# การใช้สาหร่ายทะเลบำบัดน้ำในการเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน

นางสาววรรณณี แสนทวีสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# USE OF SEAWEEDS FOR WATER TREATMENT IN SPOTTED BABYLON (*Babylonia areolata*) CULTURE USING RECIRCULATING SEAWATER SYSTEM

Miss Wannanee Santhaweesuk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2009
Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การใช้สาหร่ายทะเลบำบัดน้ำในการเลี้ยงหอยหวาน ระบบน้ำหมุนเวียน |
| โดย | นางสาววรรณณี แสนทวีสุข |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | อาจารย์ ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ |

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.................................................. คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.................................................. ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

.................................................. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

.................................................. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์)

อาจอง ประทัดสุนทรสาร .................................................. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประทัดสุนทรสาร)

.................................................. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข)

วรรณณี แสนทวีสุข : การใช้สาหร่ายทะเลบำบัดน้ำในการเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน. (USE OF SEAWEEDS FOR WATER TREATMENTS IN SPOTTED BABYLON (*Babylonia areolata*) CULTURE USING RECIRCULATING SEAWATER SYSTEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ. ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 107 หน้า.

ได้ศึกษาความเหมาะสมของการใช้สาหร่ายทะเลเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียน โดยการเปรียบเทียบการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด (สาหร่ายข้อ, *Gracilaria salicornia* และสาหร่ายช่อพริกไทย, *Caulerpa lentillifera*) และความหนาแน่นเริ่มต้นต่างกัน 3 ระดับ (0.33, 0.67 และ 1.00 กรัมต่อลิตร หรือ 250, 500 และ 750 กรัมต่อระบบ) การศึกษาในครั้งนี้ใช้ลูกหอยหวานขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 1.32 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 0.37 กรัม ความหนาแน่น 300 ตัวต่อตารางเมตร และใช้ระยะเวลาการเลี้ยง 120 วัน ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำทะเลในบ่อเลี้ยงหอยหวาน ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ ความนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเป็นกรดด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ค่าความเป็นด่างรวม (50.5-120.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (0.002-0.950 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (0.007-0.225 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไนเตรท-ไนโตรเจน (0.050-28.644 มิลลิกรัมต่อลิตร) และปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (0.053-1.110 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายทะเลมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม และอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับการดำรงชีวิตของหอยหวาน สำหรับหอยหวานที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายทะเลมีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนัก (1.00-1.17 กรัมต่อเดือน) และอัตราการเติบโตโดยความยาวเปลือก (0.35-0.40 เซนติเมตรต่อเดือน) สูงกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในชุดควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (0.90 กรัมต่อเดือน และ 0.34 เซนติเมตรต่อเดือนตามลำดับ) แต่อัตราการรอดตาย (82.29-92.97%) และผลผลิตสุดท้าย (689.5-826.2 กรัม) สูงกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (84.64% และ 577.3 กรัมตามลำดับ) สำหรับอัตราการแลกเนื้อของหอยหวานที่เลี้ยงในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายทะเล (1.41-1.76) และชุดควบคุม (1.68) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถใช้เป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนได้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต วรรณณี แสนทวีสุข
ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

# # 4989169120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : *Babylonia areolata* / RECIRCULATING SYSTEM / SEAWEEDS / WATER TREATMENT / WATER QUALITY

WANNANEE SANTHAWEESUK : USE OF SEAWEEDS FOR WATER TREATMENTS IN SPOTTED BABYLON (*Babylonia areolata*) CULTURE USING RECIRCULATING SEAWATER SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : NILNAJ CHAITANAWISUTI, Ph.D., 107 pp.

This study was conducted to determine the feasibility for using seaweeds as water quality control in a recirculating culture system for the spotted babylon (*Babylonia areolata*). Two seaweeds, *Gracilaria salicornia* and *Caulerpa lentillifera* were used in the experiment. Three initial biomass of each species (0.33, 0.67 and 1.00 g/L or to 250, 500 and 750 g per system) were prepared for each identical culturing system. Spotted babylon at an average initial shell length of 1.32 cm and body weight of 0.37 g were used with a stocking density of 300 snails/m$^2$. The experimental was carried out in duplicates with a period of 120 days. The results showed that seawater parameters such as water temperature, conductivity, salinity, pH, dissolved oxygen and total suspended solid gradually changed with no significant differences among treatment throughout the experimental period. However, alkalinity (50.5-120.0 mg/L), ammonia-nitrogen (0.002-0.950 mg/L), nitrite-nitrogen (0.007-0.225 mg/L), nitrate-nitrogen (0.050-28.644 mg/L) and orthophosphate-phosphorus (0.053-1.110 mg/L) were significant lower in seaweed treatments than those in the control system but under safety criteria of seawater for the spotted babylon. Growth rate in body weight gained (1.00-1.17 g/month) and growth rate in shell length gained (0.35-0.40 cm/month) of the spotted babylon cultured in all seaweed treatments were higher than those of the control (0.90 g/month and 0.34 cm/month, respectively), but there with no significant ($p>0.05$). Survival rate (82.29-92.97%) and final production (689.5-826.2 g) of the spotted babylon cultured in all seaweed treatments were significantly higher than those of the control (84.64% and 577.3 g, respectively) ($p<0.05$). However, feed conversion ratio of all seaweed treatments (1.41-1.76) and the control (1.68) was not significantly different. This study can be concluded that *Gracilaria salicornia* and *Caulerpa lentillifera* can be used for water quality control in a recirculating culture system for spotted babylon.

| | |
|---|---|
| Field of Study : Environmental Science | Student's Signature Wannanee Santhaweesuk |
| Academic Year : 2009 | Advisor's Signature |
| | Co-Advisor's Signature |

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และอาจารย์ ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ อบรมสั่งสอน และให้กำลังใจ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร และ ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งคณาจารย์ในสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ หน่วยปฏิบัติการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบการทำฟาร์มเพาะฟักและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจร (RU หอยหวาน) สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมทั้งสนับสนุนงบประมาณบางส่วนในการทำการวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบุคลากรของ RU หอยหวาน ทุกท่านที่ช่วยเหลือในระหว่างปฏิบัติการทดลอง

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือทำวิจัย

ขอขอบคุณ ดร. สมภพ รุ่งสุภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรุษา กฤษณะพันธุ์ คุณบุญตา คำดี คุณเนชนกร์ จีนเอม คุณจันทร์สว่าง งามผ่องใส คุณสราวุธ แสงสว่างโชติ คุณเสรี ดอนเหนือ คุณมะลิวัลย์ คุตะโค คุณรุ่งนภา สุทธิศรี คุณปวีณา ตปณียวรวงศ์ คุณนฤมล ใบพัด คุณเอกชัย มาลาพล คุณวราภรณ์ ศรีตัมภวา คุณสากล โพธิ์เพชร และคุณประทีป มีคติธรรม สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือด้านต่างๆ และกำลังใจที่มอบให้ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ในการอนุเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัว ที่เป็นส่วนสนับสนุน เป็นแรงผลักดัน และให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........................................ ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........................................ จ
กิตติกรรมประกาศ........................................ ฉ
สารบัญ........................................ ช
สารบัญตาราง........................................ ฌ
สารบัญภาพ........................................ ฏ

บทที่

1 บทนำ........................................ 1
    1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา........................................ 1
    1.2 วัตถุประสงค์........................................ 3
    1.3 สมมุติฐาน........................................ 3
    1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........................................ 3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........................................ 4
    2.1 แนวคิดและความสำคัญของงานวิจัย........................................ 4
    2.2 ลักษณะทางชีววิทยาของหอยหวานและสาหร่ายทะเล........................................ 5
    2.3 คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงหอยหวาน........................................ 12
    2.4 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงหอยหวาน........................................ 24
    2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย........................................ 24
    2.6 ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด........................................ 30
    2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........................................ 31
3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง........................................ 37
    3.1 สถานที่วิจัย........................................ 37
    3.2 การวางแผนการทดลอง........................................ 37
    3.3 การเตรียมสัตว์ทดลองและพืชทดลอง........................................ 37
    3.4 การเตรียมบ่อทดลอง........................................ 39
    3.5 วิธีการเลี้ยงหอยหวานและการให้อาหาร........................................ 42
    3.6 การจัดการระบบเลี้ยงและการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล........................................ 43

บทที่ หน้า

3.7 การเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยง.................. 43

3.8 การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของสัตว์ทดลองและพืชทดลอง.................... 45

3.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ.................................................................................... 47

4 ผลการทดลอง.................................................................................................. 48

4.1 คุณภาพน้ำทะเล............................................................................................ 48

4.2 การเติบโต การรอดตาย ความผิดปกติของเปลือก อัตราการแลกเนื้อ และผลผลิตของหอยหวาน............................................................................................ 62

4.3 การเติบโตและผลผลิตของสาหร่ายทะเล...................................................... 74

5 วิจารณ์ผลการทดลอง........................................................................................ 78

5.1 คุณภาพน้ำทะเล............................................................................................ 78

5.2 การเติบโตของหอยหวาน............................................................................... 83

5.3 การเติบโตของสาหร่ายทะเล………………................................................... 85

6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.................................................................... 87

6.1 สรุปผลการทดลอง......................................................................................... 87

6.2 ข้อเสนอแนะ.................................................................................................. 89

รายการอ้างอิง...................................................................................................... 90

ภาคผนวก............................................................................................................. 98

ภาคผนวก ก.......................................................................................................... 99

ภาคผนวก ข.......................................................................................................... 106

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..................................................................................... 107

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2-1 คุณค่าทางอาหารของหอยหวานจากการเลี้ยงและหอยหวานที่จับได้จากธรรมชาติ........ 8
2-2 การแบ่งชนิดของน้ำตามระดับความเค็ม........ 14
2-3 ผลของระดับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่อสัตว์น้ำ........ 15
3-1 วิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ........ 44
4-1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำทะเล (mean ± SD, min-max) ณ เวลา 8.00 น. ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 49
4-2 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้า (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 50
4-3 ค่าเฉลี่ยความเค็ม (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 51
4-4 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 52
4-5 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 53
4-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 54
4-7 ค่าเฉลี่ยความเป็นด่าง (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 55
4-8 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 56
4-9 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 57
4-10 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 58
4-11 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........ 59

ตารางที่ หน้า

4-12 ค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........................................................ 60
4-13 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน................................................. 61
4-14 การเติบโตโดยน้ำหนัก (กรัม) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ.......................................................................................... 63
4-15 น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ........................................... 64
4-16 การเติบโตโดยความยาวเปลือก (เซนติเมตร) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ.................................................................... 66
4-17 ความยาวสุดท้าย ความยาวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ................................ 67
4-18 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ.......................................................................................... 69
4-19 อัตราการแลกเนื้อเฉลี่ยของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ... 70
4-20 ผลผลิตของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ....................... 71
4-21 อัตราการเติบโตจำเพาะของสาหร่ายทะเลในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ................................................................... 75
4-22 น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายทะเล (กรัม) ในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ.................................................................... 76

# สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ...................................... 16
2-2 ปริมาณของ $CO_2$, $HCO_3^-$ และ $CO_3^{2-}$ ที่ระดับพีเอชต่างๆ.............................. 18
3-1 ลูกพันธุ์หอยหวาน.............................................................................. 38
3-2 สาหร่ายทะเลที่ใช้ในการทดลอง (ก) สาหร่ายข้อ (ข) สาหร่ายช่อพริกไทย......... 39
3-3 ระบบการเลี้ยงหอยหวานแบบหมุนเวียน (ก) แผนผังระบบทดลอง (ข) ภาพถ่ายของระบบทดลอง.................................................................................... 40
3-4 การเตรียมบ่อเลี้ยงหอยหวาน..................................................................... 41
3-5 การเตรียมบ่อกรองชีวภาพ (ก) การปูพื้นบ่อด้วยกระซ้าเปลือกหอย (ข) การปูทับกระซ้าเปลือกหอยด้วยเปลือกหอยนางรมขนาดใหญ่................................ 41
3-6 การเตรียมบ่อดูดซับสารอาหาร................................................................... 42
3-7 เนื้อปลาข้างเหลือง................................................................................. 43
3-8 ลักษณะการกินอาหารของหอยหวาน.......................................................... 43
3-9 เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำภาคสนาม (ก) Portable Multi-Parameter Meter Model YSI # 63, (ข) DO meter (Model YSI 52) และ (ค) pH meter (YSI pH10)............................................................................................ 45
3-10 การชั่งน้ำหนัก และการวัดความยาวเปลือกของหอยหวาน............................. 46
3-11 การชั่งน้ำหนักสาหร่ายทะเล...................................................................... 47
4-1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำทะเล ณ เวลา 8.00 น. ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน.......................................................................................... 48
4-2 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน.......... 50
4-3 ค่าเฉลี่ยความเค็มในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน................. 51
4-4 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน.... 52
4-5 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน.......................................................................................... 53
4-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน.......................................................................................... 54
4-7 ค่าเฉลี่ยความเป็นด่างในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน.......... 55

ภาพที่ หน้า

4-8 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........................ 56

4-9 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........................ 57

4-10 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........................ 58

4-11 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........................ 59

4-12 ค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........................ 60

4-13 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน........................ 61

4-14 การเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ.. 64

4-15 การเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ........................ 67

4-16 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ........................ 68

4-17 ภาพถ่ายของหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ........... 72

4-18 ภาพถ่ายแสดงความผิดปกติของเปลือกหอยหวานบริเวณส่วนหลัง (บน) และส่วนท้อง (ล่าง) ในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ........................ 73

4-19 น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายทะเล (กรัม) ในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ........................ 74

ภาพที่ หน้า

4-20 ภาพถ่ายของสาหร่ายทะเล (ก) สาหร่ายข้อ (ข) สาหร่ายช่อพริกไทยในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน.................................................... 77

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอยหวาน (*Babylonia areolata*) เป็นหอยทะเลฝาเดียวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งในปัจจุบัน เพราะปริมาณความต้องการที่สูงขึ้นทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ในขณะที่ปริมาณหอยหวานจากการประมงมีแนวโน้มลดลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดที่ต้องการปริมาณสูงและต่อเนื่อง การเลี้ยงหอยหวานจึงมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงในเชิงธุรกิจมากขึ้น โดยการเลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดในปัจจุบันทำการเลี้ยงในบ่อผ้าใบ/บ่อคอนกรีต และใช้ระบบน้ำ 3 แบบ คือ 1) ระบบน้ำไหลผ่านตลอด (flow-through seawater system) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการให้น้ำไหลผ่านบ่อเลี้ยงตลอด 24 ชั่วโมงหรืออย่างน้อย 12 ชั่วโมงต่อวัน การเลี้ยงหอยหวานในระบบน้ำไหลผ่านจึงจำเป็นต้องอยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลเพราะใช้น้ำปริมาณมากในการจัดการบ่อเลี้ยง 2) ระบบน้ำนิ่ง (static seawater system) ซึ่งเป็นบ่อเลี้ยงที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในปริมาณที่เหมาะสม เช่น 100, 80 หรือ 50 เปอร์เซ็นต์ ภายในช่วงเวลาต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพของบ่อเลี้ยงและอัตราการปล่อยหอย (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ, 2551) เช่น เปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 7, 15, 30 หรือ 60 วัน โดยพบว่าช่วงเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน และการเลี้ยงหอยหวานในบ่อดินอยู่ระหว่าง 7-15 วัน (มลฤทัย ไชยน้ำอ้อม, 2548; นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ, 2551; Kritsanapuntu et al., 2006, 2009) และ 3) ระบบน้ำหมุนเวียน (recirculating seawater system) เป็นการเลี้ยงโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการชดเชยน้ำในส่วนที่ระเหยไป (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) แต่ในทางปฏิบัติการจัดการบ่อเลี้ยงหอยหวานทั้ง 3 ระบบจะใช้วิธีเดียวกันคือ เมื่อเกิดปัญหาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง หรือทรายรองพื้นบ่อสกปรก มีกลิ่นเหม็นและสีดำคล้ำ โดยสังเกตจากหอยหวานจะไม่กินอาหารและไม่ฝังตัวใต้พื้นทราย วิธีการแก้ปัญหาคือ เกษตรกรจะล้างทรายด้วยการกวนพื้นทรายในบ่อเลี้ยงให้น้ำมีความขุ่นมากที่สุดและปล่อยน้ำทิ้งไปและนำน้ำใหม่เข้ามาทดแทน 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงจะถูกปล่อยลงสู่คลองทิ้งน้ำหรือไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ไม่มีการบำบัดคุณภาพน้ำ ซึ่งน้ำที่ปล่อยทิ้งออกมาจากบ่อเลี้ยงหอยหวานจะมีปริมาณอินทรีย์สารที่เกิดจากการขับถ่ายของหอยหวาน เศษอาหารที่เหลือ ซากสัตว์ที่ตายแล้วในปริมาณสูง และหากน้ำทิ้งมีปริมาณมากก็จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติและก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำขึ้นได้

การเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบน้ำหมุนเวียนได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อลดปัญหาการปล่อยน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงออกสู่สิ่งแวดล้อม ระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระบบที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกสู่ภายนอก แต่เมื่อทำการเพาะเลี้ยงด้วยระบบดังกล่าวเป็นระยะเวลานานพบว่า คุณภาพน้ำในระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำในระบบ เนื่องจากการที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบจะทำให้เกิดการสะสมของปริมาณของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์ และเศษอาหารที่เหลือจากการกิน ซึ่งสารอาหารเหล่านี้ล้วนเป็นแหล่งอาหารที่ดีต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ รวมถึงจุลชีพต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวขึ้นในระบบ และเกิดการใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้น้ำในระบบเลี้ยงมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอและส่งผลให้สัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงในระบบขาดออกซิเจนในการหายใจขึ้นได้ นอกจากนี้การที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบจะทำให้มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคระบาดขึ้นภายในระบบ และสัตว์น้ำเกิดการติดโรค โดยความรุนแรงของโรคจะมีเพิ่มขึ้นและทำให้มีอัตราการตายของสัตว์น้ำสูงขึ้น ดังนั้น ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของสัตว์ที่เลี้ยง โดยการพยายามหาแนวทางในการบำบัดคุณภาพน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อจะสามารถใช้น้ำในระบบได้เป็นระยะเวลานานมากที่สุดหรือนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงใหม่ต่อไป นอกจากนี้ระบบนี้ยังสามารถลดปัญหาการปล่อยน้ำเสียปริมาณมากออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง

จากแนวความคิดที่ว่า สาหร่ายทะเลมีความสามารถในการนำสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำมาใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง และสามารถใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปลดปล่อยออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายข้อ (*Gracilaria salicornia*) และสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) สำหรับการควบคุมและบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน เพื่อให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ไม่มีการสะสมของปริมาณของเสียและสารอาหารสูงจนเป็นอันตรายต่อหอยหวาน ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะช่วยลดอัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระบบ ลดปริมาณการใช้น้ำในการเลี้ยง รวมทั้งยังเป็นการลดผลกระทบจากการปล่อยน้ำทิ้งของการเลี้ยงหอยหวานลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เพราะมีการทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในปริมาณน้อยลง และน้ำทิ้งดังกล่าวมีปริมาณอินทรียสารและสารอาหารในปริมาณน้อยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ระบบน้ำหมุนเวียนยังส่งผลต่อคุณภาพของหอยหวานภายในบ่อเลี้ยง กล่าวคือ เมื่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงดีหอยหวานก็จะมีการเติบโตดี การรอดตายสูง และผลผลิตสูงขึ้น รวมถึงเป็นการเพิ่มผลผลิต

พลอยได้ให้แก่เกษตรกร เนื่องจากสาหร่ายทะเลที่ได้จากระบบเลี้ยงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน โดยการใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมและบำบัดคุณภาพน้ำ

2. ศึกษาการเติบโตและผลผลิตของหอยหวาน และสาหร่ายทะเลในบ่อเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่มีการใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมและบำบัดคุณภาพน้ำ

### 1.3 สมมุติฐาน

1. สาหร่ายทะเล (สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทย) มีความสามารถในการใช้สารอาหาร (แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส) ในน้ำทะเลได้ต่างกัน

2. การบำบัดน้ำทะเลในการเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน โดยการใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมและบำบัดคุณภาพน้ำ จะทำให้คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ไม่เป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของหอยหวาน และน้ำทิ้งจากระบบเลี้ยงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำธรรมชาติ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการเลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดโดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียนที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถเลี้ยงหอยหวานที่มีคุณภาพผลผลิตดีเทียบเท่ากับการเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำทะเลไหลผ่านตลอด

2. สามารถขยายพื้นที่เลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดไปในบริเวณที่อยู่ไกลจากชายฝั่งทะเลหรือแก้ปัญหาในช่วงระยะเวลาที่มีปัญหาด้านมลพิษทางน้ำ

3. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำของการเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบอื่นๆ เช่น การเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำทะเลไหลผ่านตลอด หรือการเลี้ยงหอยหวานในบ่อดินที่มีการใช้น้ำทะเลในปริมาณมากและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำสูง

# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 แนวคิดและความสำคัญของงานวิจัย

