่จะใช้เลี้ยงลูกหอยตั้งแต่ระยะ veliger เข้าสู่ระยะลงเกาะและอนุบาลต่อจนถึงอายุ 1 เดือน โดยจะหมุนเวียนน้ำอยู่ภายในระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งหากประสบความสำเร็จจะช่วยลดความต้องการน้ำในการอนุบาลและเลี้ยงลูกหอย ตลอดจนพัฒนาระบบขึ้นเป็นรูปแบบของไบโอซีเคียว (Biosecure) ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตลูกหอยปลอดโรคและมีคุณภาพสูง

ส่วนการอนุบาลลูกหอยหวานโดยพยายามทำให้เกิดการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชตามธรรมชาติภายในถังเลี้ยง โดยการเพิ่มแสงด้วยหลอดไฟตลอด 24 ชั่วโมงในการทดลอง หัวข้อ 4.2.5 นั้น ไม่สามารถทำให้เกิดการเติบโตของสาหร่ายได้อย่างรวดเร็ว อาจเนื่องมาจากปริมาณความเข้มแสงไม่เหมาะสม และนอกจากนี้ยังต้องอาศัยปัจจัยจากสภาพแวดล้อมภายนอกอีกหลายประการ ซึ่งระบบการอนุบาลในถังเลี้ยงที่มีการให้แสงอย่างเพียงพอจะส่งผลให้สาหร่ายเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากลูกหอยจะมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกสู่น้ำตลอดเวลา และเพิ่มมากขึ้นตามอายุของลูกหอยที่เพิ่มขึ้น (จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.3) ในขณะเดียวกันเมื่อให้สาหร่ายในถังอนุบาลลูกหอยที่มีแสง สาหร่ายส่วนหนึ่งจะถูกลูกหอยกิน และส่วนที่เหลือจะเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น เนื่องจากสาหร่ายใช้แอมโมเนียในน้ำในการเติบโตและเพิ่มจำนวน ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียในน้ำจึงมีค่าต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองของ Thompson *et al.* (2002) ที่ใช้ไดอะตอมในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง ซึ่งระบบการให้แสงจะช่วยลดการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และลดความต้องการสาหร่าย ทำให้การเตรียมระบบง่ายขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ระบบหมุนเวียนน้ำที่มีการบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน ซึ่งระบบตัวกรองชีวภาพนี้จะเกิดการสะสมของไนเตรต ในขณะที่ระบบการเลี้ยงที่มีการให้แสง ไม่เกิดการสะสมของ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตในระบบ โดยที่การทดลองนี้ลูกหอยมีอัตราการรอดเท่ากับ 6.90% และ13.88 % ซึ่งสูงกว่าการศึกษาของ นิพนธ์ และจรัญ (2543) ที่เลี้ยงลูกหอยโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และได้อัตารอดเท่ากับ 4.62-2.55% จะเห็นได้ว่ารูปแบบของระบบหมุนเวียนน้ำในแต่ละรูปแบบจะมีข้อดี และข้อด้อยแตกต่างกันไป การเลือกใช้หรือเลือกระบบไปพัฒนาต่อนั้นจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้เป็นสำคัญ

สรุปผลการทดลอง

1. ลูกหอยจะกินสาหร่ายอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาชั่วโมงแรกที่ให้อาหาร และอัตราการกินจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลูกหอยมีอายุมากขึ้น การเลี้ยงลูกหอยที่ความหนาแน่น 330 ตัว/ลิตร มีอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* และ *Isochrysis* สูงสุดอยู่ระหว่าง 2.4-6.3 x10^7 และ 0.37 -3.8 x10^7 เซลล์/ลูกหอย/วัน ตามลำดับ การเลี้ยงลูกหอยด้วยความหนาแน่นสูง ส่งผลให้อัตราการกินมีค่าลดลง

2. การศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00014-0.00044 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลูกหอย/วัน โดยลูกหอยที่มีอายุมากขึ้นจะมีการอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น

3. การทดลองอนุบาลลูกหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ 1) ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสงสำหรับผลิตสาหร่าย 2) ถังเลี้ยงลูกหอย 3) ถังตัวกรองชีวภาพแบบตัวกรองเคลื่อนที่ 4) ถังตกตะกอน และ5) ถังเตรียมอาหารเพาะเชื้อสาหร่าย พบว่าลูกหอยมีอัตราการรอดไม่แตกต่างจากการเลี้ยงในระบบที่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (อัตราการรอด4.58% และ 4.34% ตามลำดับ) และสามารถนำน้ำทะเลที่ผ่านการใช้เลี้ยงหอยนำไป

บำบัดและหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก จึงเป็นการเลี้ยงในระบบปิดที่ไม่จำเป็นต้องมีการถ่ายน้ำทิ้งตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

4. การเลี้ยงลูกหอยในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ 1) ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสงสำหรับผลิตสาหร่าย 2) ถังเลี้ยงลูกหอย 3) ถังตัวกรองชีวภาพแบบตัวกรองเคลื่อนที่ 4) ถังตกตะกอน และ5) ถังเตรียมอาหารเพาะเชื้อสาหร่าย เปรียบเทียบกับการเลี้ยงในถังที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทั้งในสภาวะที่ได้รับแสงและในถังที่ปิดมืด พบว่ามีอัตราการรอดเฉลี่ย12.78±2.09%, 8.75±1.6% และ 11.25±2.2% ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าระบบหมุนเวียนน้ำสามารถให้ผลการอนุบาลที่ดีโดยสามารถลดความต้องการใช้น้ำรวมตลอดการอนุบาลลงต่ำกว่าระบบที่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน

5. การที่ถังอนุบาลลูกหอยได้รับแสง จะทำให้เกิดการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในถังเลี้ยง ซึ่งแพลงก์ตอนพืชจะมีการนำของเสียโดยเฉพาะแอมโมเนียไปใช้ในการเติบโต การเลี้ยงลูกหอยในถังที่ได้รับแสงจึงช่วยให้มีปริมาณแอมโมเนียต่ำและไม่จำเป็นต้องเติมสาหร่ายเพิ่มลงในน้ำหากในน้ำยังมีสาหร่ายเหลือเพียงพอต่อความต้องการของลูกหอย แต่จะต้องมีการดูแลไม่ให้เกิดการตายของแพลงก์ตอนพืชในถังซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงได้

6. การขยายขนาดของระบบขึ้นเป็นถังขนาด 100 ลิตร โดยเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลลูกหอยหวานด้วยสาหร่าย *Isochrysis* เพียงชนิดเดียว กับการอนุบาลลูกหอยด้วยสาหร่ายผสมระหว่าง *Isochrysis* และ *Amphora delicatissima* พบว่าการใช้สาหร่ายผสมลูกหอยมีอัตราการรอด 1.14% และ 0.77 % ซึ่งสูงกว่าถังทดลองที่ใช้สาหร่าย *Isochrysis* เพียงอย่างเดียวซึ่งมีอัตราการรอด 0.43% และ 0.39% แต่ผลการทดลองที่ได้นี้ยังมีอัตราการรอดไม่สูงเนื่องจากระบบเกิดการปนเปื้อนด้วยโคพีพอด ทำให้สาหร่ายที่มีในถังไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกหอย

7. การทดลองอนุบาลลูกหอยหวานในระบบถังเลี้ยงที่มีการให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง สามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรต์ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อลิตรได้โดยที่ลูกหอยมีอัตราการรอดระหว่าง 6-13 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. การอนุบาลลูกหอยหวานจากระยะ veliger จนถึงระยะลงพื้นยังคงมีอัตราการรอดที่ต่ำ การวิจัย คิดค้น และพัฒนาเพื่อปรับปรุงวิธีการอนุบาลลูกหอยให้ได้อัตรารอดที่สูงขึ้น และลดต้นทุนในการเลี้ยง โดยการเลี้ยงด้วยระบบปิดนั้นเป็นแนวทางที่น่าสนใจ แต่จะต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลหลายๆด้าน โดยเฉพาะทางด้านต้นทุนการผลิตควบคู่กับอัตรารอดของลูกหอย

2. ระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อการอนุบาลลูกหอยหวานโดยใช้ตัวกรองชีวภาพไนตริฟิเคชัน เป็นระบบที่ใช้งานง่ายแต่จะต้องมีขั้นตอนการเตรียมระบบอย่างเหมาะสม สำหรับรูปแบบระบบบำบัด

ชนิดอื่น เช่น การใช้สาหร่ายทะเลเพื่อลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำนั้นเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าจะมีการศึกษาในอนาคต

3. การผลิตสาหร่ายให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกหอยเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ แนวทางที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาไปแล้วก็คือการใช้ระบบผลิตสาหร่ายแบบต่อเนื่อง (continuous culture) ในอนาคตการเตรียมสาหร่ายให้เพียงพออาจพัฒนาไปเป็นการเตรียมเซลล์สาหร่ายเข้มข้นเก็บรักษาไว้เพื่อนำมาเติมลงในถังอนุบาลลูกหอย แทนที่จะใช้สาหร่ายสดจากถังเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งจะต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองต่อไป

4. ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายที่มีการเติบโตตามธรรมชาติภายในถังเลี้ยงที่ได้รับแสง จะช่วยควบคุมคุณภาพน้ำภายในถังอนุบาลและยังช่วยลดความต้องการในการเติมสาหร่ายเพิ่มลงในถัง ดังนั้นแนวทางการพัฒนาระบบถังอนุบาลลูกหอยที่มีความเข้มแสงที่เหมาะสม ร่วมกับระบบที่จะช่วยควบคุมปริมาณสาหร่ายให้เหมาะสมจึงมีความเป็นไปได้เช่นกัน

5. ควรขยายขนาดของถังทดลองไปสู่ระดับที่สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์ ซึ่งควรมีขนาดประมาณ 100 ลิตร แต่รูปแบบของถังอนุบาลยังคงต้องมีการปรับปรุง โดยเฉพาะรูปแบบของถังที่จะช่วยให้สังเกตลูกหอยที่ลงเกาะพื้นได้ง่าย

6. การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ควรที่จะมีการพัฒนาไปสู่การเพาะเลี้ยงของโรงเพาะฟักที่ใหญ่ขึ้น เพื่อจะได้ศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

7. ควรทำการทดลองเสริมระบบการกรองแบบ โปรตีนสกิมเมอร์ เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพของโปรตีนสกิมเมอร์จะเพิ่มขึ้น หากมีการเติมโอโซนเพิ่มเข้าไปด้วย นอกจากนี้โปรตีนสกิมเมอร์สามารถช่วยผสมแก๊สลงไปในน้ำและระเหยแก๊สที่ไม่พึงประสงค์ออกจากน้ำได้บางส่วน

8. ในขั้นตอนของการเตรียมฝักไข่ ควรที่จะมีการกักกั้นและกำจัดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนเพื่อป้องกันโปรโตซัวชนิดซูโอแทมเนียมมาเกาะตามวีลัมของลูกหอย ซึ่งอาจช่วยลดสาเหตุที่ทำให้ลูกหอยตายเป็นจำนวนมากได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย (waste water treatment). พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.

คณิตไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คเชนทร เฉลิมวัฒน์. 2544. การเพาะเลี้ยงหอย. กรุงเทพฯ: รั้วเขียว. 253 หน้า.

จรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ, วัลลภ ทิมดี และสมพิศ พรรณา. 2547. ชีววิทยาบางประการและการเลี้ยงหอยหวาน [online] Distributor :NICA Internet Department. Available from www.nicaonline.com [*2549 สิงหาคม 7*].

จินตนา นักระนาด.นภดล ภูวพานิช และ กัณจนี พรหมจินดา. 2549. ประสิทธิภาพของระบบอนุบาลแบบต่างๆในการอนุบาลลูกหอยสองฝาวัยเกล็ด. การประชุมวิชาการประมง ประจำปี 2549. กรมประมง. หน้า 36-40.

จินตนา นักระนาด, ทิพาพร ไตรทอง และกัญจนี พรหมจินดา. 2551. เทคนิคการอนุบาลลูกหอยมือเสือ *Tridacan squamosa* ในการผลิตปริมาณมาก.บทคัดย่อผลงานวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง.กรมประมง ปี 2540-2548.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2535. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ฐานเศรษกิจการพิมพ์.

โชคชัย เหลืองธุวปราณีต. 2548. หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : Forepace Publishing House.

ชมพูนุท ชัยรัตนะ, สรวิศ เผ่าทองศุข และสมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล. 2545. การเติบโตของไดอะตอม *Amphora delicatissima* ในที่มืดภายใต้สภาวะการเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(2): 205-212.

ทรงชัย สหวัชรินทร์. 2536. คู่มือการเพาะเลี้ยงหอยนางรม. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรมประมง. 48 หน้า.

ธานินทร์ สิงหะไกรวรรณ. 2539. การศึกษาชีววิทยาบางประการของหอยหวานในบ่อเลี้ยงเพื่อการผลิตพันธุ์สำหรับปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ.เอกสารวิชาการฉบับที่ 57. ศูนย์พัฒนาการประมงทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันออก. กองประมงทะเล. กรมประมง. 42 หน้า.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์. 2545. การใช้สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นภาพร กิตติมศักดิ์. 2541. การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่มีตัวกรองชีวภาพแบบไบโอดรัมและแบบใต้น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ ศิริพันธ์ และจรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ. 2543. การเพาะฟักหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link 1870). สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดชลบุรี กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ร่วมกับสำนักวิชาการกรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 46 หน้า.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และอนุตร กฤษณะพันธ์. 2545. คู่มือการเพาะเลี้ยงหอยหวานหลักการและแนวปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 110 หน้า.

บังอร ศรีมุกดา, สุรชาติ ฉวีภักดิ์ และวริษฐา หนูปิ่น.2548. การผลิตลูกหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link 1870) เชิงพาณิชย์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 24/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี, สำนักวิจัยและพัฒนาชายฝั่ง, กรมประมง. 34 หน้า.

ปริญญา สุทธินนท์ และสุพิศ แย้มเกษม. 2549. การอนุบาลลูกหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link 1870) จากระยะวัยอ่อนถึงระยะลงพื้นด้วยอาหารมีชีวิตชนิดต่างๆ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 24/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. กรมประมง. 34 หน้า.

ปริญญา สุทธินนท์. 2550. การอนุบาลลูกหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link 1870) จากระยะวัยอ่อนถึงระยะวัยรุ่นด้วยวิธีต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ. 104 หน้า.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. กรุงเทพ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 8. 318 หน้า.

มะลิวัลย์ คุตะโค, สุนิตย์ ยืนทน, เบญจวรรณ ชิวปรีชา และสรวิศ เผ่าทองศุข (2548) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Tetraselmis suecica* ร่วมกับไดอะตอม *Amphora delicatissima*. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 43 วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2548, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 4 สาขาประมง หน้า 309-317.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางประมง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 117 หน้า.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์

มุฑิตา วุฒิกัมพล. 2546. ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงปลาทับทิม *Oreochromis niloticus* ระบบปิดในบ่อดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลือชัย ดรุณชู และฐิติมา ทองศรีพงษ์. 2547. การอนุบาลหอยหวาน *Babylonia areolata* Link 1870 ระยะ Veliger ที่เสริมด้วยไรน้ำเค็ม. เอกสารวิชาการฉบับที่ 57/2547. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง.กรมประมง. 12 หน้า.

วันทนา อยู่สุข. 2541. หอยทะเล. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สรวิศ เผ่าทองศุข. 2549. วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก. ในคู่มือการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก.27-31 มีนาคม 2549 ณ สถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : หน้า 46-54.

สาธิต โกวิทวที. 2550. การอนุบาลลูกหอยมุกน้ำจืดในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด. เอกสารประกอบการสัมนาเรื่อง นวัตกรรมและทิศทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในประเทศไทย. สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ โรงแรมมิราเคิล คอนเวชั่น หน้า 1-13.

สิริ ทุกข์วินาศ และชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2541. การศึกษาวิจัยบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยระบบ Bio-Filter. วารสารการประมง. 51(พฤศจิกายน-ธันวาคม 2541) : 535-540.

สุชาติ อุปถัมภ์, มาลียา เครือตราชู, เยาวลักษณ์ จิตรารามวงศ์ และ ศิริวรรณ จันทเตมีย์. 2538. สังขวิทยา. ครั้งที่ 1. ศักดิ์โสภาการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

สุทธิกาญจน์ สุทธิ. 2547. ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนุรักษ์ บางแสน. 2545.การเติบโตของหอยหวาน *Babylonia areolata* (Link 1870) ที่เลี้ยงด้วยอาหารต่างชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

ภาษาอังกฤษ

Alagarswami , K., Dharmaraj, S., Chellam, A. and Vellayudham, T.S. 1989. Larva and Juvennile rearing of black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Linnaeus). Aquaculture 76: 43-56.

Arbiv, R. and van Rijn, J.1995. Performance of a treatment system for Inorganic nitrogen removal in Intensive aquaculture systems. Aquacultural Engineering 14: 189-203.

Barak, Y., Cytryn, E., Gelfand, I., Krom, M. and Van Rijn, J. 2003. Phosphorus removal in a marine prototype,recirculating aquaculture system. Aquaculture 220: 313–326.

Billton, G. 1994. Wastewater microbiology. New York, USA: John Wiley and Sons.51-61.

Braley, R.D. ed., 1992. The giant clam: hatchery and nursery culture manual. ACIAR Monograph No. 15, 144 pp.

Brodersen, J. and Madsen, H. 2003. The effects of calcium concentration on the crushing *esistance*, weight and size of *Biomphalaria sudanica* (Gatropoda : Planorbidae). Hydrobiologia. 490: 181-186.

Coote, T.A., Hone, P.W., Kenyon, R. and Maguire, G.B. 1996. The effect of different Combinations of dietary calcium and phosphorus on the growth of juvenile *Haliotis aevigata*. Aquaculture 145: 267-279.

Enright, C.T., Newkrik, G.F., Craigie, J.S. and Castell, J.D. 1986. Growth of juvenile *Ostrea edulis* L. fed *Chaetoceros gracilis* Schutt of varied chemical composition. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 96: 15 -26.

Fulks, W. and Main, K.L. 1991. Rotifer and microalgae culture system: Proceeding of a U.S.-Asia Workshop. Washington. 364 pp.

Goldberg, E.D., Broeckers, W.S., Gross, M.G. and Turekian, K.K. 1971. Marine Chemistry. ages 37-146 in Radioactivity in the Marine Environment, National Academy of Sciences. Washington D.C.

Greenberg, A.E., Clesceri S.L., and Eaton, A.D. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition. Maryland: American Pluplic Health Association.

Grommen, R., Verhaege, M. and Verstraete, W.2006. Removal of nitrate in aquaria by means of electrochemically generated hydrogen gas as electron donor for biological denitrification. Aquacultural Engineering 34: 33–39.

Guillard, R.R.I. and Ryther, J.H. 1962. Studies on marine phytoplanktonic diatoms *Cyclotella*

nana Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. Can. J. Microbiol. 8: 229-239

Hardy, D., 1991. Scallop Farming. England: Setrite Typestters Limited. 237 p.

Huggins, W.L., Helm, M.M. and Williams, D.R. 1987. Automatic control of food supply in the culture of filter feeding organisms. Aquacultural Engineering 6: 259-275.

Khatoon, H., Yusoff, F. M., Banerjee, S., Shariff, M., and Mohamed, S. 2007. Use of periphytic cyanonacterium and mix diatoms coated substrate for improving water quality, survival and growth of *Penaeus monodon* Fabricius postlarvae. Aquaculture 271: 196-205.

Lewis. T. E., C. D. Garland and T. A. Mc Meekin. 1986. Manual of hygiene for shellfish hatcheries. University of Tasmania Printing Department, Australia. 44 p.

Macmillan, R. J. Cawthorn, R.J., Whyte, S. K., and Lyon, P.R. 1994. Design and maintenance of a closed artificial seawater system for long-term holding of bivalve shellfish. Aquacultural Engineering 13, 241-250.

McNeil, B and Harvey, L.M. 1990. Fermentation a practical approach. Oxford : Information Press. 99-121 p.

Meley, C.O. and M. Daintith, 1992. Algal Culture For Marine Hatchery Multi-skilling in Aquaculture a Hands on Training Workshop. Key Centre For Teaching & Research in Aquaculture, Tasmania, 33 p.

Milne, P.H., 1972. Fish and Shellfish Farming in Coastal Water. England: The Whitefriars Press Ltd. 208 p.

Neori, A., Shipigel, M. And Ben-Ezra, D. 2000. A sustainable integrated system for culture of fish seaweed and abalone. Aquaculture 186: 279-291.

Parker, R. 1995. Aquaculture Science. Boston : Delmar Publishers, An International Thomson Publishing Company.

Poomtong, T. and J. Nhongmeesub. 1996. Spawning, larval and juvenile rearing of Babylon snail under laboratory condition. Phuket Marine Biological Center Special Publication 3:185-187.

Ridha, M. T. and Cruz, E. M. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. Aquacultural Engineering 24: 157–166.

Sen P.; Dentel S.K.,1998. Simultaneous nitrification-denitrification in a fluidized bed reactor. Water Science and Technology. 38 (1): 247-254.

Shieh, H-Y., Liu, L-L. 1999. Positive effects of large concentration in culture on the

development of the lecithotrophic larvae of *Babylonia formosae* (Sowerby) (Prosobranchia: Buccinidae). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 241: 97-105.

Southgate, P.C., Beer, A.C.,Duncan, P.F and Tumburri P. 1998. Assessment of the Nutritional value ofthree species of tropical, dried *Tetraselmis* and a yeast-based diet for larvae of the black lip prarl oyster, *Pinctada margaritifera*. Aquaculture 162 (3-4): 245-259.

Spotte, S. 1979. Seawater Aquarium. New York: John Wiley and Sons.

Strickland, J. D.H. and Parson, T. R. 1972. A Practice Handbook of Seawater Analysis, 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada Bulletin NO.167, Ottawa,Canada.

Tan, B., Mai, K., and Liufu, Z. 2000. Response of juvenile abalone, *Haliotis discushannai*, to dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio. Aquaculture 198 :141- 158 (2001)

Thompson, F.L., Abreu, P.C., Wasielesky, W. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. Aquaculture 203: 263-278.

Thu, N.T.X., H.N. Phuc, H.T.B. Dao and T.N. Tran. 2000. Effect of salinity on hatching and survival in Babylon snail (Babylonia areolata). Phuket Marine Biological Center Special Publication 21 (1): 272.

Tseng, K.F. and Wu, K.L. 2004. The ammonia removal cycle for a submerged biofilter used in a recirculating eel culture system. Bioresource Technology. 93: 313–319.

Twarowska, J. G., Westerman, P.W. and Losordo T. M. 1997. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. Aquacultural Engineering 16: 133-147.

Wang, D. I. C., Cooney, C. L., Demain, A. L., Dunnill, P., Humphrey, A. E. and Lilly, M. D. 1979. Fermentation and Enzyme Technology. New York: John Wiley and Sons. 98-109.

Wallace, R.K. 2001. Caltivating the Eastern Oyster, *Crassostrea virginica*. Southern Regional Aquaculture Center Publication. 32.

Webb, K.L., and Chu. 1983. Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. In: Pruder, G.D., Langdon,C. and Conklin, D (eds.), Biochemical and physiology approaches to shellfish nutrition. Proceedings of the second international conference on aquaculture nutrition. Louisiana State University Press, Baton Rouge. 272-291.

Whetstone J.M., Sturmer L. N., and Oesterling M.J., 2005. Biology and Culture of the Hard Clam (*Mercenaria mercenaria*). Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 433

Wickins, J. F. 1985. Ammonia production and oxidation during the culture of marine prawns and lopsters in laboratory recirculation system. Aquacultural Engineering 4, 155-174.

Wiedemeyer, W.L., 1998. Contributions to the larval biology of the redlipped conch, *Strombus luhuanus* L. 1758, with respect to seed production for mariculture. Aquaculture Research, 29: 1-7.

Yang, W.T., Hanlon, R.t., Lee, P.G., and Ture, P.E. 1989. Design and function of closed seawater system for culturing loliginid squids. Aquacultural Engineering 8, 47-65.

Zelm, M.M., and Bourne, N. 2004. Hatchery culture of bivalves: A practical manual. FAO Fisheries Technical Paper. 471: 84 -129.

Zheng, H. Ke, C., Zhou, S. Li, F. 2005. Effects of starvation on larval growth, survival and metamorphosis of Ivory shell *Babylonia formosae* habei Altena et al., 1981 (Neogastropoda: Buccinidae). Aquaculture 243: 357-366.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การเตรียมอาหารเพาะเชื้อไดอะตอม

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ดัดแปลงจากสูตรของกิลลาร์ด F/2 (Guillard, 1975 อ้างโดย Smith, 1975)

สารละลายส่วนที่ 1 (ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร)

โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$)	42.074	กรัม
ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต ($Na_2HPO_4 . H_2O$)	3.0	กรัม
เฟอริคคลอไรด์ ($FeCl_3$)	1.45	กรัม
โซเดียมเอทิลีน ไดอะมีน เตตระอะซิติก (Na_2EDTA)	5.0	กรัม

สารละลายส่วนที่ 2 (ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร)

คอปเปอร์ซัลเฟต-5-ไฮเดรต ($CuSO_4 . 5H_2O$)	1.96	กรัม
ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$)	4.40	กรัม
โซเดียมโมลิบเดท-4-ไฮเดรต ($Na_2MoO_4 . 2H_2O$)	1.26	กรัม
แมงกานีสคลอไรด์-4-ไฮเดรต ($MnCl_2 . 4H_2O$)	3.60	กรัม
โคบอลท์คลอไรด์-6-ไฮเดรต ($CoCl_2 . 6H_2O$)	2.0	กรัม

สารละลายส่วนที่ 3 (ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร)

โซเดียมเมตาซิลิเกต-9-ไฮเดรต ($Na_2SiO_3 . 9H_2O$)	16.50	กรัม

เตรียมอาหารเพาะเชื้อไดอะตอม โดยปิเปตสารละลายส่วนที่ 1 และ 3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายส่วนที่ 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 พีเอสยู ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์แอมโมเนีย (Strickland และ Parson, 1972)

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลาย phenol : ละลาย phenol 20 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร

2. สารละลาย Sodium nitroprusside : ละลาย Sodium nitroprusside $Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$ 1 กรัม ในน้ำ de-ionized 200 มิลลิลิตร

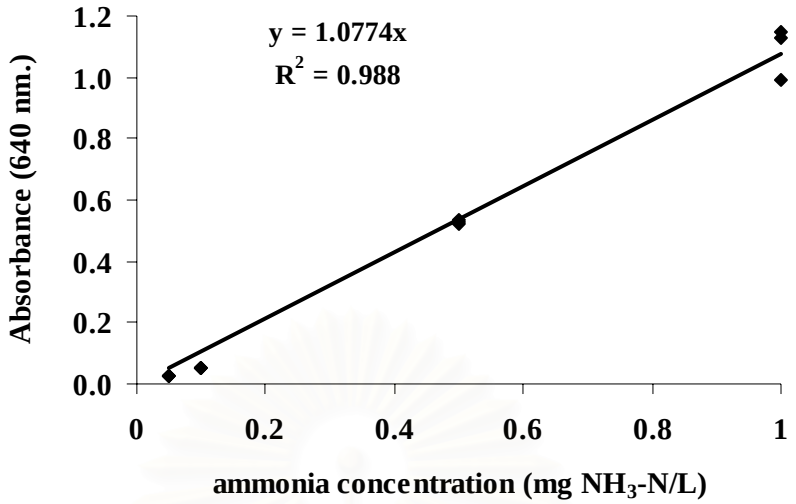
3. สารละลาย Alkaline : ละลาย Sodium citrate 100 กรัม และ Sodium hydroxide 5 กรัม ในน้ำ de-ionized 500 มิลลิลิตร

4. สารละลาย Sodium hypochlorite

5. สารละลาย Oxidizing : ผสมระหว่างสารละลาย Alkalineกับสารละลาย Sodium hypochloriteด้วยอัตราส่วน 4:1

วิธีการวิเคราะห์

น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Phenal 0.04 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Sodium nitroprusside 0.04 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Oxiding reagent 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Spectophotometer (รุ่น GENESYS 10 uv) เตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมโดยมีความเข้มข้น0.05, 0.1, 0.5 และ1 มิลลิกรัมแอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Spectophotometer สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายแอมโมเนียม เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ดังภาพที่ ข.1



ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียม ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05, 0.1, 0.5 และ 0.1 มิลลิกรัมแอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร

วิธีการวิเคราะห์ไนไตรต์ (Strickland และ Parson, 1972)

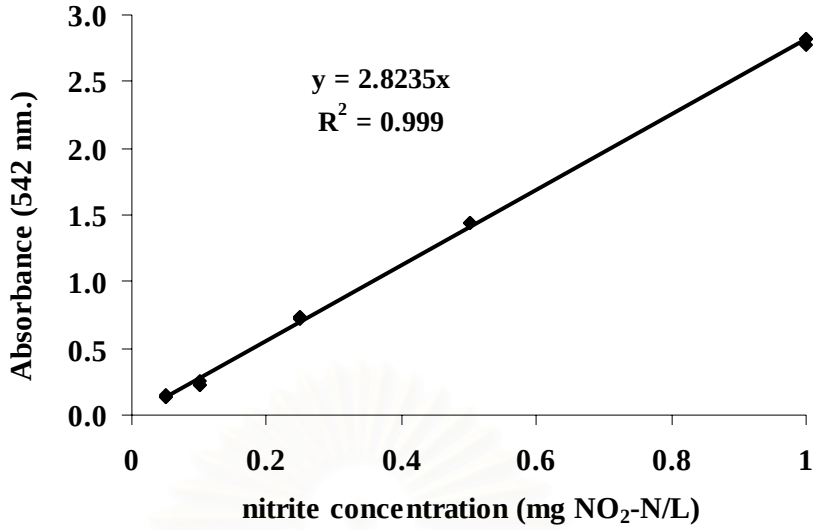
การเตรียมสารละลาย

1. สารละลาย Sulphanilamide : ละลาย Sulphanilamide 5 กรัม ในส่วนผสมของกรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิลิตรกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. สารละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride : ละลาย dihydrochloride 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Sulfanilamide 0.02 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NNED) 0.02 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectophotometer (รุ่น GENESYS 10 UV) เตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรต์ โดยมีความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.5 และ 0.1 มิลลิกรัม ไนไตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายไนไตรต์ เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของไนไตรต์ ดังภาพที่ ข.2

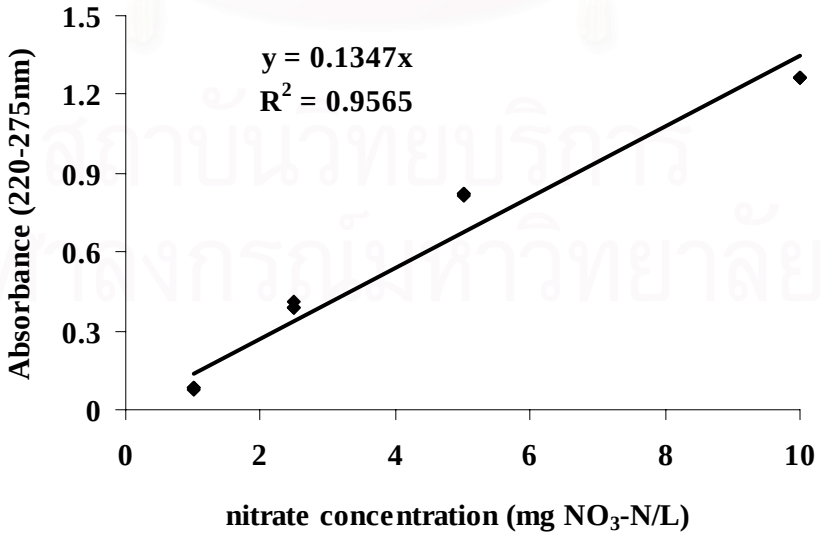


ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐานไนไตรต์ ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมไนไตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร

วิธีการวิเคราะห์ไนเตรต (Greenberg *et al.*, 1992)

วิธีการวิเคราะห์

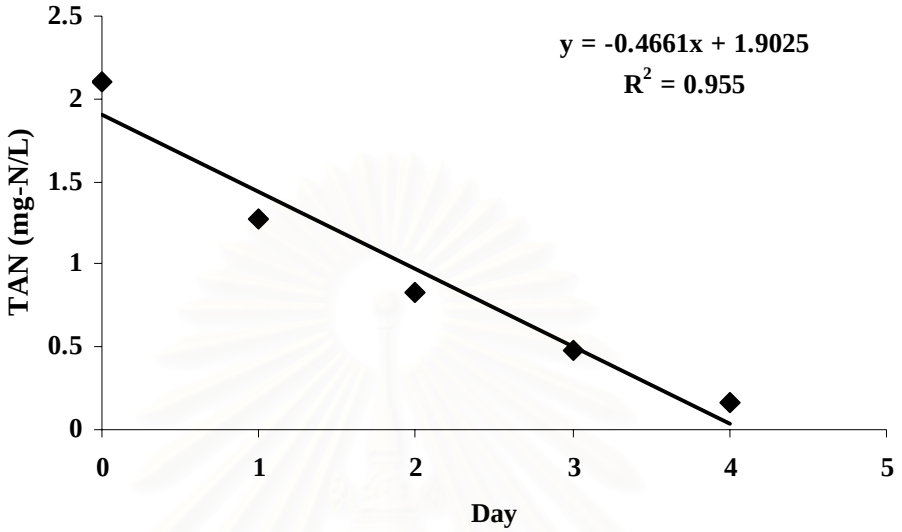
วัดน้ำตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectophotometer โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร ลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรต์ที่มีความเข้มข้น 1, 3, 5, และ 10 มิลลิกรัมไนเตรต-ไนโตรเจนต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายไนเตรต เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของไนเตรต ดังภาพที่ ข.3



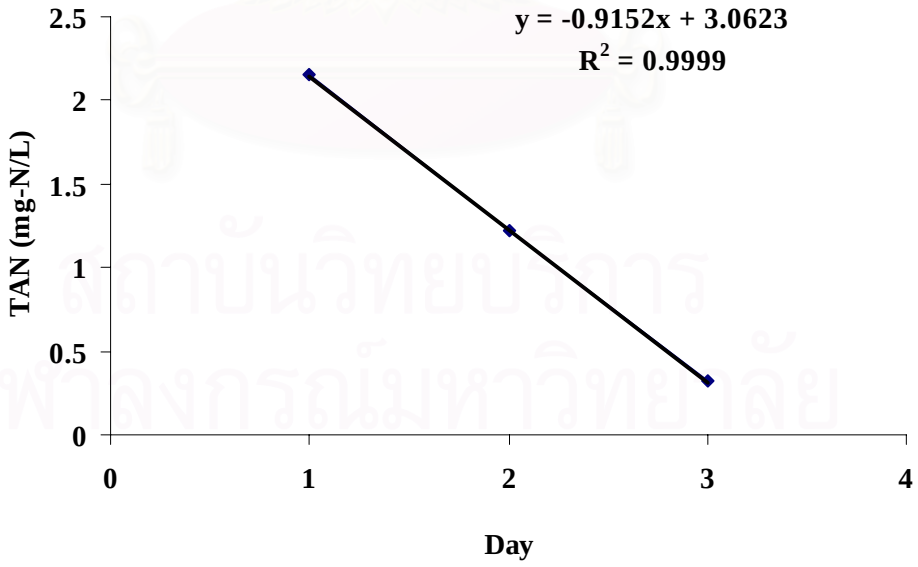
ภาพที่ ข.3 กราฟมาตรฐานไนเตรต ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมไนเตรต์-ไนโตรเจนต่อลิตร

ภาคผนวก ค

การหาอัตราการลดลงของสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน



ภาพที่ ค.1 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพของการอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed biofilter)



ภาพที่ ค.2 กราฟแสดงอัตราการลดลงของแอมโมเนียในการเตรียมสภาพตัวกรองชีวภาพ ของการอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด กับระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสงและได้รับแสงน้อย

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลผลการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวาน

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย ***Chaetoceros*** ของลูกหอยหวานอายุ 1 วัน จำนวนเซลล์ ***Chaetoceros*** ทั้งหมดในหลุมทดลองปริมาตร 2 มล.					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	1.154E+06	2.039E+05	1.413E+06	2.698E+05	1.207E+06	2.518E+05
0.5	2.144E+06	9.913E+05	1.653E+06	4.191E+05	1.834E+06	3.875E+05
3	1.525E+06	3.038E+05	1.478E+06	3.124E+05	1.719E+06	2.559E+05
15	8.400E+05	2.230E+05	9.031E+05	1.561E+05	9.188E+05	2.563E+05

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย ***Chaetoceros*** ของลูกหอยหวานอายุ 3 วัน จำนวนเซลล์ ***Chaetoceros*** ทั้งหมดในหลุมทดลองปริมาตร 3 มล.					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	3.725E+06	0.000E+00	3.725E+06	0.000E+00	3.725E+06	0.000E+00
0.5	3.214E+06	5.260E+05	2.333E+06	6.024E+05	2.459E+06	3.905E+05
1	2.794E+06	8.577E+05	2.448E+06	4.205E+05	2.415E+06	1.849E+05
3	2.674E+06	4.742E+05	2.213E+06	3.460E+05	2.012E+06	3.203E+05
6	2.262E+06	3.271E+05	2.131E+06	2.823E+05	1.711E+06	4.516E+05

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย ***Chaetoceros*** ของลูกหอยหวานอายุ 8 วัน จำนวนเซลล์ ***Chaetoceros*** ทั้งหมดในหลุมทดลองปริมาตร 3 มล.					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	4.473E+06	0.000E+00	4.473E+06	0.000E+00	4.473E+06	0.000E+00
0.5	3.900E+06	5.969E+05	3.190E+06	4.603E+05	2.734E+06	4.406E+05
1	3.444E+06	2.957E+05	2.925E+06	7.145E+05	2.407E+06	2.596E+05
3	3.395E+06	3.859E+05	2.448E+06	4.439E+05	1.569E+06	5.752E+05
6	2.159E+06	8.911E+05	1.864E+06	4.068E+05	9.773E+05	3.053E+05

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย *Chaetoceros* ของลูกหอยหวานอายุ 13 วัน จำนวนเซลล์ *Chaetoceros* ทั้งหมดในหลุมทดลองปริมาตร 3 มล.					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	6.785E+06	0.000E+00	6.785E+06	0.000E+00	6.785E+06	0.000E+00
0.5	5.465E+06	4.039E+05	4.945E+06	8.224E+05	3.840E+06	6.024E+05
1	4.114E+06	8.193E+05	2.387E+06	1.196E+06	1.958E+06	4.172E+05
3	4.975E+06	8.572E+05	4.244E+06	5.149E+05	3.302E+06	6.382E+05
6	5.456E+06	1.013E+06	3.462E+06	1.494E+06	1.941E+06	4.198E+05

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลผลการศึกษาอัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวาน

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานอายุ 1 วัน จำนวนเซลล์ *Isochrysis* ทั้งหมดในหลุมทดลองปริมาตร 3 มล.					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	4.77E+06	4.48E+05	4.95E+06	8.38E+05	5.05E+06	1.27E+06
0.5	4.27E+06	1.52E+06	4.74E+06	8.85E+05	4.11E+06	5.87E+05
1	4.46E+06	1.23E+06	4.69E+06	9.67E+05	3.98E+06	3.96E+05
3	3.88E+06	1.51E+06	4.80E+06	8.73E+05	4.28E+06	7.98E+05

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานอายุ 5 วัน จำนวนเซลล์ *Isochrysis* ทั้งหมดในหลุมทดลอง					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	2.61E+06	2.81E+05	2.61E+06	2.81E+05	1.22E+06	2.56E+05
0.5	2.36E+06	3.80E+05	2.10E+06	4.86E+05	1.01E+06	2.91E+05
1	1.76E+06	7.00E+05	1.99E+06	4.66E+05	1.04E+06	1.20E+05
3	2.23E+06	1.65E+05	2.04E+06	3.76E+05	7.86E+05	1.22E+05
6	2.29E+06	2.10E+05	1.88E+06	4.12E+05	5.40E+05	7.85E+04

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานอายุ 10 วัน จำนวนเซลล์ *Isochrysis* ทั้งหมดในหลุมทดลอง					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	2.88E+06	1.67E+05	2.88E+06	1.67E+05	2.88E+06	1.67E+05
0.5	2.08E+06	1.02E+06	2.68E+06	7.05E+05	2.74E+06	6.99E+05
1	2.32E+06	1.03E+06	2.80E+06	6.37E+05	3.09E+06	2.06E+05
3	2.36E+06	2.04E+05	2.56E+06	1.83E+05	2.24E+06	1.56E+05
6	2.59E+06	1.44E+06	2.31E+06	2.83E+05	1.85E+06	2.94E+05

ชั่วโมงที่	อัตราการกินสาหร่าย *Isochrysis* ของลูกหอยหวานอายุ 15 วัน จำนวนเซลล์ *Isochrysis* ทั้งหมดในหลุมทดลอง					
	1 Veliger	**SD**	**10 Veligers**	**SD**	**20 Veligers**	**SD**
0	2.76E+06	9.90E+04	2.76E+06	9.90E+04	2.76E+06	9.90E+04
0.5	2.68E+06	2.65E+05	2.34E+06	5.14E+05	2.27E+06	1.96E+05
1	2.28E+06	1.81E+05	2.01E+06	3.46E+05	2.21E+06	2.76E+05
3	2.18E+06	5.97E+05	1.84E+06	6.62E+05	1.32E+06	7.18E+05
6	2.53E+06	2.58E+05	1.95E+06	5.34E+05	1.52E+06	5.73E+05