การเลี้ยงหอยหวาน *Babylonia areolata* Link 1807 ในประเทศไทย เริ่มได้รับความสนใจจากเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา สืบเนื่องจากประชากรหอยหวานในธรรมชาติลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ชาวประมงจับหอยหวานในธรรมชาติได้น้อยลง ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้นทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศ อีกทั้งหอยหวานเป็นสัตว์น้ำที่มีราคาจำหน่ายค่อนข้างสูง และมีวิธีการเลี้ยงที่ง่าย ไม่สลับซับซ้อน การเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์จึงขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งในลักษณะที่ทำเป็นอาชีพหลัก หรืออาชีพเสริม ซึ่งในปัจจุบันมีฟาร์มหอยหวานประมาณ 20 ฟาร์ม กระจายอยู่ตามจังหวัดชายฝั่งทะเลทั่วไป ทั้งในจังหวัดชายฝั่งทะเลในภาคตะวันออก เช่น ตราด ระยอง จันทบุรี ชลบุรี และจังหวัดชายฝั่งทะเลในภาคใต้ ตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และนครศรีธรรมราช

รูปแบบการเลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดในปัจจุบัน ทำการเลี้ยงในบ่อผ้าใบ/บ่อคอนกรีต และใช้ระบบน้ำ 3 แบบ คือ 1) ระบบน้ำไหลผ่านตลอด (flow-through seawater system) 2) ระบบน้ำนิ่ง (static seawater system) และ 3) ระบบน้ำหมุนเวียน (recirculating seawater system) โดยฟาร์มเลี้ยงหอยหวานภาคเอกชนในปัจจุบันเกือบ 90 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำไหลผ่านตลอด โดยมีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 150 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาการไหล 6-12 ชั่วโมงต่อวัน เพราะเป็นระบบการเลี้ยงที่ให้ผลผลิตหอยหวานที่สูง หอยหวานที่ได้มีคุณภาพดี เนื่องจากระบบการเลี้ยงนี้จะไม่มีการสะสมของเสียในระบบเลี้ยง แต่อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงหอยหวานระบบไหลผ่านตลอดก็มีข้อจำกัด คือ ฟาร์มเลี้ยงหอยหวานจำเป็นต้องอยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล เนื่องจากใช้น้ำทะเลในปริมาณมากในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนถ่ายน้ำสูง นอกจากนี้ น้ำทิ้งจากการเลี้ยงที่มีปริมาณอินทรียสารที่เกิดจากการขับถ่ายของหอย เศษอาหารที่เหลือ ซากสัตว์ที่ตายแล้วในปริมาณสูง จะถูกปล่อยลงสู่คลองทิ้งน้ำหรือไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ไม่มีการบำบัดคุณภาพน้ำ และหากน้ำทิ้งมีปริมาณมากก็จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติและก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำขึ้นได้ จากปัญหาเหล่านี้ แนวคิดในการพัฒนาระบบการเลี้ยงหอยหวานแบบหมุนเวียนจึงได้รับความสนใจมากขึ้น แต่ระบบการเลี้ยงแบบหมุนเวียนก็มีข้อจำกัด คือ เมื่อเลี้ยงไประยะเวลาหนึ่ง ระบบจะมีการสะสมปริมาณของเสียมากขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของหอยหวานในระบบเลี้ยง สิ่งที่จำเป็นสำหรับการเลี้ยงหอยหวานในระบบนี้ ก็คือ ต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ไม่ก่อให้เกิด

อันตรายต่อหอยหวาน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายข้อ (*Gracilaria salicornia*) และสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) สำหรับการควบคุมและบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน เพื่อให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ไม่มีการสะสมของปริมาณของเสียและสารอาหารสูงจนก่อให้เกิดอันตรายต่อหอยหวาน และสาหร่ายทะเลที่ได้จากระบบยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้

## 2.2 ลักษณะทางชีววิทยาของหอยหวานและสาหร่ายทะเล

### 2.2.1 ชีววิทยาของหอยหวาน

ก. อนุกรมวิธานของหอยหวาน *Babylonia areolata*

หอยหวาน มีการจัดลำดับอนุกรมวิธาน ดังนี้

Phylum: Mollusca
 Class: Gastropoda
  Order: Neogastropoda
   Family: Buccinidae
    Genus: *Babylonia*
     Species: *Babylonia areolata* Link 1807

ข. ลักษณะทั่วไปของ *Babylonia areolata*

หอยหวาน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Babylonia areolata* ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ คือ spotted babylon ชื่อสามัญภาษาไทยคือ หอยตุ๊กแกหรือหอยเทพรส อยู่ในกลุ่มหอยทะเลฝาเดียว เปลือกค่อนข้างหนาทรงไข่ (ovate) ผิวเรียบ เปลือกมีพื้นสีขาวและมีแต้มสี่เหลี่ยมสีน้ำตาลดำขนาดใหญ่เรียงเป็นแถว 3 แถว บนวงลำตัว (body whorl) บริเวณปลายสุดของส่วนเปลือกจะแหลม ส่วนหัวจะขดเป็นเกลียว (spire) และมีร่องที่ไม่ลึกมาก ฝาปิด (operculum) เป็นรูปทรงไข่ที่สามารถปิดช่องเปิดลำตัวได้อย่างสนิท (นิลนาจ ชัยธนาวิทธิ์ และศิรุษา กฤษณะพันธุ์, 2545) ปกติหอยหวานจะฝังตัวอยู่ใต้พื้นทราย และยื่นเฉพาะไซฟอน (siphon) โผล่พ้นพื้นทรายขึ้นมา สำหรับดูดน้ำทะเลเข้าสู่ภายในตัว เพื่อให้น้ำทะเลผ่านเหงือก เพื่อรับออกซิเจนเข้าไปเผาผลาญอาหารให้เกิดพลังงาน และนำไปใช้ในขบวนการต่างๆ ภายในร่างกาย เพื่อการดำรงชีพ และการเติบโตต่อไป ในธรรมชาติ หอยหวานจะออกหากินในเวลากลางคืน โดยจะใช้เท้า (muscular foot) ในการเคลื่อนที่ หอยหวานมีหนวด 1 คู่ และมีตา 1 คู่ ตาของหอยหวานใช้สำหรับรับรู้เกี่ยวกับแสงสว่างเท่านั้น (จรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ, วัลลภ ทิมดี และสมพิศ พรรณา, 2546)

โดยทั่วไปหอยหวานอาศัยอยู่บริเวณพื้นทะเลที่เป็นทรายหรือเป็นทรายปนโคลนที่ระดับความลึกประมาณ 5-20 เมตร และแพร่กระจายอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย ได้แก่ ตราด จันทบุรี ระยอง ชลบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และชุมพร ในทะเลฝั่งอันดามันจะพบหอยหวานอีกชนิดหนึ่ง คือ *Babylonia spirata* ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ คือ spiral babylon ชื่อสามัญภาษาไทย คือ หอยหมาก มีลักษณะคล้ายกับหอยหวาน แต่เปลือกมีสีเข้มกว่า และมีแต้มสีน้ำตาลจำนวนมากกว่า ส่วนหัวที่เป็นเกลียวจะมีร่องลึกมากกว่า และมีขนาดเล็กกว่าหอยหวาน รวมทั้งเนื้อของหอยหมากจะมีสีดำคล้ำมากกว่าหอยหวาน ซึ่งในปัจจุบันแทบจะไม่พบหอยชนิดนี้ในประเทศไทย

ค. อาหารและการกินอาหาร (food and feeding)

หอยหวานมีพฤติกรรมการกินอาหาร 2 แบบ ตามช่วงชีวิต ดังนี้

1. ลูกหอยหวานระยะวัยอ่อน มีการดำรงชีพแบบแพลงก์ตอน (planktonic larvae) กินอาหารด้วยการกรอง (filter feeder) โดยใช้อวัยวะคล้ายแปรงเป็นวง เรียกว่า velum โบกพัดน้ำทะเลเข้าสู่ช่องปาก และกรองกินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร

2. ลูกหอยหวานระยะลงพื้นจนถึงระยะตัวเต็มวัย มีการดำรงชีพบนพื้นทะเล และกินซากสัตว์ที่ตายแล้วเป็นอาหาร (scavenger) ทั้งในสภาพสดและไม่สด โดยหอยหวานมีต่อมน้ำลายสำหรับสร้างน้ำย่อยและส่งออกมาทางงวงยาวที่เรียกว่า proboscis เพื่อย่อยอาหารภายนอกร่างกายแล้วจึงดูดเข้าไปภายในร่างกาย โดยงวงนี้สามารถยืดยาวได้ประมาณ 8-10 เซนติเมตร อาหารจะถูกส่งเข้าไปตามหลอดอาหารเข้าสู่กระเพาะไปยังลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ และเศษอาหารที่เหลือจะถูกปล่อยออกสู่ภายนอกร่างกายทางทวารหนัก เมื่อหอยหวานกินอาหารอิ่มแล้วจะเดินออกจากเหยื่อและฝังตัวอยู่ใต้ชั้นทรายทันที ระบบทางเดินอาหารของหอยหวาน ประกอบด้วยปาก หลอดอาหาร กระเพาะ ลำไส้ และทวารหนัก

ง. วงจรชีวิต (life cycle) และการสืบพันธุ์ (reproduction)

หอยหวานจัดเป็นสัตว์แยกเพศ (dioecious) คือ เพศผู้และเพศเมียไม่ได้อยู่ในตัวเดียวกัน และไม่สามารถจำแนกเพศของหอยหวานได้จากลักษณะเปลือกภายนอก เมื่อหอยยืดตัวออกมาจากเปลือกจึงจะสามารถสังเกตเพศของหอยหวานได้ โดยหอยหวานเพศผู้สามารถเห็นอวัยวะสืบพันธุ์ที่เรียกว่า penis ซึ่งมีรูปร่างคล้ายติ่งแบนรูปใบไม้ (leafler shape) มีสีเหลืองอ่อนอยู่บริเวณโคนหนวดด้านขวา ส่วนเพศเมียจะไม่ปรากฏติ่งแบนแต่จะพบรูเปิดด้านใต้ของเท้าเพื่อปล่อยฝักไข่ (นิลนาจ ชัยธนาวิทธิ์ และศิรุษา กฤษณะพันธุ์, 2545; จรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ และคณะ, 2546) ระบบสืบพันธุ์ของหอยหวานเพศเมียประกอบด้วย รังไข่ (ovary) อยู่บริเวณปลายสุดของ

ส่วนเปลือก ต่อมสร้างไข่ขาว (albumin gland) และต่อมสร้างเปลือก (capsule gland) สำหรับเพศผู้ประกอบด้วย อัณฑะ (testis) อยู่บริเวณปลายสุดของส่วนเปลือกเช่นกัน ต่อมสร้างฮอร์โมนเพศ (prostate gland) ท่อส่งสเปิร์ม (sperm duct) และช่องเปิดออกทาง penis

หอยหวานเพศผู้และเพศเมีย ก่อนการผสมพันธุ์กันจะมีการจับคู่ และเคลื่อนตัวไปด้วยกันในเวลากลางคืนหรือในที่มืด หลังจากนั้นตัวผู้จะสอดอวัยวะเพศเข้าไปในตัวเมีย แล้วปล่อยน้ำเชื้อเข้าผสมกับไข่บริเวณท่อนำรังไข่ (จรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ และคณะ, 2546) เมื่อไข่ปฏิสนธิแล้ว (fertilized eggs) จะพัฒนาเป็นลูกหอยระยะ trocophore ภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังการวางไข่ และเจริญอยู่ภายในฝักไข่เป็นเวลาประมาณ 4-5 วัน หลังจากนั้นลูกหอยระยะวัยอ่อน (veliger larvae) จะฟักออกจากฝักไข่ และดำรงชีพแบบแพลงก์ตอนล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ และลูกหอยระยะวัยอ่อนจะเจริญสู่ลูกหอยระยะลงพื้น (settled juveniles) ภายในเวลาประมาณ 14 วัน ลูกหอยระยะลงพื้นมีเปลือกและรูปร่างสมบูรณ์เหมือนพ่อแม่และดำรงชีพด้วยการคืบคลานบนพื้นทะเล ลูกหอยระยะนี้มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมที่สำคัญ 2 ประการ คือ 1) เปลี่ยนจากการดำรงชีพแบบแพลงก์ตอนเป็นสัตว์พื้นทะเล และ 2) เปลี่ยนจากสัตว์กินพืชเป็นสัตว์กินเนื้อ โดยลูกหอยระยะลงพื้นจะเติบโตเป็นหอยหวานระยะวัยรุ่น (juvenile) ความยาวเปลือกประมาณ 0.5 เซนติเมตร ภายในเวลาประมาณ 14-20 วัน และเริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ (first maturity) เมื่อมีความยาวเปลือกประมาณ 3.6 เซนติเมตร (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และศิรุษา กฤษณะพันธุ์, 2545)

### จ. คุณค่าทางอาหารของหอยหวาน

ศิรุษา กฤษณะพันธุ์ และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหอยหวานจากการเพาะเลี้ยงเปรียบเทียบกับหอยหวานที่จับได้จากธรรมชาติ พบว่าคุณค่าทางอาหารของหอยหวานทั้ง 2 แบบ ไม่แตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 2-1)

**ตารางที่ 2-1** คุณค่าทางอาหารของหอยหวานจากการเลี้ยงและหอยหวานที่จับได้จากธรรมชาติ

| พารามิเตอร์ | หน่วย | หอยหวานจากการเลี้ยง | หอยหวานจากธรรมชาติ |
|---|---|---|---|
| Cholesterol | mg/100g | 133.51 | 166.41 |
| Protein | g/100g | 18.78 | 19.97 |
| Total Fat | g/100g | 2.86 | 2.79 |
| Carbohydrate | g/100g | 5.18 | 4.64 |
| Ash | g/100g | 5.27 | 4.84 |
| Moisture | g/100g | 67.91 | 67.76 |

ที่มา: ศิรุชา กฤษณะพันธุ์ และคณะ (2552)

### 2.2.2 ชีววิทยาของสาหร่ายทะเล

สาหร่ายทะเลเป็นพืชน้ำ ที่จัดเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นของระบบนิเวศแหล่งน้ำ จึงกล่าวได้ว่าสาหร่ายมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ สาหร่ายมีมากมายหลายชนิดซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ จุลสาหร่าย (microalgae) ซึ่งมีความหมายครอบคลุมสาหร่ายขนาดเล็กที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น และมหสาหร่าย (macroalgae) หมายถึง สาหร่ายที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะกลุ่มของสาหร่ายทะเล (seaweed) รวมถึงสาหร่ายน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543)

#### 2.2.2.1 สาหร่ายข้อ *Gracilaria salicornia*

ก. อนุกรมวิธานของสาหร่ายสกุล *Gracilaria*

สาหร่ายสกุล *Gracilaria* เป็นสาหร่ายสีแดง มีการจัดลำดับอนุกรมวิธาน ดังนี้

Division: Rhodophyta
  Class: Rhodophyceae
    Order: Gracilariales
      Family: Gracilariaceae
        Genus: *Gracilaria*
        (Fredericq and Hommersand, 1989)

ข. ลักษณะของสาหร่ายสกุล *Gracilaria*

สาหร่ายสกุล *Gracilaria* มีลักษณะกลมหรือแบน อวบน้ำ แตกแขนงมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิด การแตกแขนงเป็นแบบสลับ (alternate) แบบคู่ (dichotomous) แตกแขนงเพียง

ด้านเดียว (secund) หรือไม่เป็นระเบียบ (irregular) บางชนิดแตกแขนงมากจนเป็นพุ่มขนาดใหญ่ ปลายแขนงมีทั้งปลายแหลม ปลายมน ปลายตัด หรือแยกเป็นแฉก ส่วนโคนแขนงบางชนิดอาจคอดหรือเรียวเล็ก โครงสร้างของทัลลัสประกอบด้วยเซลล์ซูโดพาเรนไคมา (pseudoparenchyma) เซลล์ชั้นผิวมีขนาดเล็กและในชั้นถัดเข้าไปเซลล์จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527, 2536)

ค. วงจรชีวิตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria*

สาหร่ายสกุล *Gracilaria* มีวงจรชีวิตแบบสลับระหว่างต้นมีเพศ (gametophyte plant) กับต้นไม่มีเพศ (sporophyte plant) ต้นมีเพศแยกเป็นต้นเพศผู้และต้นเพศเมีย ดังนั้นจึงมีต้น 3 ชนิดด้วยกัน โดยต้นทั้ง 3 ชนิด มีรูปร่างลักษณะเหมือนกันทุกประการ

วงจรชีวิตมี 3 ช่วง (triphasic type) ได้แก่

1. gametophyte phase คือ ช่วงชีวิตที่มีต้นเพศผู้ และต้นเพศเมีย ต้นเพศผู้สร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เรียกว่า สเปอร์มาเทียม (spermatium) ส่วนต้นเพศเมียสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เรียกว่า คาร์โปโกเนียม (carpogonium) การผสมเกิดบนต้นเพศเมีย

2. carposporophyte phase คือ ช่วงหลังการผสมของเซลล์สืบพันธ์เพศผู้กับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียซึ่งจะพัฒนาจนกลายเป็นกระเปาะสปอร์ (cystocarp) มีลักษณะเป็นปุ่มกลมๆ ขนาดหัวเข็มหมุด เกิดทั่วไปตามผิวทัลลัสของต้นเพศเมีย ภายในกระเปาะสปอร์มีคาร์โปสปอร์ (carpospore)

3. tetrasporophyte phase คือ ช่วงที่คาร์โปสปอร์งอกเป็นต้นไม่มีเพศ ซึ่งเรียกต้นที่งอกออกมาว่า ต้นเตตราสปอร์ (tetrasporophyte) โดยต้นชนิดนี้จะสร้างเตตราสปอร์ (tetraspore) และเตตราสปอร์จะงอกเป็นต้นเพศผู้และต้นเพศเมียอย่างละเท่าๆ กัน

ง. อนุกรมวิธานของสาหร่ายข้อ *Gracilaria salicornia*

Division: Rhodophyta
Class: Rhodophyceae
Order: Gracilariales
Family: Gracilariaceae
Genus: *Gracilaria*
Species: *Gracilaria salicornia*

จ. ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *Gracilaria salicornia*

ทัลลัสมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง อวบน้ำ สูง 6 เซนติเมตร ประกอบด้วย ส่วนล่างทอดนอนไปตามผิวพื้น โดยมีรากยึดเกาะเป็นระยะๆ ส่วนบนแตกแขนง บางส่วนแผ่ออกด้านข้าง บางส่วนตั้งตรง แขนงมีลักษณะเป็นข้อเรียงต่อกัน แตกแขนงแบบคู่หรือได้ถึง 4 แขนงจากแต่ละข้อ ซิสโตคาร์ปกลม ไม่มีจงอย ฐานคอดเล็กน้อย พบขึ้นอยู่ได้ทั่วไปทั้งบนหิน กรวด เปลือกหอย และรากแสม ทั้งในน้ำใสและน้ำขุ่น ถ้าขึ้นในน้ำขุ่น ทัลลัสจะมีสีน้ำตาลอ่อนหรือน้ำตาลเข้มเกือบดำ หากขึ้นในน้ำใสมักมีสีเหลืองหรือสีส้ม (Lewmanomont and Ogawa, 1995)

อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้เป็นถุงแบบ verrucosa-type กระเปาะสปอร์มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ประกอบด้วย pericarp หนา เซลล์แถวนอกยาวมี 6-8 ชั้น แถวในกลมมี 5-8 ชั้น ginimoblast ประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็ก มีจำนวนมาก absorbing filament พบทั้งด้านบนและด้านล่าง สาหร่าย *Gracilaria salicornia* ขึ้นได้ในสภาพแหล่งน้ำหลายลักษณะ ทั้งพื้นทรายปนโคลน พื้นหิน หรือบริเวณป่าชายเลน พบทั้งในน้ำที่ขุ่นหรือใส จึงมีการกระจายอย่างกว้างขวาง พบเกือบทุกจังหวัดบริเวณชายทะเล เนื่องจากทัลลัสมีลักษณะเป็นข้อๆ เรียงต่อกัน จึงมีชื่อเรียกว่าสาหร่ายข้อ (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2536)

ฉ. คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Gracilaria salicornia*

ปาริชาติ ภู่สว่าง และเยาวลักษณ์ มณีรัตน์ (2522) อ้างถึงใน ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์ และเยาวลักษณ์ อัมพรรัตน์ (2529) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Gracilaria salicornia* พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.94 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 5.90 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6.67 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 77.80 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 9.63 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 89.95 เปอร์เซ็นต์

### 2.2.2.2 สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera*

ก. อนุกรมวิธานของสาหร่ายสกุล *Caulerpa*

สาหร่ายสกุล *Caulerpa* เป็นสาหร่ายสีเขียว มีการจัดลำดับอนุกรมวิธาน ดังนี้

Division: Chlorophyta
- Class: Chlorophyceae
  - Order: Caulerpales
    - Family: Caulerpaceae
      - Genus: *Caulerpa*

ข. ลักษณะของสาหร่ายสกุล *Caulerpa*

สาหร่ายสกุล *Caulerpa* มีทัลลัสเป็นท่อติดกันตลอด มีรากเป็นฝอยทำหน้าที่ยึดเกาะ และทอดแขนงซึ่งเป็นลักษณะคล้ายไหล (stolon) ออกเป็นระยะๆ ส่วนที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงมีลักษณะคล้ายใบ เรียกว่า รามูลัส (ramulus) มีรูปร่างลักษณะต่างๆ บางชนิดกลม บางชนิดแบน หรือเป็นเส้นเหมือนขนนก ทัลลัสมีขนาดใหญ่เล็กต่างกัน บางชนิดอาจยาวถึง 1 เมตร มีทราเบคูลา (trabecula) ซึ่งเป็นส่วนผนังเซลล์ชั้นในยื่นเข้าไปในช่องเซลล์ (cell cavity) มีลักษณะเหมือนตาข่ายประสานกัน โดยไม่ได้ปิดกั้นการไหลเวียนของโปรโตพลาสต์ภายในเซลล์ ซึ่งสาหร่ายสกุลนี้มักขึ้นอยู่ตามพื้นทรายปนโคลน หรือขึ้นเกาะบนซากปะการัง (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527)