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลผลการศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวาน

ชั่วโมงที่	ความเข้มข้นแอมโมเนีย (mg-N/L) ในน้ำ 1.5 ml ที่มีลูกหอย 10 ตัว					
	ลูกหอยอายุ 1 วัน	ลูกหอยอายุ 3 วัน	ลูกหอยอายุ 5 วัน	ลูกหอยอายุ 7 วัน	ลูกหอยอายุ 11 วัน	ลูกหอยอายุ 13 วัน
0	0.037	0.016		0.224	0.081	0.033
0.25	0.064		0.003	0.228	0.149	0.112
0.5	0.074	0.112	0.004	0.338	0.186	0.169
1	0.081	0.113		0.212	0.255	0.253
2	0.112	0.148	0.061	0.311	0.379	0.362
3	0.182	0.224	0.113	0.371	0.491	0.380
6	0.328			0.528	0.839	0.750

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลผลการทดลองอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำ (ตัว/ลิตร)	
	with biofilter	Water exchange
0	500.00±0.00	500.00±0.00
1	380.00±43.59	384.44±48.79
2	320.00±60.00	286.67±53.33
3	268.89±34.80	233.33±35.28
4	271.11±86.67	184.44±37.45
5	188.89±36.21	148.89±39.00
6	168.89±53.95	135.56±36.24
7	162.22±46.31	131.11±25.14
8	126.67±34.64	122.22±27.40
9	91.11±33.33	84.44±18.32
10	93.33±17.32	77.78±25.72
11	41.11±26.67	32.22±23.93
12	22.22±15.63	24.44±20.61
13	20.00±14.14	31.11±13.70
14	8.89±10.54	4.44±8.31
15	2.22±4.41	4.44±6.85

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย

ชั่วโมงที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย x10E4 cells/ml	
		Treatment	Control
0	0.00		
1	0.04	16.67	16.94
4	0.17		
8	0.33		
8.5	0.35	16.94	27.78
24	1.00		
25	1.04	13.61	20.28

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย (ต่อ)

ชั่วโมงที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย x10E4 cells/ml	
		Treatment	Control
28	1.17		
32	1.33		
32.5	1.35	18.67	19.17
48	2.00	1.94	10.56
49	2.04	13.06	21.11
52	2.17		
56	2.33	4.17	11.39
56.5	2.35	12.22	22.22
72	3.00	4.17	13.61
73	3.04	16.11	22.78
76	3.17		
80	3.33		
80.5	3.35		
96	4.00	3.75	4.72
97	4.04	25.56	25.28
100	4.17		
104	4.33		
104.5	4.35		
120	5.00	7.22	6.39
121	5.04	25.00	22.50
124	5.17		
128	5.33		
128.5	5.35		
144	6.00	9.03	6.67
145	6.04	25.28	21.39
148	6.17	12.22	21.39
152	6.33	11.11	11.67
152.5	6.35	28.44	23.61
168	7.00	6.67	14.26
169	7.04	26.39	26.11
172	7.17	13.61	11.94

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย (ต่อ)

ชั่วโมงที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย x10E4 cells/ml	
		Treatment	Control
176	7.33	8.61	10.28
176.5	7.35		
192	8.00	6.81	14.44
193	8.04	35.56	21.67
196	8.17	15.83	16.11
200	8.33	8.06	8.33
200.5	8.35		
216	9.00	6.67	5.56
217	9.04	26.94	27.78
220	9.17		
224	9.33		
224.5	9.35		
240	10.00	6.67	8.61
241	10.04	8.89	10.83
244	10.17		
248	10.33		
248.5	10.35		
264	11.00	5.83	5.28
265	11.04	12.22	14.44
268	11.17		
272	11.33		
272.5	11.35		
288	12.00	4.17	3.06
289	12.04	13.89	18.06
292	12.17		
296	12.33		
296.5	12.35		
312	13.00	5.42	10.56
313	13.04	19.44	23.06
316	13.17		
320	13.33		

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย (ต่อ)

ชั่วโมงที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย x10E4 cells/ml	
		Treatment	Control
320.5	13.35		
336	14.00	5.14	10.83
337	14.04	10.56	12.50
340	14.17		
344	14.33		
344.5	14.35		
360	15.00		

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง biofilter

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.36±0.10	0.08±0.02	0.36±0.06
1	0.61±0.10	0.00±0.00	0.41±0.06
2	0.72±0.30	0.00±0.00	0.38±0.06
3	1.47±1.36	0.00±0.00	0.48±0.11
4	0.97±0.30	0.00±0.00	0.60±0.22
5	0.90±0.65	0.02±0.04	0.57±0.10
6	0.85±0.81	0.00±0.00	0.49±0.06
7	0.78±0.67	0.08±0.14	1.26±1.33
8	0.55±0.62	0.01±0.01	0.62±0.09
9	0.39±0.56	0.02±0.03	3.89±0.36
10	0.35±0.47	0.01±0.01	8.34±6.65
11	0.21±0.30	0.01±0.01	5.55±0.63
12	0.10±0.12	0.01±0.01	6.58±0.46
13	0.03±0.05	0.01±0.00	4.15±2.54
14	0.00±0.00	0.01±0.01	3.13±2.35
15	0.33±0.30	0.05±0.05	6.56±0.51
16	0.07±0.10	0.05±0.07	7.15±0.44

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง water exchange

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.31±0.03	0.11±0.03	4.11±0.54
1	0.67±0.05	0.17±0.01	4.54±0.41
1	0.63±0.08	0.09±0.00	5.16±1.35
2	0.52±0.11	0.18±0.02	3.32±0.46
3	0.39±0.06	0.23±0.05	3.21±0.78
3	0.60±0.01	0.14±0.04	3.96±0.49
4	0.59±0.09	0.26±0.07	2.94±0.58
4	0.54±0.03	0.14±0.05	3.70±0.55
5	0.42±0.05	0.37±0.05	3.45±1.10
5	0.49±0.02	0.26±0.06	3.73±0.29
6	0.16±0.06	0.55±0.13	3.51±0.84
6	0.65±0.04	0.58±0.26	3.05±0.51
7	0.34±0.01	0.65±0.02	4.70±0.24
7	0.49±0.06	0.50±0.12	5.19±1.36
8	0.13±0.04	0.70±0.02	5.65±0.90
8	0.22±0.08	0.49±0.03	4.77±0.55
9	0.42±0.10	0.64±0.02	2.65±0.12
9	0.15±0.02	0.52±0.04	2.10±0.30
10	0.44±0.02	0.67±0.05	6.17±2.95
10	0.13±0.09	0.55±0.05	3.71±0.66
11	0.12±0.02	0.75±0.02	3.46±0.35
11	0.00±0.00	0.59±0.03	3.14±0.24
12	0.14±0.02	0.70±0.03	3.18±0.66
12	0.14±0.02	0.51±0.06	5.06±2.32
13	0.05±0.02	0.61±0.07	2.08±0.48
13	0.07±0.03	0.37±0.05	4.69±2.32
14	0.05±0.03	0.44±0.05	1.89±0.06
14	0.19±0.03	0.27±0.04	4.35±2.50
15	0.04±0.02	0.46±0.05	2.20±0.22
15	0.08±0.05	0.22±0.02	3.98±2.87

ตารางที่ ง.5 การอนุบาลลูกหอยหวานที่ประกอบด้วยระบบผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง และระบบบำบัดด้วยตัวกรองชีวภาพแบบเคลื่อนที่ (fluidized bed)

ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำ (ตัว/ลิตร)	
	biofilter	**water exchange**
0	489.11±46.24	476.67±73.71
1	533.89±20.84	474.44±23.65
2	434.00±60.60	374.44±36.72
3	303.78±62.49	245.56±80.37
4	235.67±88.96	184.44±93.83
5	146.67±66.92	103.78±47.89
6	125.00±50.90	91.33±47.03
7	127.00±76.59	66.67±39.60
8	98.56±66.94	62.44±45.49
9	77.00±48.69	43.56±33.20
10	62.22±40.58	32.22±15.57
11	49.22±31.68	22.67±12.88
12	36.33±24.25	15.11±8.57
13	19.00±19.32	2.67±1.33
14	16.44±13.99	10.89±9.46
15	0.44±0.77	0.00±0.00

ความกว้างของลูกหอยในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความกว้าง (mm.)	
	biofilter	**water exchange**
0	0.31±0.04	0.32±0.01
1	0.31±0.01	0.34±0.00
2	0.37±0.01	0.35±0.07
3	0.39±0.03	0.39±0.00
4	0.46±0.02	0.41±0.00
5	0.44±0.01	0.50±0.00
6	0.48±0.07	0.49±0.01
7	0.54±0.06	0.63±0.13
8	0.59±0.06	0.57±0.06

ความกว้างของลูกหอยในถังอนุบาล (ต่อ)

	ความกว้าง (mm.)	
วันที่ทดลอง	biofilter	water exchange
9	0.58±0.02	0.66±0.01
10	0.62±0.07	0.67±0.03
11	0.65±0.02	0.69±0.00

ความยาวของลูกหอยในถังอนุบาล

	ความยาว (mm.)	
วันที่ทดลอง	biofilter	water exchange
0	0.55±0.01	0.53±0.01
1	0.60±0.02	0.62±0.02
2	0.65±0.03	0.67±0.02
3	0.71±0.03	0.74±0.03
4	0.81±0.03	0.71±0.06
5	0.74±0.02	0.75±0.01
6	0.83±0.11	0.78±0.05
7	0.77±0.02	0.81±0.11
8	0.86±0.01	0.88±0.04
9	0.92±0.08	1.02±0.04
10	0.99±0.12	1.19±0.09
11	1.00±0.08	1.19±0.03

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย

	จำนวนเซลล์สาหร่าย (x10E4 cells/ml)	
วันที่ทดลอง	***Isochrysis***	***Isochrysis+Amphora***
0	0.00±0.00	0.00±0.00
0	36.97±9.23	30.86±3.22
1	14.36±5.05	15.89±3.70
1	51.03±20.34	49.81±14.21
2	39.72±30.90	10.69±5.21
2	77.92±52.25	73.03±6.76
3	56.22±33.92	49.19±7.69
3	74.86±10.06	45.22±16.81

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย (ต่อ)