ค. อนุกรมวิธานของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera*

Division: Chlorophyta
Class: Chlorophyceae
Order: Caulerpales
Family: Caulerpaceae
Genus: *Caulerpa*
Species: *Caulerpa lentillifera* J. Agardh

ง. ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera*

ทัลลัสประกอบด้วยสโตลอนที่คืบคลานไปตามพื้นและแตกแขนงได้ ส่วนของแขนงที่ตั้งตรงสูง 1-6 เซนติเมตร มักเกิดเดี่ยวๆ ไม่ค่อยแตกแขนง ประกอบด้วยรามูลัสเล็กๆ ลักษณะกลมๆ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-2 มิลลิเมตร มีก้านสั้นๆ เรียงกันคล้ายช่อพริกไทย แต่ละรามูลัสมีรอยคอดระหว่างก้านและส่วนที่เป็นเม็ดกลมสีเขียวใส ขึ้นบนก้อนหินหรือพื้นทรายที่น้ำตื้นๆ ใกล้แนวปะการัง (Lewmanomont and Ogawa, 1995)

โดยทั่วไปจะพบสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ขึ้นตามพื้นทรายปนโคลนในบริเวณแนวหินที่ตื้น ลักษณะสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้พบในทรายหรือโคลนปนทราย ในบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลงประมาณ 8 เมตร สาหร่ายชนิดนี้จะมีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน และอนินทรีย์รูปอื่น เช่น ฟอสเฟตในปริมาณสูง ซึ่งมีความสำคัญต่อการเติบโตของสาหร่าย ฤดูกาลที่พบการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และอัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือน

มีนาคมเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะลดลงและรูปร่างหดสั้นลง (Toma, 1987 อ้างถึงในธีรพงษ์ จรัญญากรณ์, 2545) สันติ ปริยะวาที และคณะ (2546) รายงานว่า วัสดุยึดเกาะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* คือ ดินโคลนจากบ่อเลี้ยงกุ้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงในแหล่งที่ไม่มีวัสดุยึดเกาะ ชุดที่ใช้หิน และทรายเป็นวัสดุยึดเกาะ

การสืบพันธุ์ของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีการสืบพันธุ์ 2 แบบ คือ

1. การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) โดยการแบ่งเซลล์ของรามูลัสและทัลลัส ซึ่งแต่ละรามูลัสและทัลลัสที่แบ่งเซลล์จะพัฒนาเจริญเติบโตต่อไป

2. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจะเกิดขึ้นในช่วงอากาศอบอุ่นในฤดูใบไม้ผลิถึงฤดูร้อน ซึ่งจะเห็นบนผิวของทัลลัสที่โตเต็มที่มีลักษณะรูปร่างเป็นตาข่ายอย่างชัดเจน ในระยะนี้ภายในไซโตพลาสซึมจะมีการเคลื่อนที่ของแกมีต ซึ่งมีหนวด 2 เส้น ทั้งเพศผู้และเพศเมีย (bi-flagellated gamete) แกมมีตจะถูกปล่อยออกมา หลังจากนั้นจะเกิดการคอนจูเกชัน (conjugation) เป็นไซโกต (zygote) เกาะลงบนพื้นหรือก้อนหิน แล้วงอกเป็นต้นใหม่ ส่วนสาหร่ายต้นเดิมหลังมีการปล่อยแกมมีตแล้วสีจะซีดลง

จ. คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera*

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์ (2544) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ภายใต้สภาวะถังเลี้ยงกลางแจ้ง โดยเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทะเลธรรมชาติอย่างเดียว และเลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลา พบว่า องค์ประกอบภายในเซลล์ส่วนใหญ่เป็นความชื้น มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 92.4-97.8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักสด) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 54.05-79.49 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณโปรตีนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.15-1.73 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณไขมันมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.12-1.59 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณเส้นใยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.50-10.92 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณเถ้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.61-37.54 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) และฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่พบเป็นปริมาณน้อยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.045-0.142 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง)

## 2.3 คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงหอยหวาน

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากถ้าเกิดปัญหาคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงไม่ดี ย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่ออัตรารอด การเจริญเติบโต ความต้านทานต่อโรค และผลผลิตของสัตว์น้ำ การเลือกใช้น้ำที่มีคุณภาพที่ดีและเหมาะสม และมีปริมาณมากเพียงพอ

จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประกอบด้วยพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

### 2.3.1 **อุณหภูมิ** (temperature)

อุณหภูมิของน้ำ เป็นปัจจัยคุณภาพน้ำที่สำคัญที่มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ อุณหภูมิของน้ำจะสัมพันธ์กับปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับฤดูกาลและภูมิประเทศ กระแสลม ความลึก และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของสัตว์น้ำ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมให้มากขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำมากขึ้น ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิตด้วย แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำอย่างรวดเร็ว สามารถทำให้เกิดอันตรายโดยตรงต่อสัตว์น้ำได้ เช่น ทำให้ระบบการควบคุมการขับถ่ายน้ำและแร่ธาตุภายในร่างกายผิดปกติไป ซึ่งจะทำให้ร่างกายอ่อนแอและตายได้ ผลกระทบที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น คือ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีอัตราผกผันหรือตรงกันข้ามกับอุณหภูมิของน้ำคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดลง ในขณะที่ขบวนการเมแทบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตผันแปรตามอุณหภูมิดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งจะทำให้สัตว์น้ำต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนได้ ในขณะเดียวกัน การทำงานของพวกแบคทีเรียและจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำก็จะเพิ่มขึ้น โดยที่กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียก็ต้องใช้ออกซิเจนเช่นเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำน้อยลงและหมดเร็วขึ้น เป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้

อุณหภูมิน้ำนอกจากจะมีผลโดยตรงแล้วยังอาจมีผลทางอ้อมต่อสัตว์น้ำด้วย เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้นมักจะทำให้พิษของสารพิษประเภทต่างๆ เช่น ยากำจัดศัตรูพืช และโลหะหนัก มีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะช่วยเร่งให้มีการดูดซึม และการแพร่กระจายของสารพิษเหล่านั้น ทำให้สารพิษเข้าสู่ร่างกายได้เร็วขึ้น (สุภาวดี โกยดุลย์, 2549; อนุพงศ์ มาลี, 2545)

### 2.3.2 **ความเค็ม** (salinity)

ความเค็ม หมายถึง ของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ หลังจากคาร์บอเนตถูกเปลี่ยนเป็นออกไซด์ โบรไมด์ และไอโอไดด์ ถูกแทนที่ด้วยคลอไรด์ และสารอินทรีย์ทั้งหมดถูกออกซิไดซ์จนหมดสิ้น ความเค็มจะรายงานในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัม หรือหนึ่งส่วนในพันส่วน (part per thousand, ppt) (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) ในน้ำที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง จะส่งผลให้

น้ำมีความเค็มสูงขึ้น ค่าความเค็มของน้ำทะเลจะขึ้นอยู่กับปริมาณอิออนที่สำคัญ 7 ชนิด ได้แก่ โซเดียม (sodium) โปแตสเซียม (potassium) แคลเซียม (calcium) แมกนีเซียม (magnesium) คลอไรด์ (chloride) ซัลเฟต (sulfate) และไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ในด้านการประมงส่วนมากจะแบ่งความเค็มเป็น 3 ระดับ (ตารางที่ 2-2) ปัจจุบันการวัดค่าความเค็มของน้ำ นิยมใช้เครื่องมือที่อาศัยหลักการหักเหของแสง (refractometer)

**ตารางที่** 2-2 การแบ่งชนิดของน้ำตามระดับความค็ม

| ชนิดของน้ำ | ระดับความเค็ม (ppt) |
|---|---|
| น้ำจืด (fresh water) | 0-0.5 |
| น้ำกร่อย (brackish water) | 0.5-30.0 |
| น้ำเค็ม (seawater or marine water) | >30.0 |

ที่มา: สุภาวดี โกยดุลย์ (2549)

ความเค็มของน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะระบบการควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกาย (water regulatory system) ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างน้ำภายในตัวสัตว์น้ำและน้ำภายนอก ในสัตว์น้ำจืดจะมีแรงดันออสโมติกภายในตัวสูงกว่าน้ำที่อยู่ภายนอก ดังนั้น น้ำภายนอกจึงสามารถแทรกซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย สัตว์น้ำจืดจึงต้องพยายามขจัดเอาน้ำส่วนเกินเหล่านี้ออกไป ในทางตรงกันข้าม สัตว์น้ำเค็มที่อาศัยอยู่ในทะเลจะมีแรงดันออสโมติกต่ำกว่าน้ำทะเล ดังนั้น น้ำภายในตัวจึงซึมออกนอกร่างกายได้ง่าย สัตว์ทะเลจึงต้องพยายามเก็บรักษาปริมาณน้ำไว้ให้มาก สำหรับสัตว์น้ำที่อาศัยตามแหล่งน้ำกร่อยบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มมาก จะมีความสามารถในการปรับตัวและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มได้ในช่วงกว้าง อย่างไรก็ตาม โดยปกติสัตว์น้ำทั่วไปสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพความเค็มของน้ำที่เปลี่ยนแปลงได้ แต่ทั้งนี้ต้องค่อยๆ เป็นไปอย่างช้าๆ (นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546)

หอยหวาน สามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำทะเลที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง 16-40 พีพีที ในระดับความเค็มต่ำกว่า 25 พีพีที หอยหวานสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่จะไม่กินอาหาร และเกิดการชะงักการเติบโต ระดับความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงหอยหวานควรอยู่ระหว่าง 25-35 พีพีที (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ, 2548)

### 2.3.3 **ออกซิเจนละลายในน้ำ** (dissolved oxygen, DO)

ออกซิเจนเป็นแก๊สที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งที่อาศัยอยู่บนพื้นดินและในน้ำ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจำเป็นต้องใช้แก๊สออกซิเจนในกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกายในการผลิตพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต แก๊สออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยมาก ความสามารถในการละลายของแก๊สออกซิเจนขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ และความเค็มของน้ำ โดยแก๊สออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิและความเค็มของน้ำสูงขึ้น ดังนั้นสัตว์น้ำจึงมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนออกซิเจน โดยเฉพาะน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน อัตราการย่อยสลายและปฏิกิริยาต่างๆ เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ มากขึ้นด้วย ในขณะที่ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนน้อยลง

แหล่งที่มาของแก๊สออกซิเจนในแหล่งน้ำ ได้มาจากการแพร่จากบรรยากาศลงสู่แหล่งน้ำและจากปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในแหล่งน้ำ แหล่งที่มาสำคัญของแก๊สออกซิเจนในแหล่งน้ำมาจากการสังเคราะห์แสงของพืชในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืช ซึ่งเป็นแหล่งที่ให้ออกซิเจนในน้ำได้มากที่สุด สำหรับสาเหตุที่ทำให้แก๊สออกซิเจนในแหล่งน้ำลดน้อยลง เกิดจากกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต และกระบวนการย่อยสารอินทรีย์ที่เกิดจากจุลินทรีย์ รวมทั้งการทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้แหล่งน้ำสูญเสียออกซิเจน ในเวลากลางคืนสัตว์น้ำและพืชน้ำใช้ออกซิเจนละลายในน้ำเพื่อการหายใจ ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะค่อยๆ ลดต่ำลงจนถึงจุดต่ำสุดในช่วงเช้าตรู่ก่อนมีแสงแดด และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงสุดในตอนบ่าย เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช และพืชน้ำ โดยมั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา (2544) กล่าวถึงผลของระดับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่อสัตว์น้ำไว้ดังตารางที่ 2-3

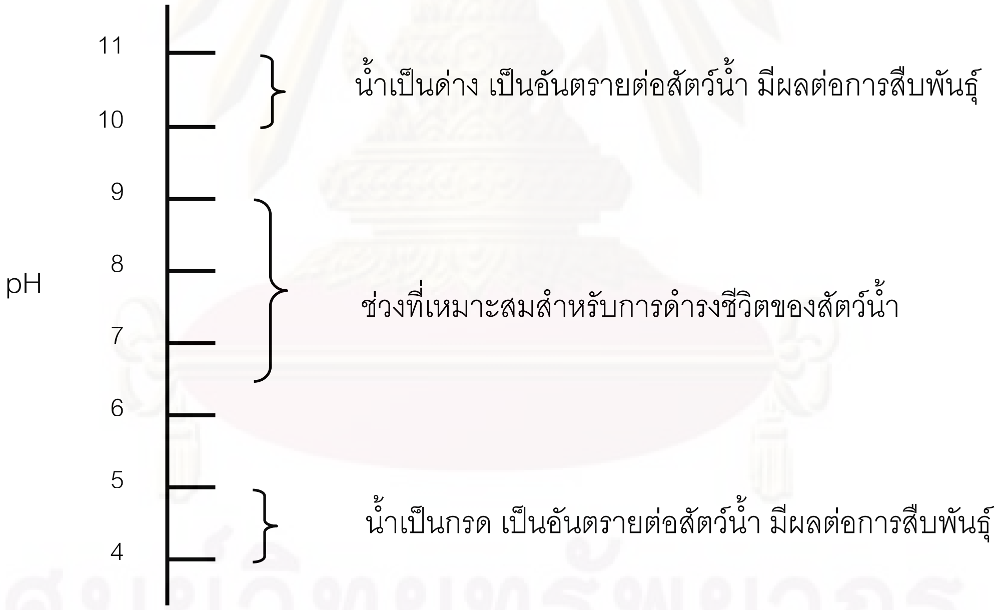
**ตารางที่** 2-3 ผลของระดับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่อสัตว์น้ำ

| ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ผลต่อสัตว์น้ำ |
|---|---|
| < 1 | อาจถึงตาย ถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานานๆ หลายชั่วโมง |
| 1-5 | สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าอาศัยอยู่อย่างต่อเนื่องจะเจริญเติบโตช้า และไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ดี |
| > 5 แต่ไม่เกินระดับอิ่มตัว | เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ |

ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา (2544)

### 2.3.4 **ความเป็นกรดด่าง** (pH)

พีเอช หมายถึง ค่าลบของ logarithm ของความเข้มข้นของ $H^+$ ($pH = -\log [H^+]$) ดังนั้น การวัดค่า pH ของน้ำ จึงเป็นการวัดความเข้มข้นของ $H^+$ ในน้ำ ระดับพีเอชมีค่าระหว่าง 0-14 น้ำบริสุทธิ์มีค่าพีเอชเท่ากับ 7 น้ำที่มีพีเอชสูงกว่า 7 แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นด่าง ส่วนน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 7 แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นกรด โดยพีเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพกรดและสภาพด่างในน้ำ การเพิ่มสภาพด่างมีผลทำให้พีเอชสูงขึ้น และในทางกลับกัน การลดสภาพกรดจะทำให้พีเอชมีค่าลดลง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 ค่าพีเอชที่ต่ำหรือสูงมากเกินไป อาจทำให้สัตว์น้ำตายและเกิดความเครียด (ภาพที่ 2-1) สัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อระดับของพีเอชในน้ำได้แตกต่างกัน โดยที่สัตว์ทะเลจะทนต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชได้น้อยกว่าสัตว์น้ำจืด โดยช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับสัตว์ทะเลอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับระดับความเป็นพิษของคุณสมบัติน้ำอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย โดยที่เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น สัดส่วนของแอมโมเนียในรูปที่ไม่มีประจุ ($NH_3$) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะมีค่าสูงขึ้น (นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546)


pH
11
10
9
8
7
6
5
4
น้ำเป็นด่าง เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ มีผลต่อการสืบพันธุ์
ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ
น้ำเป็นกรด เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ มีผลต่อการสืบพันธุ์

***ภาพที่*** 2-1 ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
(ดัดแปลงจากสุภาวดี โกยดุลย์, 2549)

### 2.3.5 **ความเป็นด่าง** (alkalinity)

ความเป็นด่างของน้ำ หมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะรับไฮโดรเจนไอออน ($H^+$) หรือโปรตอน หรือความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกรดให้ได้พีเอชเป็นกลาง สารประกอบที่ทำให้เกิดสภาพด่างมี 3 ชนิด คือ ไฮดรอกไซด์อิออน ($OH^-$) คาร์บอเนตอิออน ($CO^{2-}_3$) และไบคาร์บอเนตอิออน

($HCO_3$) เป็นหลัก น้ำที่มีอิออนตัวใดตัวหนึ่งในอิออน 3 ชนิดนี้ จะเป็นน้ำที่มีสภาพด่างอยู่ด้วย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) ค่าความเป็นด่างจะคิดเทียบเป็นปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม $CaCO_3$ต่อลิตร นอกจากนี้ ค่าความเป็นด่างยังอาจเกิดจากสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นเบสอื่นๆ เช่น ซิลิเกต ฟอสเฟต แอมโมเนีย และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ (วิรัช จิ๋วแย้ม, 2544) ค่าความเป็นด่างมีความสำคัญต่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงพีเอชของแหล่งน้ำ น้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงจะมีความสามารถในการรักษาพีเอชของน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าน้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำกว่า เรียกว่า buffering capacity น้ำทะเลมีค่าความเป็นด่างเฉลี่ย 116 mg/L as $CaCO_3$ จึงมีคุณสมบัติต้านการเปลี่ยนแปลงของพีเอชได้ดี ทำให้พีเอชของน้ำทะเลเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างกับพีเอชของแหล่งน้ำ (นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546) ดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ละลายน้ำได้ดี โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำส่วนใหญ่จะไม่อยู่ในรูปของแก๊สที่ละลายน้ำแต่จะรวมกับน้ำเป็นกรดคาร์บอนิคซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อกรดคาร์บอนิคแตกตัว จะได้ไฮโดรเจนอิออน และไบคาร์บอเนตอิออน ไบคาร์บอเนตอิออนจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออน และคาร์บอเนตอิออน ดังปฏิกิริยา

$$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \longleftrightarrow HCO_3^- + H^+$$

$$HCO_3^- \longleftrightarrow CO_3^{2-} + H^+$$

ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถย้อนกลับได้ ดังนั้น จึงมีทั้งการสร้างและการลดไฮโดรเจนอิออน ปริมาณไฮโดรเจนอิออนในน้ำ คือ ตัวการควบคุมความเป็นกรดหรือความเป็นด่างของน้ำ ระบบกรดคาร์บอนิค-ไบคาร์บอเนต-คาร์บอเนตในน้ำ จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ควบคุมการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ

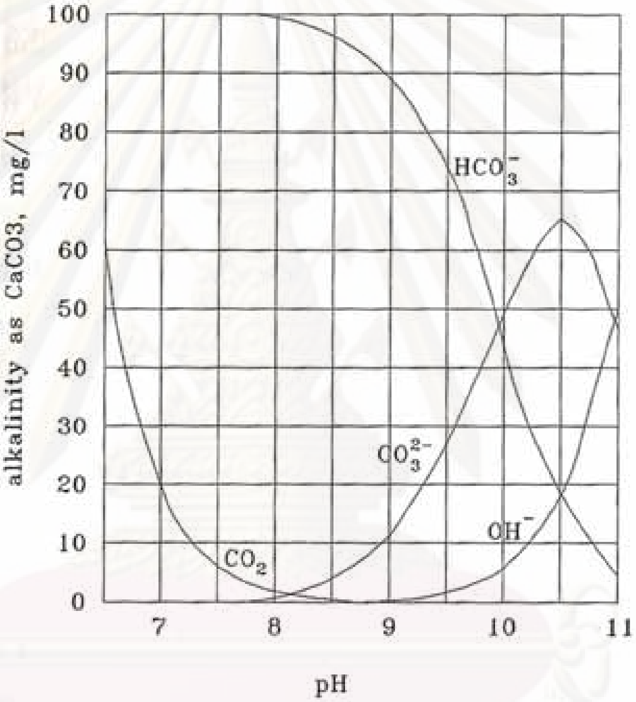
กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของระบบกรดคาร์บอนิค-ไบคาร์บอเนต-คาร์บอเนตอยู่ตลอดเวลา แหล่งน้ำที่มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชสูงจะมีความต้องการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงเป็นจำนวนมาก เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระหมดไปก็จะดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบกรดคาร์บอนิค-ไบคาร์บอเนต-คาร์บอเนตมาใช้ โดยจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากการสลายตัวของไบคาร์บอเนตอิออนก่อน

$$2HCO_3^- \longrightarrow CO_3^{2-} + H_2O + CO_2$$

แหล่งน้ำที่มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชสูงจึงมีคาร์บอเนตสูงและมีพีเอชสูงกว่า 8.3 และถ้าหากไบคาร์บอเนตอิออนยังให้คาร์บอนไดออกไซด์ไม่เพียงพอต่อความต้องการ แพลงก์ตอนพืชจะดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากคาร์บอเนตอิออน

$$CO_3^{2-} + H_2O \longrightarrow HCO_3^- + OH^-$$

พีเอชของน้ำจะเพิ่มขึ้นไปอีกจนสูงกว่า 9 หรือ10 แพลงก์ตอนพืชจะดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำได้มาก จนกระทั่งพีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 10-11 ซึ่งเป็นระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างกับพีเอชของแหล่งน้ำสรุปได้ดังภาพที่ 2-2



**ภาพที่** 2-2 ปริมาณของ $CO_2$, $HCO_3^-$ และ $CO_3^{2-}$ ที่ระดับพีเอชต่างๆ

ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา (2544)

ความเป็นด่างมีผลต่อสัตว์น้ำในทางอ้อม มีผลต่อผลผลิตของสัตว์น้ำ โดยทั่วไปค่าสภาพด่างที่เหมาะสมสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20-150 มิลลิกรัมของ $CaCO_3$ ต่อลิตร (วิรัช จิ๋วแย้ม, 2544)

### 2.3.6 **ความนำไฟฟ้า** (conductivity)

ความนำไฟฟ้า เป็นการวัดความสามารถในการนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นไมโครซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร (microsiemens/cm) ค่าความนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของอิออนที่ละลายอยู่ในน้ำและอุณหภูมิขณะที่ทำการวัด (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดของการนำไฟฟ้าของน้ำ (สุภาวดี โกยดุลย์, 2549)

1) ความนำไฟฟ้าแปรตามอุณหภูมิ ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม 1 องศาเซลเซียส ความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นค่า ionic mobility จะมีค่าสูงขึ้น และส่งผลให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงตามด้วยเช่นกัน

2) ความนำไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปตาม pH ของน้ำ โดยน้ำที่มีค่า pH ที่ต่ำ ($H^+$ มาก) หรือสูง ($OH^-$ มาก) ความนำไฟฟ้าที่วัดได้จะมีค่าสูง เนื่องจากอิออนทั้งสองชนิดสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอิออนอื่นๆ น้ำที่มีค่า pH มากกว่า 9 หรือน้อยกว่า 5 จะมีผลต่อค่าความนำไฟฟ้ามาก

3) ความนำไฟฟ้ามีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ โดยมีความสัมพันธ์ในรูปกราฟเส้นตรง คือ ถ้าค่าความนำไฟฟ้าในน้ำสูง จะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงขึ้นเช่นกัน ตามสมการ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ = (0.55 ถึง 0.9) x ค่าความนำไฟฟ้า

4) สภาพแวดล้อมหรืออิทธิพลอื่นๆ ที่มีผลต่อความนำไฟฟ้า เช่น คุณภาพของดิน ภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน เคมีของดิน รวมทั้งกิจกรรมของมนุษย์ที่อาจมีผลมากน้อยต่างกัน

5) ปริมาณหรือชนิดของสารละลายที่มีอยู่ในน้ำ เช่น เกลืออนินทรีย์ กรด และด่าง จะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะจะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ แต่สารประกอบอินทรีย์จะไม่แตกตัวเป็นอิออนในน้ำ สารเหล่านี้จึงไม่ถือเป็นสารนำไฟฟ้า โดยทั่วไปยิ่งมีปริมาณอิออนละลายอยู่ในน้ำมาก ค่าความนำไฟฟ้าจะยิ่งมาก และอิออนต่างชนิดกันจะมีความสามารถในการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน อาจกล่าวได้ว่า ความนำไฟฟ้าแปรผันตรงกับปริมาณอิออน ชนิดของอิออนที่ละลายในน้ำ และอุณหภูมิ

ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำทะเลมีค่าประมาณ 50,000 ไมโครซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น หรือปริมาณของแข็งเพิ่มสูงขึ้น

### 2.3.7 **สารแขวนลอย** (suspended solid)

สารแขวนลอย ประกอบด้วย อนุภาคของดิน (sand, silt และ clay) สารอนินทรีย์และอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก แพลงก์ตอน ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่อยู่ในน้ำ สารแขวนลอยจะส่งผลต่อการส่องผ่านของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งมีผลต่อผลผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำ สารแขวนลอยที่มีปริมาณ

สูงมากในแหล่งน้ำ จะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำโดยตรง โดยสารแขวนลอยจะเข้าไปอุดช่องเหงือก ทำให้การหายใจติดขัด ก่อให้การเจริญเติบโตช้าลงกว่าปกติ ปริมาณสารแขวนลอยที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 25-80 มิลลิกรัมต่อลิตร (นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546)

### 2.3.8 **ฟอสฟอรัส** (phosphorus)

ฟอสฟอรัสมีความสำคัญกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะมีฟอสฟอรัสสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และพืชน้ำในแหล่งน้ำ หากปริมาณฟอสฟอรัสมากขึ้น การปล่อยน้ำจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำลงสู่แหล่งน้ำจึงอาจก่อให้เกิดมลภาวะอันเนื่องจากฟอสฟอรัส และอาจเกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชได้

รูปแบบของฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำ แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

1) ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (total dissolved phosphorus, TDP) ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (dissolved inorganic phosphorus, DIP) และอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (dissolved organic phosphorus, DOP)

2) ฟอสฟอรัสในอนุภาค (particulate phosphorus, PP) ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต ซึ่งฟอสฟอรัสในอนุภาคนี้ส่วนหนึ่งจะตกตะกอน อีกส่วนหนึ่งเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ รวมทั้งแบคทีเรีย

สารประกอบพวกอนินทรีย์ฟอสเฟตเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำทั่วไป แบ่งออกเป็นสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ สารประกอบพวก $PO_4^{3-}$ , $HPO_4^{2-}$ และ $H_2PO_4^-$ ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของแหล่งน้ำนั้นๆ เช่น ถ้าน้ำมีพีเอชอยู่ระหว่าง 2-7 ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ แต่ถ้าพีเอชอยู่ในช่วง 7-12 ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $HPO_4^{2-}$ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2544) สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำได้ดี แพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในบางครั้งเรียกสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟตนี้ว่า soluble reactive phosphorus สารประกอบพวกอนินทรีย์ฟอสเฟตอีกพวกหนึ่งคือ โพลีฟอสเฟต ซึ่งพบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือน เพราะเป็นส่วนผสมของผงซักฟอก

ฟอสเฟตในน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับฟอสเฟตที่อยู่ในตะกอนดินเลนก้นบ่อ โดยปกติปริมาณฟอสเฟตในน้ำและดินจะสมดุลเสมอ แต่ถ้าหากนำไปใช้โดยพวกพืช สมดุลจะเสียไปเนื่องจากปริมาณฟอสเฟตในน้ำลดลง ดินก้นบ่อจะปลดปล่อยฟอสเฟตในดินออกมา ฟอสเฟตใน

ดินจึงเป็นแหล่งสำรองฟอสเฟตในน้ำ ฟอสเฟตที่อยู่ในดินเลน มักพบอยู่ในรูปของสารประกอบเหล็กฟอสเฟต อลูมินัมฟอสเฟต และแคลเซียมฟอสเฟต โดยในสภาวะปกติที่มีออกซิเจน สารประกอบฟอสเฟตเหล่านี้จะละลายน้ำได้น้อย แต่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน การละลายจะเกิดขึ้นได้ดี เพื่อรักษาสมดุลของฟอสเฟตที่มีในน้ำและในดิน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2544; สุภาวดี โกยดุลย์, 2549)

### 2.3.9 **ไนโตรเจนและสารประกอบไนโตรเจน** (nitrogen and nitrogen compound)

ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศน์ในแหล่งน้ำ ไนโตรเจนเป็นสารประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต แบคทีเรีย และพืชบางชนิดสามารถตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศได้โดยตรง

โดยทั่วไปจะแบ่งไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำ ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (total dissolved nitrogen, TDN) ประกอบด้วย อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (dissolved inorganic nitrogen, DIN) ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ ได้แก่ พวกกรดอะมิโนต่างๆ

2) ไนโตรเจนในอนุภาค (particulate nitrogen, PN) ได้แก่ ไนโตรเจนที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต ซึ่งส่วนหนึ่งจะตกตะกอน อีกส่วนหนึ่งจะเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ รวมทั้งพวกแบคทีเรีย

ในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมศึกษาสารประกอบไนโตรเจนใน 3 รูปแบบ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท

**แอมโมเนีย** (ammonia)

แอมโมเนีย เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์ไนโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต อาหารที่ตกค้าง การย่อยสลายของยูเรีย โดยแอมโมเนียอยู่ในแหล่งน้ำได้ 2 รูปแบบ คือ รูปที่มีประจุ (ionized ammonia, $NH_4^+$) เป็นรูปที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในสภาวะที่ค่าพีเอชของน้ำต่ำ และรูปที่ไม่มีประจุ (unionized ammonia, $NH_3$) ซึ่งเป็นรูปที่มีพิษต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะเมื่อค่าพีเอชของน้ำสูง ผลรวมของแอมโมเนียรูปที่มีประจุและไม่มีประจุ เรียกว่า แอมโมเนียรวม (total ammonia, TAN)

$$NH_3 + H_2O \longleftrightarrow NH_4OH \longleftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

แหล่งน้ำโดยทั่วไป พบแอมโมเนียในรูปที่มีประจุมากกว่า สัดส่วนของแอมโมเนียรูปที่ไม่มีประจุและรูปที่มีประจุขึ้นกับค่าพีเอช อุณหภูมิ และ ionic strength โดยที่พีเอชมีอิทธิพลสูงที่สุด เมื่อค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น ความเป็นพิษของแอมโมเนียก็จะเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากมีแอมโมเนีย

รูปที่ไม่มีประจุในปริมาณสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในแหล่งน้ำสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการรับออกซิเจนของเลือดและฮีโมโกลบินลดลง และกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเลือดได้น้อยลงด้วย ในน้ำที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไป จะทำให้ความสามารถในการขับถ่ายแอมโมเนียของสัตว์น้ำลดลง ทำให้ระดับแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำเพิ่มสูงขึ้น พีเอชของเลือดจึงสูงขึ้น ก่อให้เกิดผลเสียต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ทำให้เกิดความต้องการออกซิเจนของร่างกายสัตว์น้ำเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ทำให้สัตว์น้ำมีโอกาสในการได้รับพิษจากแอมโมเนียเป็นอันตรายต่อเหงือกเพิ่มขึ้น และลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจน เกิดผลกระทบต่ออัตราเมแทบอลิซึม เนื่องจากแอมโมเนียลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจน ทำให้สมดุลของอัตราเมแทบอลิซึมของร่างกายสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงไป (นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546; มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2544; สุภาวดี โกยดุลย์, 2549) โดยทั่วไปสัตว์น้ำเค็มจะมีความเสี่ยงที่จะได้รับพิษจากแอมโมเนียมากกว่าสัตว์น้ำจืด เนื่องจากค่าพีเอชของน้ำเค็มมีค่าประมาณ 7.8-8.5 จะมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำจืดที่มีค่าระหว่าง 6.5-7.5 โดยสัตว์น้ำจะเริ่มเครียดเมื่อแหล่งน้ำมีปริมาณแอมโมเนียในรูปไม่มีประจุ ($NH_3$) ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (วิรัช จิ๋วแย้ม, 2544)

**ไนไตรท์** (nitrite)

ไนไตรท์ เป็นชนิดของสารประกอบไนโตรเจนที่พบในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยแอมโมเนียในแหล่งน้ำจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ ammonia oxidizing bacteria และ nitrite oxidizing bacteria ไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ หรือในบางครั้งอาจเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของไนเตรทในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยทั่วไปไนไตรท์จะไม่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำ เพราะไนไตรท์ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็ว แต่ในบางสภาวะที่อัตราการออกซิไดซ์ของแอมโมเนียเร็วกว่าอัตราออกซิไดซ์ไนไตรท์ก็จะเกิดการสะสมของไนไตรท์ในแหล่งน้ำขึ้น

$NH_4^+ + 1.5O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$ ammonia oxidizing bacteria

$NO_2^- + 0.5O_2 \longrightarrow NO_3^-$ nitrite oxidizing bacteria

ไนไตรท์เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำดังเช่นแอมโมเนีย เมื่อแหล่งน้ำมีปริมาณไนไตรท์สูง ไนไตรท์จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำ ไนไตรท์จะเกิดการรวมตัวกับฮีโมโกลบินได้เป็นเมทฮิโมโกลบิน (methemoglobin) ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจนลดน้อยลง คือ ฮีโมโกลบินไม่สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ เพราะไนไตรท์ทำใหธาตุเหล็กที่มีอยู่ในฮีโมโกลบินถูกออกซิไดซ์จากเฟอรัสอิออน ($Fe^{2+}$) เปลี่ยนไปเป็นเฟอริกอิออน ($Fe^{3+}$) ทำให้ไม่

สามารถรับออกซิเจนได้ ก่อให้เกิดสภาพที่เลือดมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าปกติ ปลาที่มีอาการนี้จะมีเลือดเป็นสีน้ำตาล จึงเรียกอาการนี้ว่า brown blood disease ซึ่งถ้าไนไตรท์ในน้ำมีปริมาณสูงมากๆ อาจส่งผลให้สัตว์น้ำตายได้

เกลือแกงและแคลเซียมช่วยลดความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำ ระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของไนไตรท์จะขึ้นกับชนิดของสัตว์น้ำ โดยความเป็นพิษของไนไตรท์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูง ไนไตรท์ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าระดับที่ทำให้สัตว์น้ำตายอาจส่งผลให้สัตว์น้ำอ่อนแอ และติดโรคได้ง่าย

**ไนเตรท** (nitrate)

ไนเตรท เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรที่สุด มักพบเสมอในแหล่งน้ำธรรมชาติและในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ไนเตรทมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ การบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจึงใช้วิธีการเปลี่ยนแอมโมเนียและไนไตรท์มาเป็นไนเตรทแทน ซึ่งไนเตรทในปริมาณน้อยจะไม่มีผลต่อสัตว์น้ำ แต่เมื่อมีการสะสมของไนเตรทในแหล่งน้ำในปริมาณมากขึ้น พบว่ามีผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้เช่นกัน โดยผลของไนเตรทต่อสัตว์น้ำคล้ายคลึงกับไนไตรท์ กล่าวคือ ลดประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนของเลือด และทำลายเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ ดังนั้น ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะเวลานาน จึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดไนเตรท ไนเตรทจะถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่าย โดยการดูดซึมของพืชน้ำ หรือมีการแปรสภาพเป็นแก๊สไนโตรเจนโดยแบคทีเรีย denitrification หรือมีการถ่ายน้ำออกจากแหล่งน้ำ หรือมีการดึงเอาพืชน้ำออกไป ก็เป็นการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษออกจากแหล่งน้ำแล้ว

ผลของไนเตรทต่อสัตว์น้ำ (วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532 อ้างถึงในวรรนิภา เพี้ยนภักตร์, 2539)

| ระดับไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) | คุณภาพน้ำ |
|---|---|
| 0-12.5 | ดีมาก |
| 12.5-25.0 | ปานกลางควรเปลี่ยนน้ำบ้าง |
| 25.0-50.0 | ไม่ดี เริ่มมีมลภาวะ ต้องมีการเปลี่ยนน้ำ |
| > 50 | จำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำในระบบ |

## 2.4 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงหอยหวาน

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ (2548) รายงานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยหวาน ดังนี้ คือ ความเค็มอยู่ในช่วง 25-35 พีพีที ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ > 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.5-8.5 ความเป็นด่าง 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน < 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน < 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย

การเจริญเติบโตและผลผลิตของสาหร่ายทะเลขึ้นอยู่กับปัจจัยแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของสาหร่าย โดยการตอบสนองทางสรีรวิทยาของสาหร่ายต่อปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมก็จะมีความแตกต่างกัน (Marinho-soriano et al., 2006) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่สำคัญ ดังนี้

### 2.5.1 แสง (light)

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อพืชรวมถึงสาหร่ายในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) เพื่อสร้างอาหาร ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีความต้องการแสงที่ความยาวคลื่นและความเข้มแสงที่แตกต่างกัน โดยในการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สาหร่ายจะใช้พลังงานจากแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 nm เรียกว่า photosynthetically active radiation (PAR) โดยปกติแล้วอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น เมื่อสาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มแสงสูงขึ้น จนกระทั่งถึงความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เพิ่มสูงขึ้นอีก เรียกว่าอยู่ในระดับที่อิ่มตัว ซึ่งระดับอิ่มตัวของการสังเคราะห์แสง จะผันแปรกับชนิดของสาหร่ายและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ (สรวิศ เผ่าทองศุข, 2543)

สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* จะไวต่อแสงมาก ถ้าได้รับแสงมากเกินไป สาหร่ายชนิดนี้จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (Toma, 1987 อ้างถึงในนิสราภรณ์ ภักดีพันธ์, 2544) ซึ่งระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีค่าประมาณ 15,000-20,000 ลักซ์ ( 200-270 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD) หากความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นสาหร่ายก็ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ในอัตราที่สูงขึ้น (อลิสา โชควิวัฒนวนิช, 2543) ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์ (2545) รายงานว่า การเลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่ได้รับแสงแดดโดยตรงจะทำให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากได้รับแสงที่มีความเข้มสูงมากเกินไป ซึ่งวิธีการควบคุมแสงที่ง่าย และใช้ได้ผล คือ การใช้แผ่นผ้าพลาสติกกรองแสง ที่มีวางขายตามท้องตลาด โดยในการศึกษาพบว่า สาหร่ายที่ได้รับการพรางแสงร้อยละ 80 ด้วยผ้าพลาสติกยังคงสภาพเซลล์ที่ดีกว่า

สาหร่ายที่ไม่ได้รับการพรางแสง สำหรับการศึกษาของนิสราภรณ์ ภักดีพันธ์ (2544) ที่ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ โดยเลี้ยงสาหร่ายที่ความเข้มแสง 3 ระดับ ได้แก่ 7.2±0.7 $\mu E\ m^{-2}s^{-1}$ (500 ลักซ์), 12.8±1.8 $\mu E\ m^{-2}s^{-1}$ (1,000 ลักซ์) และ 21.3±1.2 $\mu E\ m^{-2}s^{-1}$ (1,500 ลักซ์) พบว่า ความเข้มแสงที่เหมาะสมในการเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้คือ ความเข้มแสง 7.2±0.7 $\mu E\ m^{-2}s^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งความเข้มแสงจะมีผลต่ออัตราการดูดซึมสารอาหาร โดยผ่านทางการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

สำหรับความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในสกุล *Gracilaria* มีความเหมาะสมในช่วงกว้างและมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของสาหร่ายในสกุลนี้ เช่น ความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับสาหร่าย *Gracilaria cornea* อยู่ระหว่าง 100 และ 800 µmol photon $m^{-2}s^{-1}$ และเมื่อความเข้มแสงมากกว่า 1,000 µmol photon $m^{-2}s^{-1}$ จะยับยั้งการเจริญเติบโต (Dawes et al., 1999) Yongjian et al. (2009) ศึกษาผลของความเข้มแสง 10 ระดับ ได้แก่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 160, 200, 240 และ 300 $\mu mol/m^2s$ ต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* 2 ชนิด พบว่า สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด สามารถเจริญเติบโตได้ที่ช่วงความเข้มแสง 20-300 $\mu mol/m^2s$ โดยสาหร่าย *Gracilaria lichenoides* มีอัตราการเติบโตสูงที่สุด (15.97 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ที่ระดับความเข้มแสง 240 $\mu mol/m^2s$ และสาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* มีอัตราการเติบโตสูงที่สุด (11.04 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ที่ระดับความเข้มแสง 200 $\mu mol/m^2s$

### 2.5.2 **อุณหภูมิ** (temperature)

อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโต และการแพร่พันธุ์ของสิ่งมีชีวิต (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543) ซึ่งอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสง ถ้าปริมาณความเข้มของแสงมาก จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวน้ำสูงขึ้น สาหร่ายแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิในช่วงที่แตกต่างกัน นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์ (2544) ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ โดยเลี้ยงสาหร่ายที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้คือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มแสง 7.2±0.7 $\mu E\ m^{-2}s^{-1}$ Horstmann (1983) ศึกษาการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Caulerpa racemosa var occidentalis* โดยวัดการแลกเปลี่ยนออกซิเจน พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายชนิดนี้อยู่ในช่วง 28.0-34.0 องศาเซลเซียส โดยที่

34.0 องศาเซลเซียส มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนสูงที่สุด และกิจกรรมการสังเคราะห์แสงจะลดลงที่อุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 38.0 องศาเซลเซียส

สำหรับระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในสกุล *Gracilaria* มีการศึกษาไว้ดังนี้ Chirapart and Ohno (1993) รายงานว่า สาหร่าย *Gracilaria salicornia* ที่เก็บรวบรวมจาก Manila Bay ประเทศฟิลิปปินส์ นำมาเลี้ยงในถังกลางแจ้งที่มีน้ำทะเลหมุนเวียนตลอด พบว่า สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงเดือนกรกฎาคม อุณหภูมิระหว่าง 25.2-26.2 องศาเซลเซียส ในการเลี้ยงที่ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด พบว่า สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 23.0-27.0 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 30.0 องศาเซลเซียส จะทำให้สาหร่ายตาย สำหรับอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในแต่ละวันของ *Gracilaria salicornia* มีค่า 0.86±0.18 เปอร์เซ็นต์ Yongjian et al. (2009) ศึกษาผลของระดับอุณหภูมิ 8 ระดับ ได้แก่ 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 และ 36 องศาเซลเซียส ต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* 2 ชนิด พบว่า เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส จะทำให้ทัลลัสของสาหร่าย *Gracilaria lichenoides* มีสีขาวและตายในที่สุด และอุณหภูมิที่ทำให้สาหร่าย *Gracilaria lichenoides* มีอัตราการเติบโตสูงที่สุด (13.98 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 20-36 องศาเซลเซียส สำหรับระดับอุณหภูมิที่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* คือ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ทำให้สาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* มีอัตราการเติบโตสูงที่สุด (9.86 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 16-32 องศาเซลเซียส การศึกษาของจิตติมา หมั่นกิจ (2544) พบว่า สาหร่าย *Gracilaria fisheri* และสาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* ที่เลี้ยงในบ่อธรรมชาติ มีอัตราการเจริญเติบโตดี เมื่ออุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 29-35 องศาเซลเซียส และสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงเกินกว่า 35 องศาเซลเซียส และในการศึกษาของ Guo-zhong et al. (1984) รายงานว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria verrucosa* คือ 15-20 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับงานวิจัยของ Choi et al. (2006) ที่พบว่า *Gracilaria verrucosa* สามารถเจริญเติบโตได้ที่ช่วงอุณหภูมิกว้าง 10-30 องศาเซลเซียส และเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 17-30 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุดเท่ากับ 4.95 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 25 พีพีที