วันที่ทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (x10E4 cells/ml)	
	Isochrysis	***Isochrysis+Amphora***
4	53.17±15.26	37.58±15.42
4	49.81±18.20	46.75±9.30
5	65.69±29.99	47.36±17.92
6	51.94±29.91	75.17±47.71
6	97.47±13.36	51.39±30.11
7	111.53±84.72	58.97±26.21
7	66.00±27.15	66.31±6.76
8	123.14±103.65	80.36±52.15
9	112.75±75.93	64.47±44.01
10	24.14±20.44	25.97±20.13
11	82.50±55.51	77.62±57.20
12	101.14±72.91	83.11±56.22
13	52.86±35.29	23.22±14.27
14	34.53±25.2763	34.83±34.82

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง Biofilter

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.085±0.101	0.733±0.012	3.465±0.197
1	0.062±0.013	0.689±0.014	3.544±0.172
2	0.134±0.077	0.697±0.020	4.851±0.918
3	0.036±0.024	0.675±0.016	5.743±0.976
4	0.062±0.040	0.679±0.008	6.123±1.799
5	0.062±0.037	0.701±0.007	7.500±0.809
6	0.082±0.120	0.740±0.004	5.288±1.495
7	0.155±0.122	0.761±0.013	5.265±1.441
8	0.135±0.195	0.787±0.036	4.085±2.216
9	0.190±0.294	0.843±0.077	2.667±2.294
10	0.219±0.355	0.876±0.080	3.260±2.695

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง Biofilter (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
11	0.194±0.324	0.856±0.102	4.545±1.450
12	0.250±0.405	0.905±0.025	4.742±2.917
13	0.316±0.496	0.963±0.212	4.023±3.468
14	0.484±0.244	0.921±0.225	5.102±3.802
15	0.448±0.495	0.778±0.198	3.754±1.939

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง water exchange

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.01±0.00	0.00±0.00	0.08±0.10
1	0.12±0.03	0.05±0.05	
1	0.02±0.02	0.02±0.01	0.06±0.01
2	0.13±0.05	0.03±0.01	
2	0.09±0.04	0.03±0.01	0.13±0.08
3	0.13±0.07	0.05±0.01	
4	0.16±0.14	0.05±0.00	
4	0.05±0.06	0.03±0.01	0.06±0.04
5	0.06±0.04	0.04±0.01	0.06±0.04
6	0.11±0.02	0.05±0.01	
6	0.03±0.01	0.03±0.01	0.08±0.12
7	0.02±0.03	0.04±0.01	
7	0.01±0.01	0.03±0.01	0.15±0.12
8	0.03±0.01	0.03±0.02	0.14±0.19
9	0.02±0.02	0.02±0.02	0.19±0.29
10	0.13±0.19	0.02±0.02	0.22±0.35
11	0.09±0.14	0.02±0.02	0.19±0.32
12	0.18±0.29	0.02±0.03	0.25±0.40
13	0.12±0.19	0.02±0.03	0.32±0.50
14	0.19±0.23	0.03±0.05	0.48±0.24
15	0.18±0.28	0.02±0.03	0.45±0.49

ปริมาณอัคาลินิตี้ในถังอนุบาลลูกหอย

วันที่ทดลอง	ปริมาณอัลคาลินิตี้ในน้ำ (ppm)	
	biofilter	**water exchange**
0	110.00±0.00	110.00±0.00
1	110.00±0.00	110.00±0.00
2	103.33±5.77	96.67±5.77
3	113.33±5.77	96.67±28.87
4	123.33±5.77	110.00±10.00
5	113.33±5.77	103.33±5.77
6	103.33±5.77	103.33±5.77
7	110.00±0.00	96.67±5.77
8	120.00±0.00	93.33±11.55
9	110.00±0.00	106.67±5.77
10	103.33±5.77	100.00±0.00
11	120.00±10.00	120.00±0.00
12	133.33±5.77	120.00±0.00
13	143.33±5.77	130.00±0.00
14	136.67±5.77	120.00±0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.6 การเปรียบเทียบการอนุบาลลูกหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด กับระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ได้รับแสงและทึบแสง

ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำ (ตัว/ลิตร)		
	Biofilter	**Light**	**Dark**
0	795.56±51.99	805.56±65.98	796.67±49.50
1	725.56±33.95	784.44±53.18	646.67±39.69
2	687.78±49.94	768.89±73.73	643.33±66.33
3	701.11±81.62	741.11±79.28	670.00±95.79
4	674.44±58.55	548.89±195.54	644.44±63.07
5	618.89±60.51	572.22±105.92	530.00±52.68
6	594.44±45.86	514.44±149.34	523.33±59.37
7	524.44±52.70	540.00±84.71	487.78±48.42
8	420.00±29.58	408.89±49.36	443.33±39.37
9	448.89±62.74	418.89±135.04	411.11±61.94
10	442.22±58.69	320.00±63.64	414.44±65.98
11	327.78±50.94	211.11±59.25	296.67±44.16
12	282.22±40.55	158.89±64.12	297.78±32.32
13	177.78±51.91	143.33±46.10	216.67±35.00
14	115.56±68.03	94.44±29.20	188.89±50.85
15	81.11±51.83	50.00±31.22	148.89±51.59
16	35.33±13.23	70.22±71.21	185.56±35.04

ความกว้างของลูกหอยในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความกว้าง (mm.)		
	Biofilter	**Light**	**Dark**
0	0.27±0.04	0.24±0.02	0.23±0.02
1	0.25±0.03	0.25±0.03	0.27±0.03
2	0.24±0.04	0.25±0.03	0.26±0.04
3	0.26±0.03	0.24±0.03	0.28±0.06
4	0.25±0.03	0.27±0.04	0.26±0.05
5	0.28±0.04	0.30±0.06	0.29±0.05
6	0.30±0.06	0.28±0.04	0.31±0.06

ความกว้างของลูกหอยในถังอนุบาล (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความกว้าง (mm.)		
	Biofilter	Light	Dark
7	0.33±0.04	0.34±0.06	0.31±0.04
8	0.36±0.05	0.32±0.04	0.33±0.05
9	0.34±0.06	0.39±0.03	0.39±0.11
10	0.41±0.05	0.38±0.03	0.34±0.06
11	0.38±0.04	0.36±0.06	0.33±0.05
12	0.34±0.05	0.38±0.06	0.38±0.06
13	0.39±0.06	0.43±0.04	0.38±0.03
14	0.38±0.03	0.40±0.05	0.40±0.05
15	0.39±0.02	0.46±0.06	0.45±0.06
16	0.40±0.04	0.42±0.05	0.41±0.05

ความยาวของลูกหอยในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความยาว (mm.)		
	Biofilter	Light	Dark
0	0.55±0.03	0.54±0.04	0.54±0.04
1	0.52±0.05	0.51±0.06	0.51±0.03
2	0.50±0.03	0.51±0.04	0.53±0.08
3	0.51±0.06	0.53±0.02	0.54±0.04
4	0.53±0.04	0.51±0.07	0.50±0.08
5	0.54±0.04	0.54±0.04	0.54±0.04
6	0.58±0.09	0.58±0.09	0.58±0.07
7	0.62±0.08	0.57±0.09	0.62±0.08
8	0.64±0.06	0.67±0.08	0.61±0.06
9	0.59±0.07	0.59±0.05	0.60±0.05
10	0.67±0.11	0.71±0.05	0.66±0.08
11	0.76±0.07	0.69±0.03	0.67±0.09
12	0.74±0.09	0.71±0.10	0.68±0.06
13	0.68±0.08	0.70±0.05	0.71±0.04
14	0.74±0.09	0.74±0.06	0.73±0.05
15	0.73±0.03	0.79±0.05	0.77±0.08
16	0.76±0.03	0.82±0.09	0.82±0.08

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย

วันที่ทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (x10E4 cells/ml)		
	Biofilter	**Light**	**Dark**
0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
0	28.11±6.44	34.22±4.33	37.89±11.96
1	5.19±3.22	4.58±3.67	7.64±5.05
1	27.19±10.86	35.44±8.66	25.06±5.05
2	5.81±4.13	6.42±1.59	7.88±4.52
2	29.94±6.63	25.06±5.21	36.67±3.31
3	12.53±2.31	7.64±2.31	10.69±2.95
3	42.17±16.73	38.50±7.83	45.53±15.67
4	10.69±4.23	6.11±5.89	4.58±3.31
4	35.60±13.33	60.50±18.54	15.28±4.33
5	6.42±3.31	21.39±7.90	5.50±2.75
5	28.72±5.37		44.00±10.57
6	4.58±4.85	1.83±0.92	6.72±5.53
6	23.22±17.92	22.00±6.01	11.61±1.06
7	4.58±4.76	8.25±4.85	6.11±1.40
7	26.28±5.53	22.00±4.20	13.44±1.40
8	13.14±5.60	4.58±2.43	3.36±1.06
8	34.53±23.30	30.56±11.09	40.33±9.57
9	14.67±14.55	7.33±5.10	6.72±2.95
9	39.42±11.99	14.97±7.90	20.47±4.13
10	18.03±14.27	9.47±1.40	3.97±2.31
10	29.33±17.46	18.64±3.82	18.03±1.40
11	7.33±0.92	10.85±9.40	2.44±1.06
11	25.67±6.42	25.67±2.43	30.25±2.75
12	10.69±13.79	10.69±3.82	3.67±1.59
12	36.67±21.67	27.50±4.20	37.58±7.50
13	20.47±22.40	7.94±5.53	3.36±1.91
13	25.06±16.10	28.42±11.99	18.33±7.50
14	22.31±26.06	4.58±1.83	3.06±1.06
14	28.42±10.41	25.67±7.16	24.14±6.88
15	12.22±12.21	3.06±2.12	2.44±1.40

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย (ต่อ)

วันที่ทดลอง	จำนวนเซลล์สาหร่าย (x10E4 cells/ml)		
	Biofilter	**Light**	**Dark**
15	23.53±13.29	27.19±9.80	20.17±2.75
16	11.92±10.57	5.19±2.31	2.14±1.40
16	33.00±5.10	27.50±12.02	26.89±1.40

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง Biofilter

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.29±0.01	0.09±0.01	4.34±0.02
1	0.25±0.01	0.08±0.01	6.05±1.55
2	0.42±0.13	0.09±0.00	4.27±3.12
3	0.54±0.12	0.09±0.02	3.91±0.68
4	0.74±0.21	0.14±0.04	5.67±0.12
5	0.60±0.12	0.15±0.06	5.45±0.42
6	0.52±0.01	0.15±0.08	11.27±1.10
7	0.33±0.10	0.19±0.11	11.53±1.85
8	0.30±0.06	0.20±0.13	11.95±1.03
9	0.60±0.35	0.26±0.06	10.54±2.03
10	0.35±0.16	0.27±0.12	9.97±0.76
11	0.52±0.23	0.41±0.19	13.26±1.28
12	0.25±0.21	0.32±0.15	7.41±8.13
13	0.40±0.31	0.37±0.15	13.69±2.11
14	0.40±0.43	0.31±0.09	14.29±2.67
15	0.69±0.73	0.22±0.06	11.02±3.36