### 2.5.3 **การไหลเวียนของน้ำ** (water motion)

แหล่งน้ำธรรมชาติจะมีการไหลเวียนของน้ำ เนื่องจากกระแสน้ำ หรือกระแสลม ซึ่งการไหลเวียนของน้ำส่งผลต่อสาหร่ายในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการทำให้ทัลลัสของสาหร่ายเคลื่อนไหวและขัดถูกัน ทำให้ช่วยลดปัญหาอิพิไฟต์ (epiphytes) เมื่อสาหร่ายมีการเคลื่อนไหวก่อให้เกิดการดูดซึมสารอาหารและช่วยในเรื่องการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดีขึ้น เนื่องจากการไหลเวียนของน้ำทำให้สาหร่ายมีโอกาสสัมผัสกับแสงที่บริเวณผิวน้ำและอากาศที่ละลายในน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ กระแสน้ำยังทำให้สารอาหารที่อยู่ด้านล่างก้นบ่อถูกกวนให้ขึ้นมาสู่ผิวน้ำ เป็นโอกาสให้สาหร่ายได้ใช้สารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้เต็มที่ การศึกษาของ Toma, (1987) อ้างถึงใน นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์ (2544) ทำการศึกษาการทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ในห้องปฏิบัติการและเลี้ยงกลางแจ้ง พบว่า กระแสน้ำจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยสาหร่ายจะมีการพัฒนารูปร่างได้ดีในสภาพที่มีกระแสน้ำแรงมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในสภาพที่มีกระแสน้ำอ่อน สำหรับการศึกษาของ Hanisak and Ryther (1984) รายงานว่า สาหร่าย *Gracilaria tikvahiae* ให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อเลี้ยงในถังขนาดเล็กที่มีการให้อากาศและน้ำทะเลในถังมีการไหลเวียน 20-30 เท่าต่อปริมาตรน้ำที่ใช้เลี้ยงต่อวัน การศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Gonen et al. (1993) พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Gracilaria conferta* เพิ่มขึ้นประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0 ไปที่ 1.5 $\mathrm{cms}^{-1}$ และในการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria verrucosa* และ *Gracilaria salicornia* ของ Largo et al. (1989) พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคมและเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ค.ศ. 1988 ทัลลัสปกติของสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตในเขตน้ำขึ้นน้ำลงสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในบ่อ

### 2.5.4 **ความเค็ม** (salinity)

ความเค็มเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และความสามารถในการทนต่อความเค็มของน้ำแตกต่างกัน สาหร่ายบางชนิดเติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเค็มสูง บางชนิดเติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเค็มต่ำหรือน้ำกร่อย

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์ (2544) ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ โดยเลี้ยงสาหร่ายที่ความเค็ม 20, 30 และ 40 พีพีที พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ที่ความเค็ม 30-40 พีพีที และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเค็ม 30 พีพีที ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสันติ ปริยะวาที และคณะ (2546) รายงานว่า สาหร่าย

*Caulerpa lentillifera* เจริญเติบโตได้ที่ความเค็มสูงกว่า 25 พีพีที และเจริญได้ดีที่สุดในน้ำที่มีความเค็ม 30 พีพีที และ O'Neil & Prince (1988) รายงานว่า สาหร่าย *Caulerpa paspaloides* เจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความเค็ม 32 พีพีที การศึกษาของธีรพงษ์ จรัญญากรณ์ (2545) พบว่า สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงที่กว้าง คือ ช่วง 10-30 พีพีที โดยในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 30 พีพีที จนถึง 10 พีพีที ไม่มีผลกระทบมากนัก แต่สาหร่ายชนิดนี้จะสูญเสียความสามารถในการสังเคราะห์แสงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปลี่ยนความเค็มจาก 10 พีพีที เป็น 0 พีพีที เช่นเดียวกับการศึกษาของสุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวีระชัย และจุฑารัตน์ ศิริสมบัติ (2550) ที่ศึกษาผลของระดับความเค็มน้ำทะเลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่าย *Acanthophora spicifera* สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่าย *Enteromorpha clathrata* ผลการศึกษาพบว่า ความเค็มของน้ำทะเลมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ระดับความเค็มที่เหมาะสมของสาหร่าย *Acanthophora spicifera* สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* สาหร่าย *Enteromorpha clathrata* อยู่ที่ระดับความเค็ม 15, 25 และ 15 พีพีทีตามลำดับ และที่ความเค็ม 0 พีพีที สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด จะเริ่มนิ่ม และเฉาตาย ในส่วนของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* พบว่า ส่วนของ ramulus หลุดออกจาก thallus และมีสีซีดขาว

สำหรับระดับความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* มีความผันแปรในช่วงกว้าง อาทิเช่น Yongjian et al. (2009) ศึกษาผลของระดับความเค็ม 9 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 พีพีที ต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสกุล *Gracilaria* 2 ชนิด พบว่า สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ตายเมื่อเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็ม 0 พีพีที แต่สาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในความเค็ม 5-40 พีพีที ความเค็มที่เหมาะสมที่ทำให้สาหร่าย *Gracilaria lichenoides* มีอัตราการเติบโตสูงที่สุด (15.78 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) ที่ระดับ 30 พีพีที สำหรับระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* คือที่ความเค็ม 20 พีพีที ทำให้สาหร่ายมีอัตราการเติบโตสูงที่สุด (9.12 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) นอกจากนี้ยังพบว่า สาหร่าย *Gracilaria lichenoides* มีการเจริญเติบโตที่ดีมากกว่าสาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* ภายใต้ความเค็มที่เพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Li-hong et al. (2002) ที่พบว่า *Gracilaria tenuistipitata* ที่เลี้ยงภายใต้ความเค็มต่ำ (21 พีพีที) มีการเจริญเติบโตดีกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงที่ความเค็มสูง (33 พีพีที) สอดคล้องกับการศึกษาของจิตติมา หมั่นกิจ (2544) ที่ทำการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria fisheri* และสาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* ที่เลี้ยงในบ่อธรรมชาติ พบว่า สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีอัตราการเจริญเติบโตดี เมื่อความเค็มของน้ำมีค่าระหว่าง 26-35 พีพีที และมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง เมื่อความเค็มของน้ำ

สูงเกินกว่า 37 พีพีที และการศึกษาของเกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) พบว่า โดยปกติสาหร่าย *Gracilaria fisheri* จะเจริญได้ในช่วงความเค็มกว้างประมาณ 15-35 พีพีที หากความเค็มของน้ำสูงหรือต่ำกว่านี้อาจเจริญได้ไม่ดี และบางส่วนอาจตายได้ สำหรับการศึกษาของทรงสิทธิ์ ลิ้มสกุล และวิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์ (2543) ซึ่งทำการเลี้ยงสาหร่ายเขากวาง *Gracilaria changii* ในน้ำความเค็ม 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 พีพีที พบว่า ที่ความเค็ม 10 และ 20 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการเติบโตจำเพาะใกล้เคียงกัน ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 พีพีที สาหร่ายไม่มีการเจริญเติบโต และเริ่มมีการตายเกิดขึ้น

### 2.5.5 **ความเป็นกรดด่าง** (pH)

โดยปกติสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำธรรมชาติจะดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างสบายที่ระดับพีเอชที่เหมาะสม โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 6.0-9.0 พีเอชสูงหรือต่ำเกินไปจะสร้างความเครียดให้กับสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชในแหล่งน้ำโดยที่ค่าพีเอชสูงหรือต่ำมากเกินไป ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2544) ในสาหร่ายมีการศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Caulerpa racemosa var occidentalis* ไม่ลดต่ำ คือ ที่ระดับ pH 8.5 และที่ระดับ pH 9.0 อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดต่ำลงเล็กน้อย (Horstmann, 1983)

### 2.5.6 **ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ** (dissolved oxygen)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีความสำคัญมากต่อแหล่งน้ำ เป็นตัวควบคุมกระบวนการใช้พลังงานของแหล่งน้ำ ไม่ว่าพืชหรือสัตว์ก็ต้องการใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำ ปริมาณออกซิเจนส่วนใหญ่ที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติมาจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ และอีกส่วนหนึ่งมาจากการละลายของออกซิเจนจากอากาศซึ่งมีปริมาณไม่มาก (วิรัช จิ๋วแย้ม, 2544) ส่วนแบคทีเรียใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ได้ผลผลิตเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสง และเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของสาหร่าย

### 2.5.7 **ปริมาณสารอาหาร** (nutrients)

ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตมีหลายชนิด แบ่งออกเป็นธาตุอาหารหลัก (macronutrients) คือ ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการปริมาณมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ส่วนธาตุอาหารรอง (micronutrients) คือ ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการ

ปริมาณน้อย แต่ไม่สามารถขาดได้ ได้แก่ โบรอน เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โมลิบดีนัม และคลอรีน (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) ธาตุอาหารที่สาหร่ายนำไปใช้ จะอยู่ในรูปสารอาหารที่ละลายน้ำได้

Larned (1998) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย 8 ชนิด ได้แก่ สาหร่าย *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa sertularioides*, *Codium edule*, *Dictyosphaeria versluysii*, *Gracilaria salicornia*, *Kappaphycus alvarezii*, *Padina japonica*, *Sargassum echinocarpum* และ *Ulva fasciata* พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแหล่งที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า และสาหร่ายบางชนิดจะไม่มีการเจริญเติบโตเมื่ออยู่ในแหล่งที่ไม่มีแอมโมเนีย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wallentinus (1984) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการนำเข้าสารอาหารสู่เซลล์สาหร่ายขนาดใหญ่ที่เก็บรวบรวมจากทะเลบอลติก (Baltic sea) พบว่า สาหร่ายจะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงขึ้น และไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียจะถูกดูดซึมไปใช้ได้มากกว่าไนเตรท เช่นเดียวกับการศึกษาของอลิสา โชควิวัฒนวนิช (2543) รายงานว่า สาหร่ายหนาม *Acanthophora spiciferan* และสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* จะเลือกใช้สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมก่อนไนเตรทเสมอ โดยไนเตรทความเข้มข้นสูงไม่มีผลยับยั้งการนำแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายทั้งสองชนิด

นอกจากชนิดของธาตุอาหารจะมีผลต่อการเจริญเติบโตแตกต่างกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอาหาร ระยะเวลาของการดูดซึมสารอาหาร ความถี่ของช่วงจังหวะการให้สารอาหาร อัตราส่วนระหว่างธาตุอาหาร และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ อาทิเช่น อุณหภูมิของน้ำ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสาหร่าย (Wallentinus, 1984; สันติ ปริยะวาที และคณะ, 2546)

## 2.6 ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

การเลี้ยงระบบปิด เรียกได้ 2 แบบ คือ closed system และ recirculating system เป็นการเพาะเลี้ยงโดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการชดเชยน้ำในส่วนที่ระเหยไป (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดปัญหาการปล่อยน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งถือได้ว่าระบบนี้เป็นระบบเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกสู่ภายนอก แต่ข้อเสียของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบนี้คือ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงด้วยระบบดังกล่าวเป็นระยะเวลานานพบว่า คุณภาพน้ำในระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ เนื่องจากการที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบจะทำให้เกิดการสะสมของปริมาณของเสีย

จากการขับถ่ายของสัตว์ และเศษอาหารที่เหลือจากการกิน ซึ่งสารอาหารเหล่านี้ล้วนเป็นแหล่งอาหารที่ดีต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ รวมถึงจุลชีพต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวขึ้น และเกิดการใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจมากขึ้น ส่งผลให้น้ำในระบบเลี้ยงมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอและส่งผลให้สัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงขาดออกซิเจนในการหายใจขึ้นได้ นอกจากนี้การที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบจะทำให้มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคระบาดขึ้นภายในระบบ และสัตว์น้ำเกิดการติดโรค โดยความรุนแรงของโรคจะมีเพิ่มขึ้นและทำให้มีอัตราการตายของสัตว์น้ำสูงขึ้น ดังนั้น ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ โดยการพยายามหาแนวทางในการบำบัดคุณภาพน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อใช้น้ำในระบบได้เป็นระยะเวลานานมากที่สุดหรือนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงใหม่ต่อไป แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวมีหลายวิธี และวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ คือ การนำสาหร่ายมาใช้ในการควบคุมและบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ไม่สลับซับซ้อน ค่าใช้จ่ายไม่สูง โดยสาหร่ายสามารถใช้สารอาหารที่มีอยู่ในบ่อเลี้ยงมาใช้ในการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* (ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์, 2545; ประหยัด มะหมัด, 2547; พงศธร พร้อมแย้ม, 2549) สาหร่าย *Ulva lactuca* (Neori et al., 1996, 2000) สาหร่าย *Gracilaria conferta* (Neori et al., 2000) สาหร่าย *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva (Jones, Dennison and Preston, 2001) สาหร่าย *Ulva pertusa* (Wang et al., 2007) เป็นต้น

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 การเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนในประเทศไทย

มลฤทัย ไชยน้ำอ้อม (2548) ศึกษาผลของคุณภาพน้ำและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่อการเจริญ การรอดตาย และคุณภาพของเปลือกหอยหวานระยะวัยรุ่นในระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าการเลี้ยงหอยหวานในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 15 วัน และเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ปริมาณ 0, 100 และ 250 กรัมต่อตัน มีน้ำหนัก อัตราการแลกเนื้อ การรอดตายมากที่สุด และคุณภาพของเปลือกหอยหวานดีที่สุด สำหรับคุณภาพน้ำจากการศึกษาตลอดระยะเวลา 4 เดือน พบว่า ปริมาณไนไตรท์และแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.2580-0.3897 และ 0.1733-0.3148 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาการเลี้ยงหอยหวานระยะวัยรุ่นในบ่อผ้าใบขนาดการผลิตด้วยระบบน้ำทะเลหมุนเวียนแบบกึ่งปิดที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่างกัน 3 ระดับ คือ การเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล 100 เปอร์เซ็นต์ ทุก 7, 15 และ 21 วันเป็นระยะเวลา 5 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การเจริญของหอยหวานระยะวัยรุ่นที่เลี้ยงในบ่อผ้าใบที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล 7, 15 และ 21 วันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยหอยหวานมีอัตราการเจริญโดยความยาวเปลือก 2.27, 2.34 และ 2.24 มิลลิเมตรต่อเดือน อัตราการเจริญโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.57, 0.56 และ 0.53 กรัมต่อเดือน และอัตราการเจริญโดยขนาด 307, 333 และ 332 ตัวต่อกิโลกรัมในบ่อเลี้ยงที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล 7, 15 และ 21 วันตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า หอยหวานมีอัตราการรอดตายสุดท้าย 97.57±0.54 เปอร์เซ็นต์, 95.99±2.68 เปอร์เซ็นต์ และ 94.42±0.14 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการแลกเนื้อ 1.65, 1.67 และ 1.76 ในบ่อเลี้ยงที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล 7, 15 และ 21 วันตามลำดับ โดยพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำทะเลที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ คือ อุณหภูมิน้ำ ความเค็ม ความเป็นกรดด่าง ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีเท่ากับ 31.20-32.30 องศาเซลเซียส, 31.00-34.66 พีพีที, 7.45-8.31, 0.2050-0.5478 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.2167-0.3696 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ยกเว้นค่าด่างรวมที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างเท่ากับ 32.50-54.50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่คุณภาพน้ำทะเลอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยของสัตว์น้ำ

Chaitanawisuti et al. (2005) ศึกษาเปรียบเทียบการเลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดที่มีความหนาแน่นเริ่มต้นแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 100, 200, 300 และ 400 ตัวต่อตารางเมตร ด้วยบ่อเลี้ยงระบบน้ำไหลผ่านตลอด และบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน พบว่า อัตราการเติบโตโดยความยาวเปลือก อัตราการเติบโตโดยน้ำหนัก และอัตราการรอดตายของหอยหวานที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำไหลผ่านตลอดมีค่าสูงกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนทุกความหนาแน่น

Krisanapuntu et al. (2006) ศึกษาผลของการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 4 ระดับ คือ 0, 15, 30 และ 60 วันต่อรอบตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 120 วัน ต่อการเติบโต การรอดตาย และความปกติของเปลือกหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน พบว่า หอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองมีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนัก อัตราการเติบโดยความยาวเปลือก และอัตราการอดตายอยู่ในช่วง 0.01-0.02 กรัมต่อวัน, 0.007-0.01 เซนติเมตรต่อวัน และ 65.47-87.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 15 วัน จะมีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนัก อัตราการเติบโตโดยความยาวเปลือก และอัตราการรอดตายสูงกว่าทุกชุดการทดลอง โดยคุณภาพ

น้ำทะเลในการทดลองมีค่าเฉลี่ย ดังนี้ อุณหภูมิน้ำ ความเค็ม ความเป็นกรดด่าง ค่าด่างรวม ปริมาณออกซิเจนละลาย ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 27.33-27.92 องศาเซลเซียส, 36.33-39.80 พีพีที, 7.51-7.97, 58.76-84.06 มิลลิกรัมต่อลิตร, 6.33-6.43 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.2653-0.4811 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.2866-0.3264 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ 30, 60 วัน และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ พบว่าเปลือกหอยหวานมีความผิดปกติเกิดขึ้น โดยผิวเปลือกชั้นนอกหลุดลอก และหอยหวานมีการชะงักการเติบโต นอกจากนี้การทดลองนี้ พบว่า การเปลี่ยนถ่ายน้ำในการเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนมีอิทธิพลต่อการเติบโต การรอดตาย ความปกติของเปลือกหอยหวาน และคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยง การที่จะเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียนให้ประสบผลสำเร็จนั้น สิ่งสำคัญที่สุด คือ การจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงในเหมาะสม

### 2.7.2 การใช้สาหร่ายทะเลในการบำบัดและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) ได้ศึกษาการใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* (Xia& Abbott) Abbott, Zhang & Xia ช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง โดยเลี้ยงสาหร่ายที่ความหนาแน่น 0, 0.25, 0.5 และ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เปลี่ยนน้ำทุกสัปดาห์ จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตของสาหร่ายมีค่าสูง เมื่อใช้สาหร่ายที่ความหนาแน่น 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ส่วนที่ความหนาแน่น 0.5 และ 0.25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตลงได้ตามลำดับ สำหรับอัตราการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่นำมาทดลอง

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ (2538) ศึกษาการใช้สาหร่าย *Caulerpa macrophysa*, *Sargassum polycystum* และ *Gracilaria salicornia* เพื่อลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง โดยการใช้สาหร่ายที่มีความหนาแน่น 0, 1, 5 และ 10 กรัมต่อลิตร แช่ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำปริมาตรเริ่มต้น 100 ลิตร เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 10 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนเตรทได้มากที่สุด สำหรับอัตราการดูดซึมแอมโมเนียและไนเตรท พบว่า สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 1 กรัมต่อลิตร มีอัตราการดูดซึมดีกว่าที่ความหนาแน่น 5 และ 10 กรัม

ต่อลิตร ตามลำดับ จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนรวมที่สะสมในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดก่อนและหลังการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้ง พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่ความหนาแน่นทั้ง 3 ระดับ มีแนวโน้มว่าปริมาณไนโตรเจนรวมที่สะสมมีค่าเพิ่มขึ้น

ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์ (2545) ศึกษาผลของปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ความเค็มของน้ำ และความเข้มแสงต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและอัตราการนำสารอาหารแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพการใช้สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำของถังเลี้ยงปลานิล พบว่า การเป่าอากาศที่ผสมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1 ลงในตู้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย ไม่ได้ช่วยให้สาหร่ายสามารถนำอาหารเข้าสู่เซลล์ได้เร็วขึ้น การเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันจาก 30 พีพีที เป็น 40 ถึง 60 พีพีที จะส่งให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 30 พีพีที จนถึง 10 พีพีที ไม่มีผลกระทบมากนัก แต่ส่งผลให้สาหร่ายสูญเสียความสามารถในการสังเคราะห์แสงอย่างรวดเร็วเมื่อเปลี่ยนความเค็มจาก 10 พีพีที เป็น 0 พีพีที สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของสาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำของถังเลี้ยงปลานิล พบว่า สาหร่ายสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ได้รับแสงอย่างเหมาะสม (ไม่เกิน 250 µmol-photon/$m^2$/s) โดยสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบเลี้ยงปลาได้ประมาณร้อยละ 25 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ ทำให้น้ำมีคุณภาพดี ปริมาณแอมโมเนียต่ำ และไม่มีการสะสมของไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต

ประหยัด มะหมัด (2547) ศึกษาการนำเข้าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสของสาหร่ายทะเล 4 ชนิด ได้แก่ สาหร่าย *Acanthophora spicifera* สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* สาหร่าย *Enteromorpha intestinalis* และสาหร่าย *Gracilaria fisheri* ที่ระดับน้ำหนักสาหร่ายต่างกัน 4 ระดับ คือ 250, 500, 2,000, และ 4,000 กรัมต่อตารางเมตร ผลการศึกษามีดังนี้ การศึกษาการนำเข้าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน พบว่า สาหร่ายทั้ง 4 ชนิด มีการนำเข้าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงสุดที่ระดับน้ำหนัก 4,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 624.96±5.53, 614.44±29.03, 566.71±4.52 และ 483.54±60.07 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน การศึกษาการนำเข้าไนเตรท-ไนโตรเจน พบว่า สาหร่าย *Enteromorpha intestinalis* สาหร่าย *Gracilaria fisheri* และสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีการนำเข้าไนเตรท-ไนโตรเจนสูงที่น้ำหนักสาหร่าย 4,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 157.81±76.73, 125.24±33.87 และ 105.17±0.58 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน ขณะที่สาหร่าย

*Acanthophora spicifera* จะมีการนำเข้าไนเตรท-ไนโตรเจนสูงที่น้ำหนักสาหร่าย 2,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 89.52±6.07 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน การศึกษาการนำเข้าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส พบว่า สาหร่ายทั้ง 4 ชนิด มีการนำเข้าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส สูงสุดที่น้ำหนักสาหร่าย 4,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 157.70±37.23, 138.50±34.10, 94.79±13.66 และ 90.55±6.65 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน

Neori et al. (2000) ศึกษาการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสาน ประกอบด้วย หอยเป๋าฮื้อ *Haliotis discus hannai* ปลา *Sparus aurata* สาหร่าย *Ulva lactuca* หรือสาหร่าย *Gracilaria conferta* โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการหมุนเวียนของสารอาหารในระบบเลี้ยง ลดปริมาณน้ำที่ใช้ ลดปริมาณสารอาหารที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และเพิ่มปริมาณผลผลิต โดยใช้น้ำจากการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเพื่อเลี้ยงปลา น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาใช้เลี้ยงสาหร่าย และผลผลิตสาหร่ายที่ได้นำกลับไปใช้เลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ พบว่า สาหร่าย *Ulva lactuca* ช่วยลดปริมาณแอมโมเนียได้ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่สาหร่าย *Gracilaria conferta* ลดปริมาณแอมโมเนียได้น้อยและมีการเจริญเติบโตช้า

Wang et al. (2007) ศึกษาการใช้สาหร่าย *Ulva pertusa* บำบัดคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียนสำหรับการผลิตปลิงทะเล (*Apostichopus japonicus*) เป็นเวลา 90 วัน ในฤดูหนาว ระบบประกอบด้วย 1) ถังเลี้ยงปลิงทะเล ขนาดความจุ 70 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 ถัง แต่ละถังเลี้ยงปลิงทะเลขนาดน้ำหนัก 3.5 ± 0.3 กรัม ประมาณ 15 กิโลกรัมต่อถัง ให้อาหารในอัตรา 3.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวต่อวัน และ 2) ถังกรองชีวภาพ ขนาดความจุ 70 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1 ถัง ซึ่งถังนี้เลี้ยงสาหร่าย *Ulva pertusa* ประมาณ 40 กิโลกรัม โดยน้ำจากถังเลี้ยงสาหร่ายถูกปั๊มไปที่บ่อเลี้ยงปลิงทะเลทั้ง 3 ถัง ระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน อัตราการไหลประมาณ 200 ลิตรต่อนาที และน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลิงทะเลจะไหลกลับไปที่ถังเลี้ยงสาหร่ายด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำความสะอาดบ่อเดือนละ 1 ครั้ง พบว่า อัตราการเจริญและรอดตายของปลิงทะเลในระบบมีความคล้ายคลึงกับบ่อควบคุมที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำวันละ 1 ครั้ง และมวลรวมชีวภาพ (biomass) ของผลผลิตปลิงทะเลเพิ่มขึ้นจาก 375 กรัมต่อตารางเมตร เป็น 745 กรัมต่อตารางเมตร อัตราการเจริญของ *Ulva pertusa* มีค่า 3.3 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่าย *Ulva pertusa* มีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียและรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลิงทะเล โดยอุณหภูมิ pH และ DO มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในรอบวัน และสาหร่าย *Ulva pertusa* มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอาหารในระบบเลี้ยงได้ดังนี้ คือ ปริมาณแอมโมเนีย

ทั้งหมด 68 เปอร์เซ็นต์ และออร์โธฟอสเฟต 26 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการเคลื่อนย้ายแอมโมเนียออกจากระบบเฉลี่ย 0.459 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน

# บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

## 3.1 สถานที่วิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ดำเนินการที่หน่วยปฏิบัติการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบการทำฟาร์มเพาะฟักและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจร สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตำบลหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2552

## 3.2 การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองแบบสุ่มตลอด (complete randomized design, CRD) โดยมี 7 ชุดการทดลอง (treatment) ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ (replication) โดยศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายข้อ (*Gracilaria salicornia*) และสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) ที่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้นต่างกัน 3 ระดับ (ประมาณ 0.334, 0.667 และ 1.000 กรัมต่อลิตร หรือ 250, 500 และ 750 กรัมต่อระบบ) ในการควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียน ดังนี้

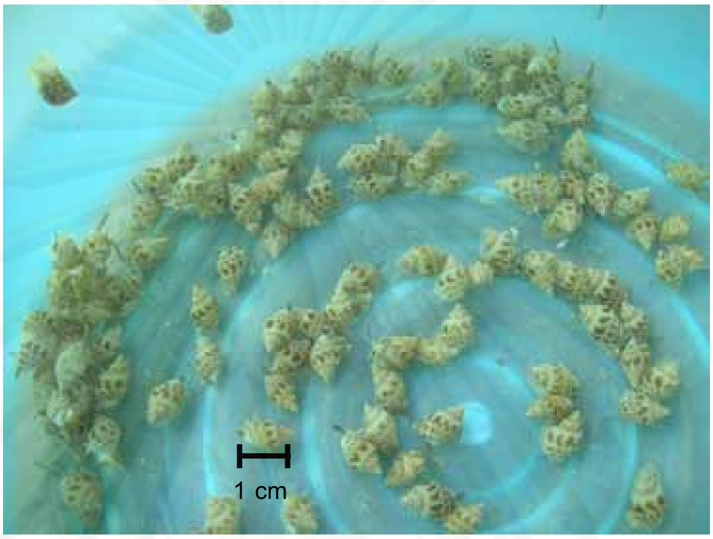
ชุดการทดลองที่ 1: ชุดควบคุม ไม่มีสาหร่ายทะเลทั้งสองชนิดในระบบ
ชุดการทดลองที่ 2: ใช้สาหร่ายข้อ ความหนาแน่น 250 กรัมต่อระบบ
ชุดการทดลองที่ 3: ใช้สาหร่ายข้อ ความหนาแน่น 500 กรัมต่อระบบ
ชุดการทดลองที่ 4: ใช้สาหร่ายข้อ ความหนาแน่น 750 กรัมต่อระบบ
ชุดการทดลองที่ 5: ใช้สาหร่ายช่อพริกไทย ความหนาแน่น 250 กรัมต่อระบบ
ชุดการทดลองที่ 6: ใช้สาหร่ายช่อพริกไทย ความหนาแน่น 500 กรัมต่อระบบ
ชุดการทดลองที่ 7: ใช้สาหร่ายช่อพริกไทย ความหนาแน่น 750 กรัมต่อระบบ

## 3.3 การเตรียมสัตว์ทดลองและพืชทดลอง

### 3.3.1 ลูกพันธุ์หอยหวาน

การศึกษาในครั้งนี้ใช้ลูกพันธุ์หอยหวานระยะวัยรุ่น (*Babylonia areolata*) ที่ผลิตจากฟาร์มเพาะฟักภาคเอกชน อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยลูกพันธุ์หอยหวานที่ใช้ใน

การทดลองต้องมาจากชุดการผลิต (crop) เดียวกัน หรืออายุใกล้เคียงกันมากที่สุด และคัดเลือกลูกพันธุ์หอยหวานที่มีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน มีความแข็งแรง และไม่เป็นโรค เมื่อเริ่มต้นการทดลองลูกพันธุ์หอยหวานมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.37±0.01 กรัม และความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 1.32±0.01 เซนติเมตร (ภาพที่ 3-1)



**ภาพที่** 3-1 ลูกพันธุ์หอยหวาน

### 3.3.2 การเตรียมสาหร่ายทะเล

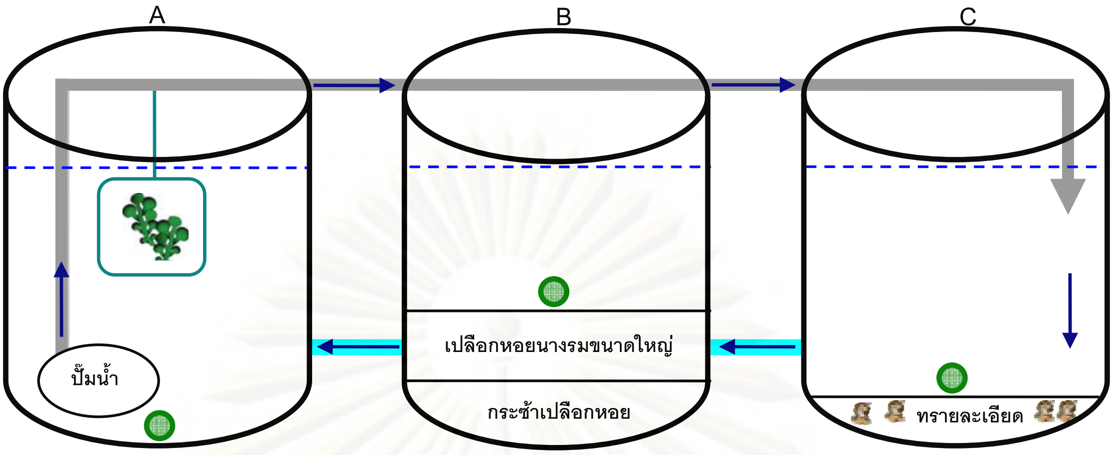
สาหร่ายข้อ (*Gracilaria salicornia*) ได้จากการเก็บรวบรวมจากธรรมชาติบริเวณชายฝั่งทะเลเกาะสมุย อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ภาพที่ 3-2, ก) และสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) จากบ่อบำบัดน้ำทิ้งของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำของบรรจงฟาร์ม อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา (ภาพที่ 3-2, ข) ในปริมาณที่มากพอ สำหรับการใช้ในการทดลองต่างๆ นำสาหร่ายทะเลทั้ง 2 ชนิดมาทำความสะอาดและกำจัดตะกอนดินหรือสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่ปนเปื้อนด้วยแปรงขนาดเล็กในน้ำทะเลที่ฆ่าเชื้อแล้ว (Yongjian et al., 2009) และอนุบาลไว้ในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำทะเลธรรมชาติที่มิได้ผ่านการกรอง และใช้ระบบน้ำทะเลไหลผ่านตลอด โดยควบคุมความเค็มในช่วง 29-30 พีพีที และให้อากาศแบบฟองอากาศตลอดเวลา โดยวางถังพลาสติกไว้ใต้หลังคาพลาสติกโปร่งแสง ซึ่งจะทำให้สาหร่ายได้รับแสงและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามธรรมชาติ

(ก) (ข)

**ภาพที่** 3-2 สาหร่ายทะเลที่ใช้ในการทดลอง (ก) สาหร่ายข้อ (ข) สาหร่ายช่อพริกไทย

### 3.4 การเตรียมบ่อทดลอง

การเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียนในแต่ละชุดการทดลอง ประกอบด้วย 3 ส่วน แยกกัน คือ บ่อเลี้ยงหอยหวาน บ่อกรองชีวภาพ และบ่อดูดซับสารอาหาร และเชื่อมต่อระบบด้วยท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้ว ซึ่งทั้ง 3 บ่อใช้บ่อพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณก้นบ่อและปากบ่อ 90 และ 100 เซนติเมตร ความสูง 50 เซนติเมตร พื้นที่ก้นบ่อ 0.64 ตารางเมตร การหมุนเวียนของน้ำในระบบใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็กจำนวน 1 ตัวต่อชุดการทดลอง ตลอด 20 ชั่วโมง (ปิดเครื่องปั๊มน้ำ 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า เวลา 9.00-11.00 น. และช่วงบ่าย เวลา 16.00-18.00 น.) (ภาพที่ 3-3) อัตราการไหลของน้ำ 525.82 ลิตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 10,516.50 ลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 14.02 รอบต่อวัน เพื่อให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำในระบบทดลอง

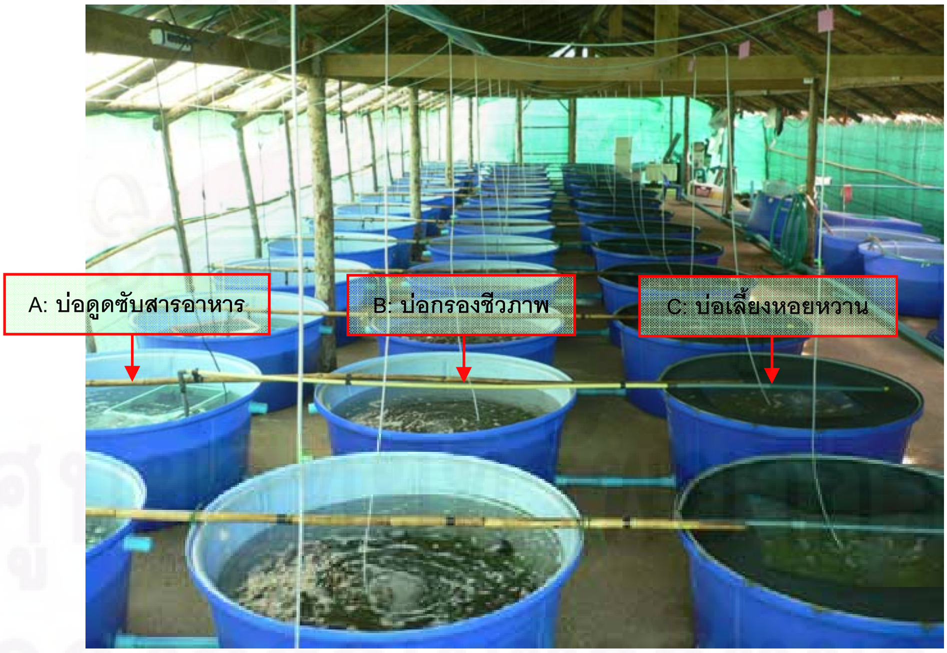

A
B
C
ปั๊มน้ำ
เปลือกหอยนางรมขนาดใหญ่
กระซ้าเปลือกหอย
ทรายละเอียด

(ก)

A : บ่อดูดซับสารอาหาร B : บ่อกรองชีวภาพ C : บ่อเลี้ยงหอยหวาน

🟦 ท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้ว ▬ ท่อพีวีซีขนาด 4 หุน ● หัวทราย

⟶ ทิศทางการไหลของน้ำในระบบ - - - - ระดับน้ำทะเลสูง 40 เซนติเมตรจากพื้นบ่อ

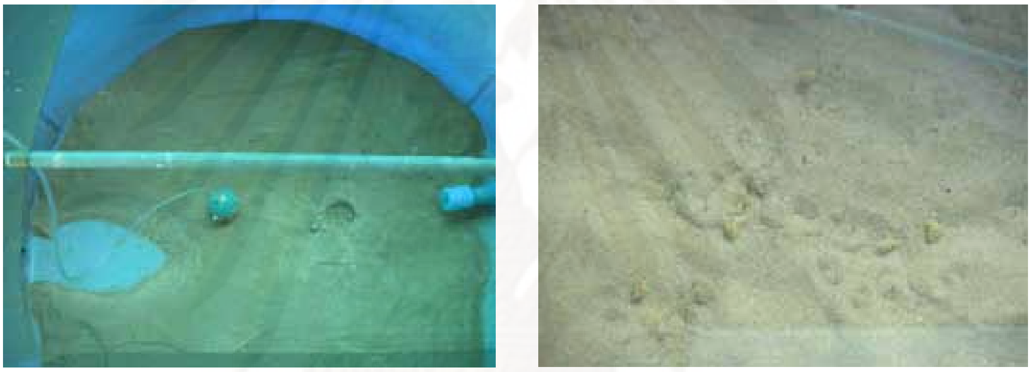

A: บ่อดูดซับสารอาหาร
B: บ่อกรองชีวภาพ
C: บ่อเลี้ยงหอยหวาน

(ข)

**ภาพที่** 3-3 ระบบการเลี้ยงหอยหวานแบบหมุนเวียน (ก) แผนผังระบบทดลอง (ข) ภาพถ่ายของระบบทดลอง

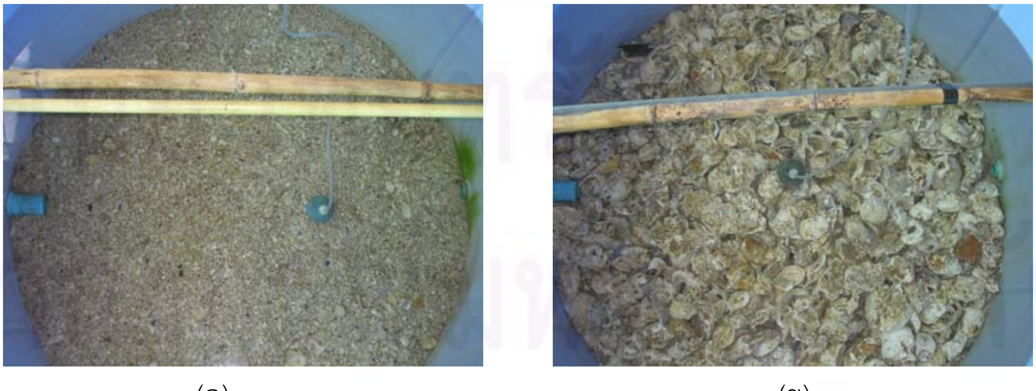
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.1 **บ่อเลี้ยงหอยหวาน** (rearing unit) รองพื้นบ่อด้วยทรายละเอียด (ทรายน้ำจืด) เพื่อให้หอยหวานฝังตัว โดยใช้ทรายละเอียดที่ผ่านการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทะเลสะอาดจนไม่มีตะกอนอื่นๆ ปนอยู่ในทราย นำไปผึ่งแดดให้แห้งประมาณ 6 ชั่วโมง และนำมารองพื้นบ่อมีความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร เติมน้ำทะเลธรรมชาติที่มิได้ผ่านการกรองลงบ่อเลี้ยงให้มีระดับความสูงประมาณ 40 เซนติเมตร (ปริมาตรน้ำประมาณ 250 ลิตร) การเติมอากาศ (aeration) ใช้การให้อากาศแบบฟองอากาศด้วยหัวทราย (air stone) ขนาดใหญ่บ่อละ 1 จุดบริเวณกลางบ่อ และให้อากาศวันละ 20 ชั่วโมง ปล่อยลูกพันธุ์หอยหวานลงในบ่อเลี้ยงด้วยอัตราความหนาแน่น 300 ตัวต่อตารางเมตร (192 ตัวต่อบ่อ) (ภาพที่ 3-4) โดยบ่อเลี้ยงหอยหวานจะอยู่ภายในโรงเรือนที่มีหลังคาเพื่อกำบังความร้อนจากแสงแดด และแสงในปริมาณที่มากเกินไป รวมทั้งป้องกันปริมาณน้ำฝนเพื่อมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเค็มของน้ำทะเล



**ภาพที่** 3-4 การเตรียมบ่อเลี้ยงหอยหวาน

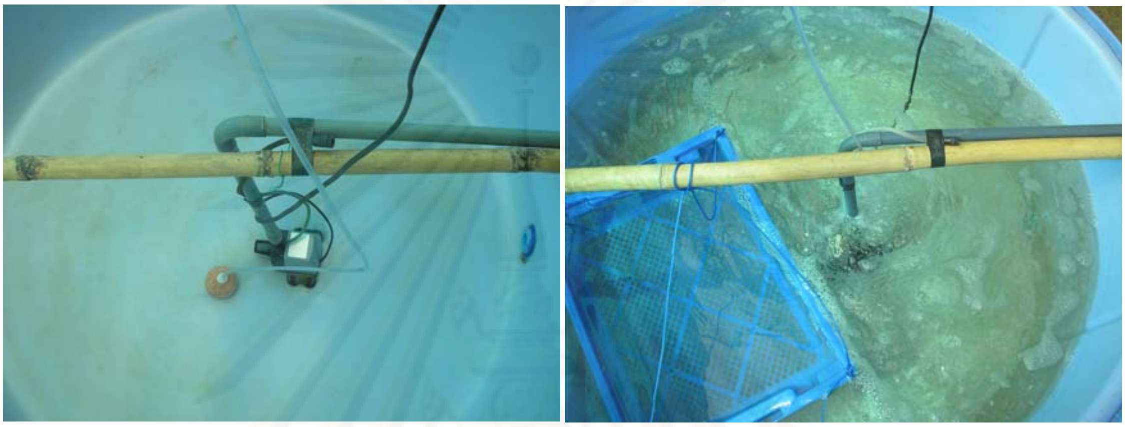
3.4.2 **บ่อกรองชีวภาพ** (biological unit) ปูพื้นบ่อโดยใช้กระซ้าเปลือกหอย (เปลือกหอยขนาดเล็กๆ) หนาประมาณ 5 เซนติเมตร (ภาพที่ 3-5, ก) และปูทับด้วยเปลือกหอยนางรมขนาดใหญ่ (ภาพที่ 3-5, ข) ระดับความสูงของน้ำในบ่อและการให้อากาศภายในบ่อกระทำเช่นเดียวกับในบ่อเลี้ยงหอยหวาน และอยู่ภายในโรงเรือนเดียวกัน