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง Light

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.26±0.02	0.09±0.03	4.26±0.19
1	0.20±0.02	0.06±0.00	4.69±0.25
2	0.20±0.05	0.06±0.00	6.95±1.06

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง Light (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
3	0.29±0.04	0.08±0.01	3.62±0.21
4	0.48±0.09	0.10±0.01	4.14±0.14
5	0.44±0.04	0.13±0.01	3.92±0.20
6	0.42±0.11	0.13±0.01	8.73±0.19
7	0.45±0.13	0.15±	8.71±0.14
8	0.52±0.12	0.18±0.01	8.56±0.42
9	0.66±0.23	0.27±0.13	6.31±1.34
10	0.55±0.14	0.25±0.06	5.51±1.29
11	0.58±0.19	0.58±0.19	8.08±0.34
12	0.14±0.05	0.60±0.27	1.63±0.71
13	0.86±0.99	0.57±0.25	8.84±0.47
14	0.51±0.35	0.33±0.10	7.21±0.62
15	0.23±0.03	0.36±0.09	9.11±0.69
16	0.40±0.11	0.31±0.10	9.44±0.33

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง Dark

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.30±0.02	0.08±0.00	4.46±0.10
1	0.31±0.01	0.07±0.02	4.57±0.12
1	0.27±0.02	0.07±0.01	4.82±0.43
2	0.39±0.04	0.08±0.02	4.99±0.17
2	0.24±0.01	0.05±0.00	5.46±0.28
3	0.54±0.03	0.08±0.00	3.22±0.27
3	0.30±0.02	0.07±0.00	3.19±0.16
4	0.50±0.09	0.09±0.01	3.30±0.14
4	0.40±0.05	0.08±0.01	3.38±0.45
5	0.40±0.32	0.10±0.01	3.63±0.18
5	0.48±0.14	0.10±0.02	3.85±0.17
6	0.53±0.07	0.09±0.01	8.76±1.47

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง Dark (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
6	0.41±0.02	0.07±0.01	8.14±0.65
7	0.55±0.15	0.12±0.01	8.67±0.73
7	0.40±0.10	0.09±0.01	8.24±0.87
8	0.48±0.01	0.12±0.01	6.59±1.28
8	0.33±0.04	0.08±0.01	3.84±0.80
9	0.63±0.06	0.22±0.01	6.21±0.20
9	0.50±0.01	0.18±0.02	6.43±0.24
10	0.68±0.04	0.29±0.04	6.20±0.82
10	0.41±0.07	0.17±0.04	5.04±0.93
11	0.68±0.05	0.42±0.02	6.76±0.06
11	0.80±0.11	0.35±0.04	7.09±0.32
12	0.20±0.18	0.51±0.29	1.84±1.06
12	0.15±0.06	0.35±0.07	1.84±1.12
13	0.38±0.14	0.62±0.25	7.18±1.41
13	0.25±0.09	0.37±0.10	5.50±1.10
14	0.51±0.11	0.88±0.32	9.22±0.94
14	0.21±0.03	0.40±0.15	7.40±1.80
15	0.21±0.03	0.61±0.17	9.92±0.98
15	0.64±0.44	0.41±0.15	9.08±0.98
16	0.35±0.06	0.51±0.22	9.42±0.85
16	0.30±0.14	0.38±0.18	9.05±1.25

ปริมาณอัคาลินิตี้ในถังอนุบาลลูกหอย

วันที่ทดลอง	ปริมาณอัลคาลินิตี้ในน้ำ (ppm) avere	average	average
0	136.0±0.0	136.0±0.0	136.0±0.0
1	141.7±9.8	141.7±9.8	130.3±9.8
2	136.0±0.0	130.3±9.8	130.3±9.8
3	136.0±0.0	136.0±0.0	119.0±0.0
4	136.0±17.0	136.0±17.0	119.0±0.0
5	130.3±9.8	124.7±9.8	119.0±17.0

ปริมาณอัคาลินิตี้ในถังอนุบาลลูกหอย (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ปริมาณอัลคาลินิตี้ในน้ำ (ppm)		
	average	average	average
6	130.3±9.8	124.7±9.8	119.0±0.0
7	136.0±17.0	119.0±0.0	113.3±9.8
8	124.7±9.8	119.0±0.0	113.3±9.8
9	102.0±0.0	113.3±19.6	102.0±0.0
10	107.7±9.8	107.7±9.8	107.7±9.8
11	113.3±9.8	113.3±9.8	102.0±0.0
12	113.3±19.6	107.7±9.8	102.0±0.0
13	102.0±0.0	102.0±0.0	102.0±0.0

ตารางที่ ง.7 การทดลองอนุบาลลูกหอยหวานในถังขนาด 100 ลิตร

ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำ (ตัว/ลิตร)	
	Isochrysis	***Isochrysis+Amphora***
0	444±88.8	440±53
1	288±35.9	325±76
2	240±59.2	240±35
3	248±20.5	249±134
4	122±18.0	100±17
5	90±16.2	69±27
6	69±10.1	84±20
7	50±8.3	47±8
8	20±4.0	13±5
9	8±4.0	5±2
10	1.3±2.3	1±2
11	2.7±2.3	1±2
12	5.3±2.3	0±0

ความกว้างของเปลือกลูกหอยในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความกว้าง (mm.)	
	Isochrysis	*Isochrysis+Amphora*
0	0.23±0.00	0.28±0.03
1	0.28±0.03	0.27±0.03
2	0.32±0.03	0.28±0.01
3	0.32±0.01	0.35±0.07
4	033±0.02	0.33±0.01
5	0.38±0.04	0.33±0.06
6	0.43±0.10	0.41±0.04
7	0.42±0.06	0.42±0.04
8	0.42±0.06	0.40±0.05
9	0.38±0.04	0.42±0.04
10	0.43±0.04	0.49±0.04
11	0.48±0.02	0.48±0.04
12	0.52±0.01	0.50±0.02
13	0.51±0.01	0.52±0.01
14	0.53±0.01	0.53±0.00

ความยาวของเปลือกลูกหอยในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความยาว (mm.)	
	Isochrysis	*Isochrysis+Amphora*
0	0.38±0.04	0.40±0.04
1	0.38±0.03	0.43±0.01
2	0.48±0.05	0.48±0.02
3	0.54±0.01	0.49±0.01
4	0.48±0.01	0.53±0.09
5	0.67±0.05	0.57±0.08
6	0.59±0.05	0.49±0.04
7	0.78±0.09	0.76±0.06
8	0.60±0.07	0.65±0.03
9	0.70±0.03	0.68±0.01
10	0.67±0.06	0.72±0.04
11	0.71±0.01	0.73±0.01

ความยาวของเปลือกลูกหอยในถังอนุบาล (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ความยาว (mm.)	
	Isochrysis	***Isochrysis+Amphora***
12	0.79±0.05	0.84±0.05
13	0.78±0.07	0.78±0.04
14	0.78±0.03	0.78±0.04

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย

	จำนวนเซลล์สาหร่าย (x10E4 cells/ml)	
วันที่ทดลอง	***Isochrysis***	***Isochrysis+Amphora***
0	0.00±0.00	0.00±0.00
0	5.13±0.58	3.48±0.76
1	0.37±0.58	0.37±0.58
1	1.10±0.00	1.10±0.00
2	0.20±0.28	0.37±0.58
2	3.30±1.00	2.93±0.58
3	1.28±0.29	0.00±0.00
3	2.20±0.50	3.85±1.32
4	0.92±0.58	0.18±0.29
4	4.03±0.58	3.30±1.00
5	0.73±0.76	0.73±0.29
5	6.05±0.87	4.03±1.44
6	1.83±1.04	1.65±0.50
6	4.40±2.00	5.50±0.50
7	0.92±0.29	2.57±1.53
7	4.03±0.58	3.67±0.58
8	0.92±0.29	1.28±0.79
8	3.85±0.87	4.22±0.76
9	1.10±1.00	0.73±0.58
9	4.58±1.26	4.22±1.04
10	1.28±1.04	0.92±0.76
10	5.32±2.36	6.78±1.89
11	0.39±0.56	2.75±0.87
11	4.22±0.29	4.58±0.29
12	0.92±0.76	1.28±0.29

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย (ต่อ)

	จำนวนเซลล์สาหร่าย x10E4 cells/ml	
วันที่ทดลอง	***Isochrysis***	***Isochrysis+Amphora***
12	4.40±1.00	5.87±0.29
13	0.55±0.50	1.65±0.50
13	4.95±0.50	5.68±0.76
14	0.55±0.00	0.55±0.50
14	5.32±0.00	5.32±2.31

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis*

วันที่ทดลอง	**ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average**	**ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average**	**ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average**
0	0.03±0.00	0.01±0.01	5.24±0.01
1	0.08±0.01	0.02±0.01	6.34±0.05
2	0.07±0.00	0.02±0.01	7.69±0.06
3	0.04±0.01	0.04±0.00	9.09±0.05
4	0.02±0.00	0.02±0.00	8.28±0.01
5	0.04±0.01	0.02±0.00	8.59±0.03
6	0.03±0.01	0.01±0.00	8.93±0.03
7	0.03±0.00	0.03±0.01	9.91±0.02
8	0.05±0.00	0.02±0.00	10.43±0.02
9	0.03±0.00	0.02±0.00	11.22±0.02
10	0.04±0.01	0.03±0.00	11.57±0.03
11	0.01±0.00	0.02±0.00	11.05±0.02
12	0.01±0.00	0.02±0.00	11.50±0.08
13	0.01±0.00	0.02±0.00	11.28±0.04
14	0.02±0.01	0.02±0.00	12.10±0.04

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis+Amphora*

วันที่ทดลอง	**ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average**	**ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average**	**ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average**
0	0.03±0.00	0.01±0.01	5.27±0.01
1	0.07±0.01	0.00±0.00	5.90±0.01

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis+Amphora* (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
2	0.09±0.01	0.01±0.00	6.86±0.01
3	0.07±0.02	0.02±0.00	7.68±0.02
4	0.02±0.01	0.02±0.00	7.67±0.04
5	0.02±0.01	0.01±0.00	8.46±0.01
6	0.01±0.00	0.01±0.00	8.84±0.02
7	0.01±0.00	0.02±0.00	10.04±0.01
8	0.01±0.00	0.02±0.00	10.23±0.02
9	0.02±0.00	0.02±0.00	9.58±0.01
10	0.01±0.00	0.02±0.00	11.24±0.06
11	0.01±0.00	0.02±0.00	11.16±0.00
12	0.01±0.01	0.02±0.00	11.52±0.03
13	0.02±0.02	0.02±0.00	12.13±0.02
14	0.01±0.00	0.03±0.00	12.21±0.06

ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำ (ตัว/ลิตร)	
	Isochrysis	***Isochrysis+Amphora***
0	361.33±83.17	466.67±100.58
1	436.67±41.63	493.33±55.08
2	261.33±47.72	218.67±54.01
6	145.33±48.88	225.33±20.53
9	85.33±6.11	48.00±6.93
10	78.67±8.33	28.00±8.00
11	54.67±24.44	16.00±6.93
12	41.33±14.05	4.00±4.00
13	6.67±11.55	2.67±2.31
14	0.00±0.00	0.00±0.00

มาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย

วันที่ทดลอง	ความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำ (ตัว/ลิตร)	
	Isochrysis	***Isochrysis+Amphora***
	0.00±0.00	0.00±0.00
0	4.22±0.76	2.57±0.76
1	0.75±1.14	0.55±0.50
1	2.75±0.87	1.65±0.50
2	0.00±0.00	0.00±0.00
2	2.93±0.58	2.20±0.87
3	1.10±0.50	0.37±0.58
3	4.95±1.32	5.87±0.58
4	1.83±0.29	0.73±0.29
4	2.93±1.04	3.30±1.00
5	0.37±0.58	0.55±0.50
5	2.57±1.04	3.12±0.76
6	1.10±0.50	1.47±0.29
6	6.23±0.58	5.13±0.58
7	0.55±0.50	1.28±1.04
7	6.23±1.15	4.03±0.29
8	1.65±1.00	0.37±0.29
8	5.13±0.58	6.60±1.00
9	0.37±0.29	0.37±0.58
9	4.40±1.00	3.48±0.29
10	0.92±1.44	0.04±0.03
10	4.58±0.76	4.58±1.26
11	0.92±0.76	0.55±0.50
11	5.68±0.29	6.23±0.58
12	1.10±0.50	1.10±0.50
12	7.33±1.44	7.70±1.00
13	0.37±0.58	0.92±0.29
13	16.50±1.00	11.55±1.80
14	1.47±0.58	1.83±0.58
14	12.10±1.00	11.73±1.15

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis*

วันที่	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.02±0.02	0.02±0.00	0.09±0.02
1	0.07±0.07	0.05±0.00	0.14±0.01
2	0.07±0.07	0.05±0.00	0.16±0.02
3	0.13±0.13	0.05±0.00	0.10±0.03
4	0.18±0.18	0.05±0.00	0.33±0.03
5	0.11±0.11	0.02±0.00	0.52±0.13
6	0.16±0.16	0.21±0.01	0.58±0.01
7	0.10±0.10	0.04±0.00	0.71±0.01
8	0.09±0.09	0.05±0.00	8.01±0.01
9	0.06±0.06	0.04±0.00	7.76±0.02
10	0.07±0.07	0.04±0.00	8.75±0.01
11	0.06±0.06	0.03±0.00	7.68±0.01
12	0.04±0.04	0.03±0.00	9.11±0.28
13	0.03±0.03	0.02±0.00	7.34±0.33
14	0.02±0.02	0.02±0.00	9.40±0.44

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis+Amphora*

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
0	0.04±0.00	0.01±0.00	0.34±0.04
1	0.14±0.01	0.02±0.00	0.37±0.08
2	0.22±0.02	0.03±0.00	0.64±0.02
3	0.36±0.02	0.12±0.00	0.66±0.01
4	0.57±0.04	0.06±0.00	0.65±0.01
5	0.30±0.06	0.09±0.01	3.31±0.01
6	0.14±0.01	0.05±0.02	7.70±0.23
7	0.12±0.02	0.21±0.01	0.66±0.00
8	0.07±0.00	0.11±0.01	8.54±0.04
9	0.04±0.00	0.04±0.00	8.57±0.02
10	0.04±0.00	0.03±0.00	8.34±0.55

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรตในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis+Amphora* (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) average	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) average	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) average
11	0.03±0.00	0.01±0.00	8.35±0.10
12	0.02±0.00	0.01±0.00	7.79±0.08
13	0.05±0.01	0.03±0.00	8.36±0.28
14	0.02±0.00	0.02±0.00	8.65±0.55

ตารางที่ ง.8 การเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลลูกหอยหวานในระบบน้ำแบบปิดที่เลี้ยงโดยใช้สาหร่ายเพียงชนิดเดียวกับการเลี้ยงด้วยสาหร่ายผสมสองชนิด

ความหนาแน่นของลูกหอยระยะ veliger ในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความหนาแน่นของลูกหอยในน้ำ (ตัวต่อลิตร)	
	Isochrysis	***Isochrysis+Amphora***
1	677.3±63.4	756.0±50.6
5	432.2±61.0	426.7±53.2
7	307.8±39.9	354.4±71.4
10	94.4±82.0	116.7±50.7
13	0.0±0.0	27.8±31.9
15	0.0±0.0	0.0±0.0

ความกว้างของเปลือกลูกหอยในถังอนุบาล

วันที่ทดลอง	ความกว้าง (mm.)	
	Isochrysis	***Isochrysis+Amphora***
0	0.18±0.02	0.19±0.03
2	0.24±0.02	0.24±0.03
4	0.32±0.05	0.28±0.04
6	0.32±0.08	0.38±0.06
8	0.39±0.07	0.41±0.06
10	0.39±0.06	0.39±0.07
12	0.41±0.04	0.44±0.06
14	0.47±0.05	0.49±0.03

ความยาวของเปลือกลูกหอยในถังอนุบาล

	ความยาว (mm.)	
วันที่ทดลอง	***Isochrysis***	***Isochrysis+Amphora***
0	0.36±0.17	0.38±0.05
2	0.49±0.04	0.49±0.03
4	0.66±0.09	0.61±0.08
6	0.65±0.11	0.68±0.10
8	0.76±0.13	0.76±0.11
10	0.74±0.10	0.78±0.10
12	0.77±0.05	0.78±0.04
14	0.80±0.06	0.80±0.03

ปริมาณสาหร่าย *Isochrysis* ในถังอนุบาลลูกหอย

	ปริมาณสาหร่าย (X10e4cell/mL)	
วันที่ทดลอง	***Isochrysis***	***Isochrysis+Amphora***
0	25.99±2.20	34.83±1.37
1	30.25±1.39	24.44±1.55
2	26.58±1.64	22.92±1.52
3	26.89±2.15	27.50±2.78
4	40.33±2.21	48.28±1.54
5	55.31±2.04	52.56±2.26
6	89.22±7.64	64.47±2.55
7	35.44±2.08	23.22±1.84
8	51.03±2.65	76.69±3.46
9	49.19±3.11	49.19±3.11
10	59.89±3.86	76.39±3.75
11	44.00±2.99	39.72±3.14
12	58.06±2.62	53.78±1.95
13	45.22±2.03	42.47±2.09

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis*

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) Isochrysis	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) Isochrysis	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) Isochrysis
0	0.00±0.00	0.00±0.00	5.63±0.00
0	0.00±0.00	0.03±0.00	6.73±0.43
2	0.02±0.03	0.03±0.01	5.15±0.12
4	0.04±0.03	0.05±0.03	5.74±0.43
6	0.11±0.06	0.02±0.00	5.60±0.82
7	0.17±0.14	0.03±0.00	6.25±1.08
9	0.21±0.12	0.05±0.03	7.80±0.90
11	0.24±0.11	0.05±0.01	7.79±0.58
14	0.21±0.12	0.04±0.01	7.57±0.58

ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ในถังอนุบาลลูกหอยถัง *Isochrysis+Amphora*

วันที่ทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (mg-N/L) Isochrysis+Amphora	ปริมาณไนไตรต์ (mg-N/L) Isochrysis+Amphora	ปริมาณไนเตรต (mg-N/L) Isochrysis+Amphora
0	0.00±0.00	0.00±0.00	5.63±0.00
0	0.00±0.00	0.04±0.01	7.04±0.09
2	0.03±0.03	0.03±0.00	5.61±0.28
4	0.03±0.04	0.05±0.01	5.80±0.72
6	0.08±0.02	0.01±0.01	5.60±0.82
7	0.09±0.07	0.04±0.01	7.31±0.98
9	0.06±0.05	0.05±0.02	7.87±0.45
11	0.20±0.04	0.03±0.01	7.80±0.22
14	0.21±0.02	0.04±0.01	7.87±0.22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวยุวดี อัณฑสูตร เกิดวันเสาร์ที่ 17 เมษายน พ.ศ.2525 ที่จังหวัดปราจีนบุรี เข้ารับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนปราจีนกัลยาณี จังหวัดปราจีนบุรี เข้าศึกษาระดับปริญญาตรีที่คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ในปี 2544 และสำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ.2547 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท แขนงวิชาชีววิทยาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2548 และได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยภายใต้โครงการวิจัยย่อย เรื่องการพัฒนาเทคนิคการผลิตลูกพันธุ์หอยหวานคุณภาพ สำหรับการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในระหว่างการศึกษาได้มีการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการดังต่อไปนี้

ยุวดี อัณฑสูตร, จันทร์สว่าง งามผ่องใส, เสรี ดอนเหนือ, สรวิศ เผ่าทองศุข และ สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล.2549. อัตราการกินและอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวาน (*Babylonia areolata*) ระยะวัยอ่อน. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร วันที่ 10-12 ตุลาคม พ.ศ. 2549. (นำเสนอผลงานแบบบรรยาย)

ยุวดี อัณฑสูตร, จันทร์สว่าง งามผ่องใส, เสรี ดอนเหนือ, สรวิศ เผ่าทองศุข, นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และ สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล. 2550. การอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดที่มีการผลิตสาหร่ายแบบกึ่งต่อเนื่อง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช วันที่ 18-20 ตุลาคม พ.ศ. 2550. (นำเสนอผลงานแบบบรรยาย)

ยุวดี อัณฑสูตร, สรวิศ เผ่าทองศุข, จันทร์สว่าง งามผ่องใส, เสรี ดอนเหนือ, นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และ สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล. 2551. การอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย เรื่อง การวิจัยและพัฒนาเพื่อการเพาะและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจรของประเทศไทย ครั้งที่ 1 โรงแรมไดมอนด์พลาซ่า อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎ์ธานี วันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551. (นำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์)