(ก) (ข)

**ภาพที่** 3-5 การเตรียมบ่อกรองชีวภาพ (ก) การปูพื้นบ่อด้วยกระซ้าเปลือกหอย (ข) การปูทับกระซ้าเปลือกหอยด้วยเปลือกหอยนางรมขนาดใหญ่

3.4.3 **บ่อดูดซับสารอาหาร** (absorber unit) นำสาหร่ายทะเลทั้ง 2 ชนิด ที่เตรียมไว้มาเลี้ยงในบ่อที่ความหนาแน่นที่กำหนดไว้แต่ละชุดการทดลอง คือ 250, 500 และ 750 กรัมต่อระบบ โดยนำสาหร่ายใส่ในตะกร้าพลาสติกแล้วนำตะกร้าผูกแขวนราวไม้ในบ่อเลี้ยงที่ความสูงประมาณ 30 เซนติเมตรจากพื้นบ่อ (ภาพที่ 3-6) โดยระดับความสูงของน้ำในบ่อและการให้อากาศภายในบ่อกระทำเช่นเดียวกับในบ่อเลี้ยงหอยหวาน และอยู่ภายในโรงเรือนเดียวกัน



**ภาพที่** 3-6 การเตรียมบ่อดูดซับสารอาหาร

## 3.5 วิธีการเลี้ยงหอยหวานและการให้อาหาร

อาหารที่ใช้เลี้ยงหอยหวานคือ เนื้อปลาข้างเหลือง (*Selaroides leptolepis*) (ภาพที่ 3-7) โดยการให้อาหารแบบให้หอยกินอาหารจนอิ่ม (satiation feeding) คือ ให้อาหารปริมาณมากและปล่อยให้หอยกินอาหารจนกระทั่งหอยหยุดกิน ระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เป็นประจำทุกวันๆ ละ 1 ครั้ง (9.00 น.) บันทึกน้ำหนักของอาหารก่อนให้และอาหารที่เหลือเป็นประจำทุกวันเพื่อคำนวณปริมาณอาหารที่หอยกินในแต่ละวัน โดยชั่งน้ำหนักอาหารเริ่มต้นและนำไปให้หอยกิน ให้อาหารอย่างกระจายทั่วบ่อเลี้ยงเพื่อให้หอยหวานสามารถได้รับอาหารอย่างทั่วถึง โดยหอยหวานจะมีการกินอาหารแบบเป็นกลุ่มก้อน (ภาพที่ 3-8) ทำการเก็บเศษอาหารที่เหลือออกทันทีเมื่อหอยหยุดกินอาหาร นำอาหารที่เหลือมาซับน้ำออกและชั่งน้ำหนักอาหารที่เหลือ เพื่อคำนวณปริมาณอาหารที่หอยกินในแต่ละวัน และปรับปริมาณอาหารให้สมดุลกับน้ำหนักหอยที่เพิ่มขึ้นเป็นประจำทุก 15 วัน ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

(ปริมาณอาหารที่หอยกิน = น้ำหนักอาหารก่อนให้ - น้ำหนักอาหารที่เหลือ)

**ภาพที่** 3-7 เนื้อปลาข้างเหลือง

**ภาพที่** 3-8 ลักษณะการกินอาหารของหอยหวาน

## 3.6 การจัดการระบบเลี้ยงและการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล

ทำการกวนพื้นทรายในบ่อเลี้ยงหอยหวาน เพื่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนและไหลไปสู่บ่อกรองชีวภาพและบ่อดูดซับสารอาหาร เป็นประจำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง การทดลองในครั้งนี้ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเลในระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง แต่มีการเติมน้ำจืดเพื่อปรับความเค็มให้คงที่ทุกสัปดาห์

## 3.7 การเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยง

เก็บตัวอย่างน้ำทะเลในบ่อเลี้ยงหอยหวาน ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของน้ำทะเลในระบบการเลี้ยงของแต่ละชุดการทดลอง เนื่องจากแต่ละชุดการทดลองมีการหมุนเวียนของน้ำตลอดเวลา โดยเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเริ่มการทดลอง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์ทุกๆ 7 วัน เวลาประมาณ 8.00 น. จนครบกำหนดการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับพื้นบ่อ และนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตามวิธีการในตารางที่ 3-1

**ตารางที่ 3-1** วิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

| พารามิเตอร์ | วิธีการวิเคราะห์ |
|---|---|
| อุณหภูมิ (Temperature) | Portable Multi-Parameter Meter Model YSI # 63<br>(ภาพที่ 3-9, ก) |
| ความนำไฟฟ้า (Conductivity) | Portable Multi-Parameter Meter Model YSI # 63 |
| ความเค็ม (Salinity) | Portable Multi-Parameter Meter Model YSI # 63 |
| ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) | DO meter (Model YSI 52) (ภาพที่ 3-9, ข) |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | pH meter (YSI pH10) (ภาพที่ 3-9, ค) |
| ความเป็นด่าง (Alkalinity) | Titration method<br>(Strickland and Parsons, 1972) |
| แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($NH_3$-N) | Modified idophenol blue method<br>(Strickland and Parsons, 1972) |
| ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($NO_2$-N) | Modified Griess-Ilosvay diazotization method<br>(Strickland and Parsons, 1972) |
| ไนเตรท-ไนโตรเจน ($NO_3$-N) | Cadmium reduction method<br>(Strickland and Parsons, 1972) |
| ไนโตรเจนละลายน้ำ (TDN) | Screening method (Greenberg et al., 1992) |
| ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ($PO_4^{3-}$-P) | Ascorbic acid method<br>(Strickland and Parsons, 1972) |
| ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (TDP) | Ascorbic acid method<br>(Strickland and Parsons, 1972) |
| ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) | วิธีทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 $^0$C<br>(มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) |

(ก)
(ข)
(ค)
YSI
63
ON/OFF
LIGHT
MODE
ENTER
OXYGEN METER

**ภาพที่** 3-9 เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำภาคสนาม (ก) Portable Multi-Parameter Meter Model YSI # 63, (ข) DO meter (Model YSI 52) และ (ค) pH meter (YSI pH10)

## 3.8 การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของสัตว์ทดลองและพืชทดลอง

ทำการศึกษาการเติบโตของสัตว์ทดลองและพืชทดลองเป็นประจำทุก 15 วัน ตลอดระยะการทดลอง ดังนี้

3.8.1 **การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของหอยหวาน** ศึกษาการเติบโตของหอยหวานในบ่อเลี้ยงแต่ละบ่อ จำนวน 60 ตัวต่อบ่อ (30 เปอร์เซ็นต์ของสัตว์ทดลองในแต่ละชุดการทดลอง) โดยการชั่งน้ำหนักหอยทั้งตัว (total body weight) และวัดความยาวเปลือก (total shell length) (ภาพที่ 3-10) เพื่อคำนวณอัตราการเติบโตของหอยหวาน รวมทั้งบันทึกจำนวนหอยที่ตายในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักผลผลิตรวม (total biomass) ของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง และประเมินผลการเติบโต ดังนี้

**ความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้น** (shell length increment)

= ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

**น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น** (body weight gain)

= น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

**อัตราการเติบโตโดยความยาวเปลือก** (growth rate in shell length)

$$= \frac{\text{ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{ระยะเวลาในการเลี้ยง (เดือน)}}$$

**อัตราการเติบโตโดยน้ำหนัก** (growth rate in body weight)

= น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง
ระยะเวลาในการเลี้ยง (เดือน)

**อัตราการรอดตาย** (survival rate)

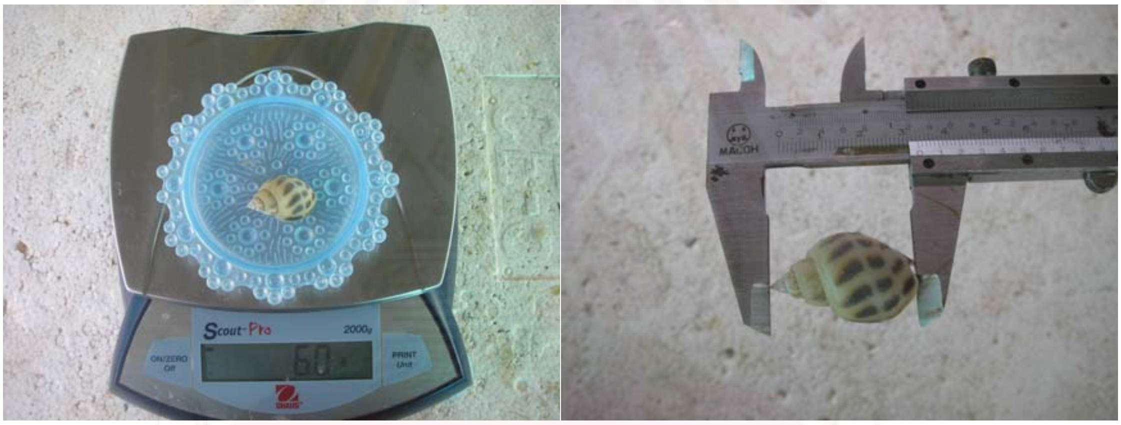
= จำนวนหอยที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง x 100
จำนวนหอยเมื่อเริ่มการทดลอง

**อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ** (food conversion ratio)

= น้ำหนักรวมของอาหารที่ใช้เลี้ยงหอยตลอดการทดลอง
น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

**ผลผลิตรวม** (total biomass)

= น้ำหนักหอยทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



**ภาพที่** 3-10 การชั่งน้ำหนัก และการวัดความยาวเปลือกของหอยหวาน

### 3.8.2 การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของสาหร่ายทะเล

ศึกษาการเติบโตของสาหร่ายทะเล โดยนำตะกร้าสาหร่ายทะเลขึ้นมาวางให้สะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นจึงทำการชั่งน้ำหนัก และนำสาหร่ายทะเลกลับลงสู่บ่อเช่นเดิม (ภาพที่ 3-11) หาอัตราการเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยใช้สูตรในงานวิจัยของ Lobban and Harrison (1994) cited in Troell et al. (1997)

$SGR = (100\ln(N_t/N_0))/t$

เมื่อ SGR คือ อัตราการเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$N_0$ คือ น้ำหนักเปียกเริ่มต้น (กรัม)

$N_t$ คือ น้ำหนักเปียกที่เวลา t (กรัม)

t คือ ระยะเวลา (จำนวนวัน)

**ภาพที่** 3-11 การชั่งน้ำหนักสาหร่ายทะเล

### 3.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

1. เปรียบเทียบคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงหอยหวานแบบน้ำหมุนเวียนในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2. เปรียบเทียบการเติบโตและผลผลิตของหอยหวาน รวมทั้งผลผลิตของสาหร่ายทะเลในระบบเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างการเติบโตและผลผลิตของหอยหวานและสาหร่ายทะเลในบ่อเลี้ยง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

# บทที่ 4

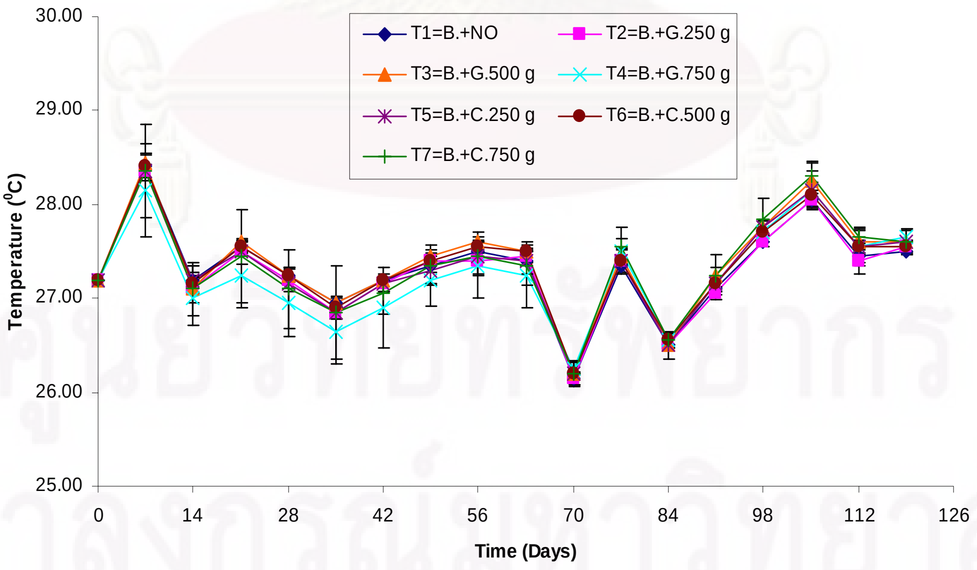
## ผลการทดลอง

### 4.1 คุณภาพน้ำทะเล

คุณภาพน้ำทะเลในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับเป็นระยะเวลา 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิน้ำทะเล ความนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$>0.05) แต่ความเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05) ดังนี้

#### 4.1.1 อุณหภูมิน้ำทะเล

ค่าอุณหภูมิน้ำทะเลในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-1 และตารางที่ 4-1 โดยค่าอุณหภูมิน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 26.2-28.5 องศาเซลเซียส



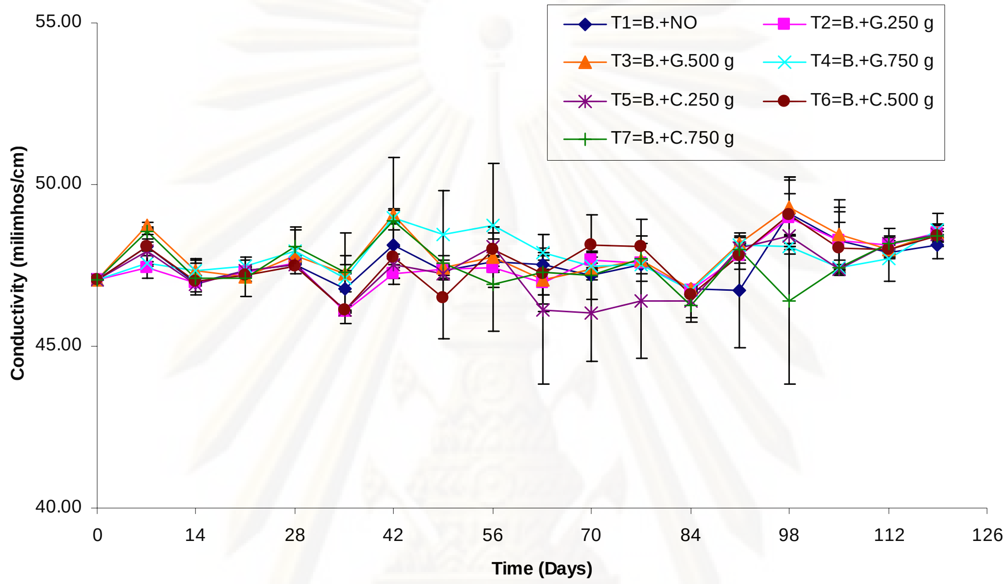
**ภาพที่ 4-1** ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำทะเล ณ เวลา 8.00 น. ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

**ตารางที่ 4-1** ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำทะเล (mean ± SD, min-max) ณ เวลา 8.00 น. ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ($^{0}$C) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 27.3±0.5 (26.2-28.4) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 27.3±0.5 (26.2-28.4) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 27.4±0.5 (26.2-28.5) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 27.2±0.5 (26.3-28.2) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 27.3±0.5 (26.2-28.4) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 27.4±0.5 (26.2-28.4) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 27.3±0.5 (26.2-28.4) |

### 4.1.2 ความนำไฟฟ้า

ค่าความนำไฟฟ้าในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-2 และตารางที่ 4-2 โดยค่าความนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 46.05-49.30 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร



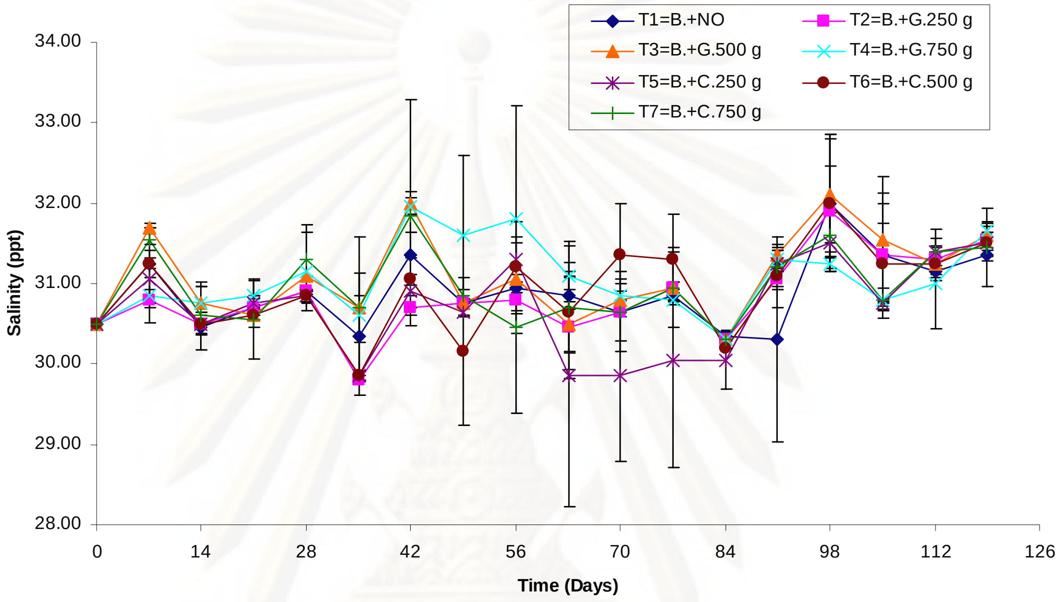
**ภาพที่** 4-2 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

**ตารางที่** 4-2 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้า (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้า (ms/cm) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 47.55±0.63 (46.75-49.10) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 47.50±0.68 (46.06-48.95) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 47.83±0.74 (46.76-49.30) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 47.79±0.62 (46.73-48.98) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 47.29±0.81 (46.05-48.45) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 47.59±0.75 (46.11-49.05) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 47.52±0.72 (46.24-48.90) |

### 4.1.3 ความเค็ม

ค่าความเค็มในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-3 และตารางที่ 4-3 โดยค่าความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 29.8-32.1 พีพีที



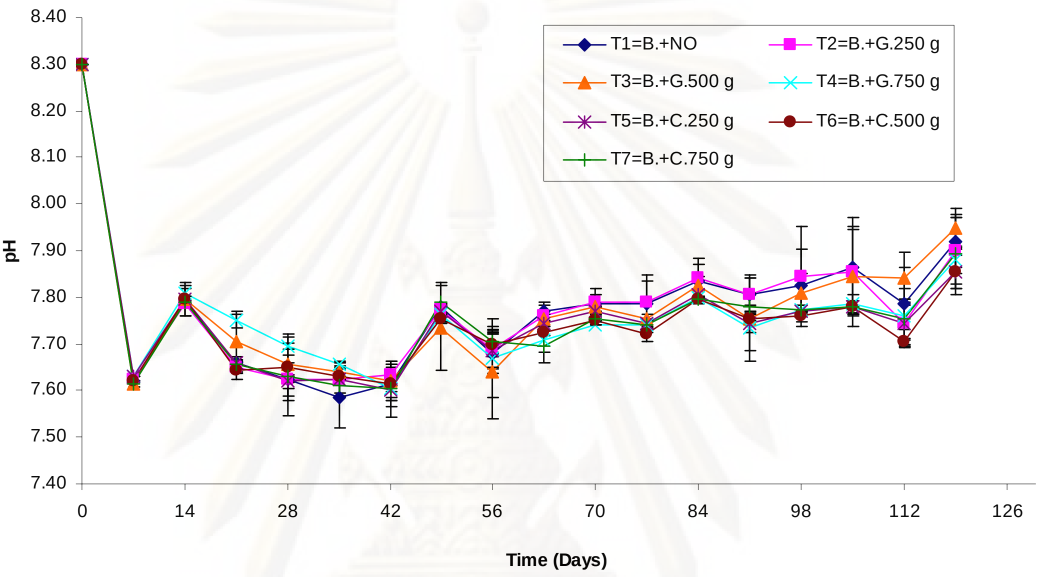
**ภาพที่** 4-3 ค่าเฉลี่ยความเค็มในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

**ตารางที่** 4-3 ค่าเฉลี่ยความเค็ม (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ค่าเฉลี่ยความเค็ม (ppt) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 30.9±0.5 (30.3-32.0) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 30.8±0.5 (29.8-31.9) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 31.1±0.5$^a$ (30.3-32.1) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 31.1±0.5 (30.3-32.0) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 30.7±0.6 (29.9-31.5) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 30.9±0.5 (29.9-32.0) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 31.0±0.5 (30.3-31.9) |

### 4.1.4 ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-4 และตารางที่ 4-4 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 7.59-8.30



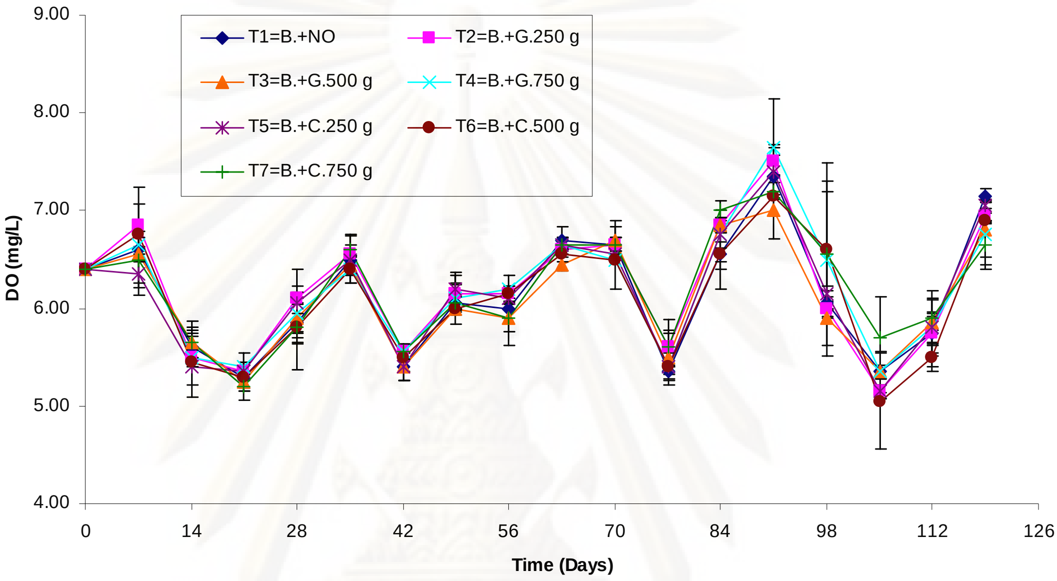
**ภาพที่** 4-4 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

**ตารางที่** 4-4 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 7.78±0.16 (7.59-8.30) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 7.78±0.16 (7.63-8.30) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 7.78±0.16 (7.62-8.30) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 7.77±0.15 (7.61-8.30) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 7.76±0.15 (7.60-8.30) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 7.75±0.15 (7.62-8.30) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 7.76±0.16 (7.61-8.30) |

### 4.1.5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-5 และตารางที่ 4-5 โดยค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 5.1-7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร



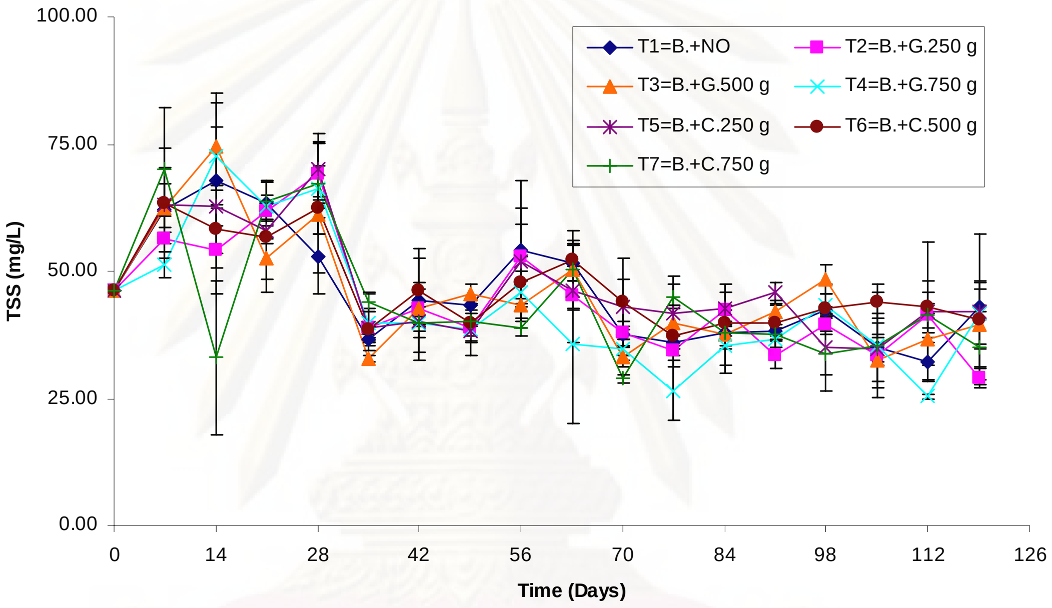
**ภาพที่** 4-5 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

**ตารางที่** 4-5 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 6.1±0.6 (5.3-7.4) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 6.2±0.6 (5.2-7.5) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 6.1±0.6 (5.3-7.0) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 6.2±0.6 (5.4-7.7) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 6.1±0.6 (5.2-7.4) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 6.1±0.6 (5.1-7.2) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 6.2±0.6 (5.2-7.2) |

### 4.1.6 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-6 และตารางที่ 4-6 พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 25.333-74.500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชุดการทดลองที่ 4 มีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยต่ำสุด (43.255±12.825 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 5 มีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยสูงสุด (46.838±10.212 มิลลิกรัมต่อลิตร)



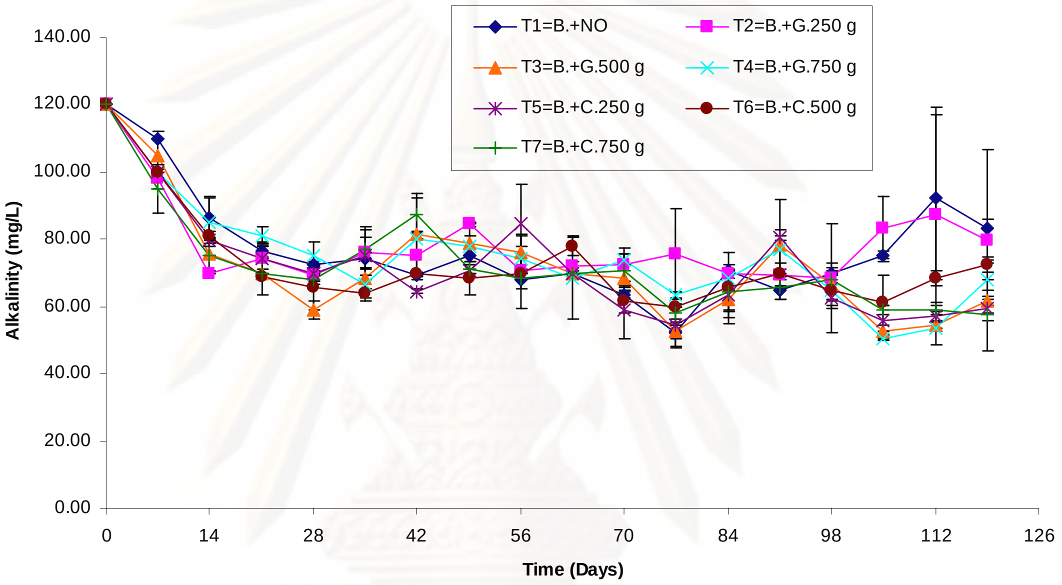
**ภาพที่** 4-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

**ตารางที่** 4-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 45.806±10.627 (32.667-67.833) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 44.333±10.665 (29.083-69.000) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 45.634±11.291 (32.500-74.500) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 43.255±12.825 (25.333-72.667) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 46.838±10.212 (34.833-70.167) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 46.812±8.316 (37.250-63.333) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 43.782±11.890 (28.833-70.00) |

### 4.1.7 ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-7 และตารางที่ 4-7 พบว่า ค่าความเป็นด่างมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (50.5-120.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยชุดการทดลองที่ 2 มีค่าความเป็นด่างเฉลี่ยสูงสุด (78.7±12.9 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าความเป็นด่างเฉลี่ยต่ำสุด (72.3±17.3 มิลลิกรัมต่อลิตร)



**ภาพที่** 4-7 ค่าเฉลี่ยความเป็นด่างในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

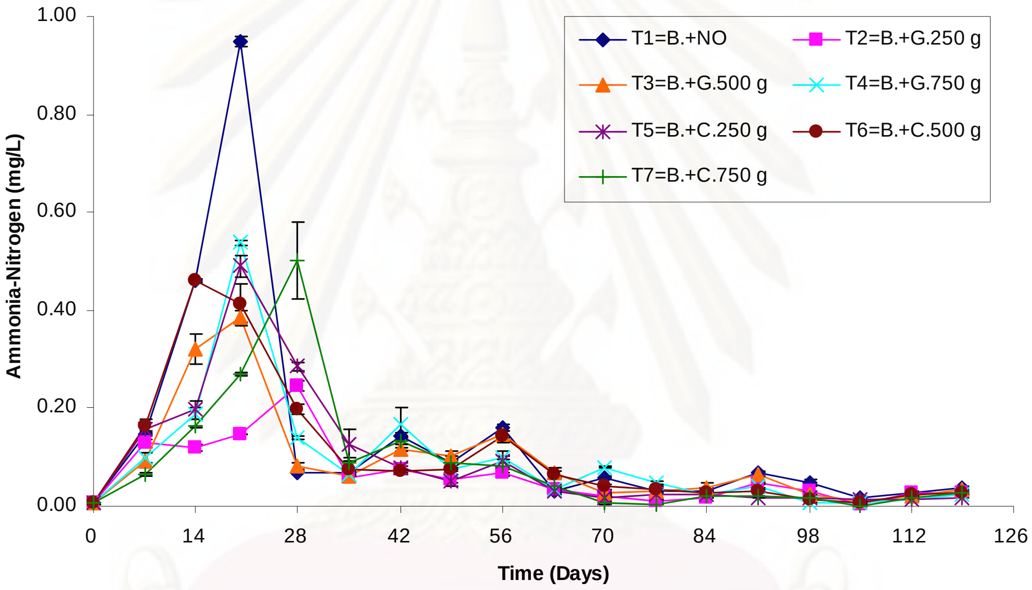
**ตารางที่** 4-7 ค่าเฉลี่ยความเป็นด่าง (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ความเป็นด่าง (mg/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 77.5±16.4$^{b}$ (52.0-120.0) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 78.7±12.9$^{b}$ (68.5-120.0) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 72.3±17.3$^{a}$ (52.5-120.0) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 74.9±16.0$^{ab}$ (50.5-120.0) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 72.3±16.7$^{a}$ (54.5-120.0) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 72.8±15.0$^{a}$ (60.0-120.0) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 72.4±15.3$^{a}$ (57.5-120.0) |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

### 4.1.8 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-8 และตารางที่ 4-8 พบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (0.002-0.950 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยมีการสะสมในระบบเพิ่มขึ้นในระยะ 21 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะเริ่มลดลง โดยในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยต่ำสุด (0.062±0.063 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุด (0.136±0.228 มิลลิกรัมต่อลิตร)



**ภาพที่** 4-8 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

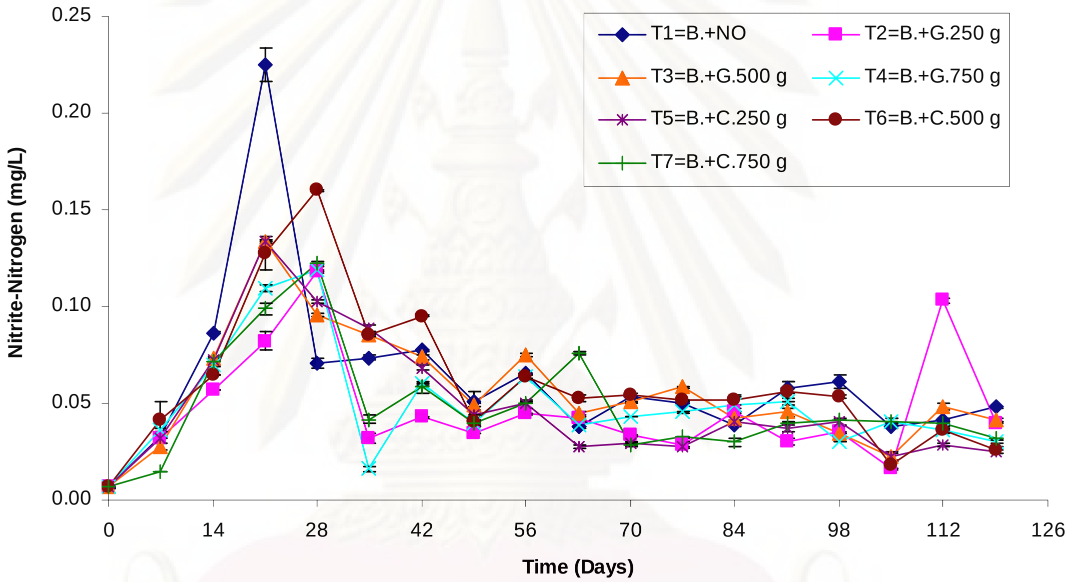
**ตารางที่** 4-8 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 0.136±0.228$^{e}$ (0.006-0.950) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 0.062±0.063$^{a}$ (0.005-0.246) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 0.091±0.104$^{bc}$ (0.006-0.387) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 0.092±0.124$^{c}$ (0.006-0.538) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 0.092±0.126$^{c}$ (0.006-0.490) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 0.104±0.133$^{d}$ (0.006-0.461) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 0.086±0.125$^{b}$ (0.002-0.501) |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

### 4.1.9 ไนไตรท์-ไนโตรเจน

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในภาพที่ 4-9 และตารางที่ 4-9 พบว่าปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (0.007-0.225 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยมีการสะสมในระบบเพิ่มขึ้นในระยะ 21-28 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนจะเริ่มลดลง โดยในชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยต่ำสุด (0.046±0.028 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุด (0.062±0.045 มิลลิกรัมต่อลิตร)



**ภาพที่** 4-9 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

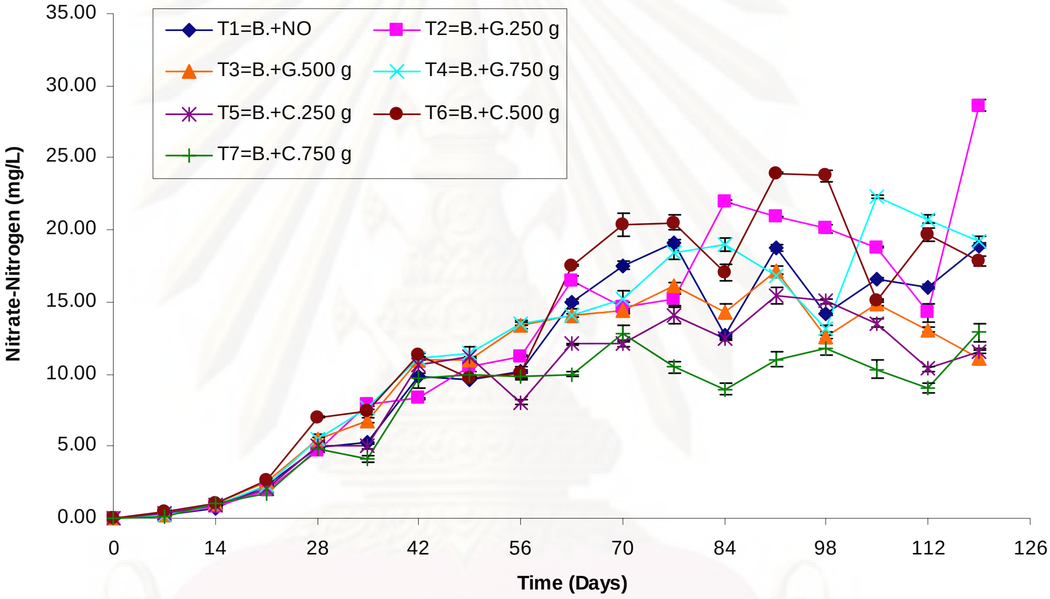
**ตารางที่** 4-9 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg-N/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 0.062±0.045$^{f}$ (0.007-0.225) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 0.046±0.028$^{a}$ (0.007-0.118) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 0.056±0.030$^{d}$ (0.007-0.134) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 0.049±0.028$^{c}$ (0.007-0.119) |
| T5 = B. areolata + *C. lentillifera* 250 g | 0.049±0.033$^{c}$ (0.007-0.133) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 0.060±0.037$^{e}$ (0.007-0.160) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 0.048±0.029$^{b}$ (0.007-0.123) |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

### 4.1.10 ไนเตรท-ไนโตรเจน

ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในภาพที่ 4-10 และตารางที่ 4-10 พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (0.050-28.644 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีการสะสมในระบบเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยในชุดการทดลองที่ 7 มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยต่ำสุด (7.700±4.444 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 6 มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุด (12.517±8.101 มิลลิกรัมต่อลิตร)



**ภาพที่** 4-10 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

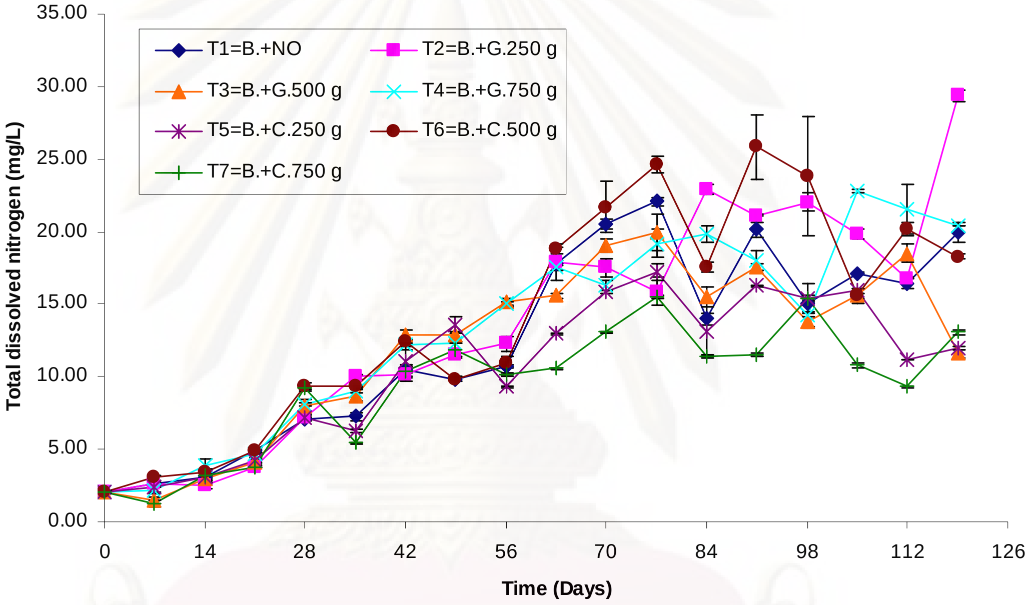
**ตารางที่ 4-10** ค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg-N/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 10.661±6.896$^{d}$ (0.050-19.097) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 12.038±8.418$^{f}$ (0.050-28.644) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 9.963±5.732$^{c}$ (0.050-17.214) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 11.749±7.381$^{e}$ (0.050-22.324) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 8.882±5.270$^{b}$ (0.050-15.443) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 12.517±8.101$^{g}$ (0.050-23.916) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 7.700±4.444$^{a}$ (0.050-12.897) |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

### 4.1.11 ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในภาพที่ 4-11 และตารางที่ 4-11 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (1.253-29.368 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีการสะสมในระบบเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยในชุดการทดลองที่ 7 มีปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยต่ำสุด (9.337±4.389 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 6 มีปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยสูงสุด (13.983±7.809 มิลลิกรัมต่อลิตร)



**ภาพที่ 4-11** ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

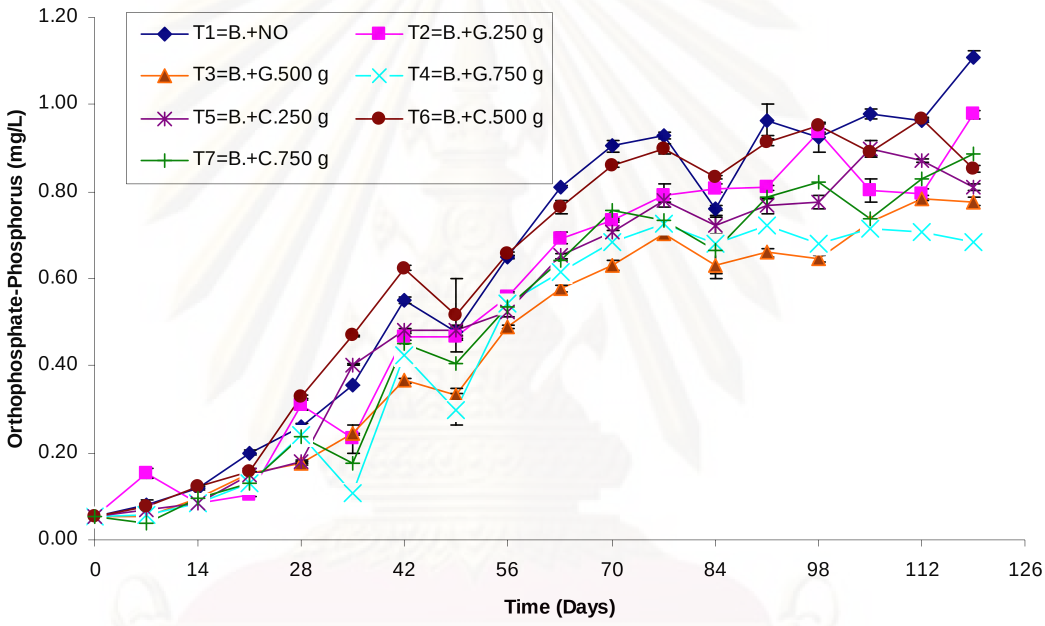
**ตารางที่ 4-11** ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (mg-N/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 12.275±6.723$^{d}$ (2.019-22.109) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 13.638±8.032$^{f}$ (2.019-29.368) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 11.956±6.030$^{c}$ (1.508-19.926) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 13.299±6.867$^{e}$ (2.019-22.847) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 10.488±5.137$^{b}$ (2.019-17.183) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 13.983±7.809$^{g}$ (2.019-25.834) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 9.337±4.389$^{a}$ (1.253-15.524) |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

### 4.1.12 **ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส**

ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในภาพที่ 4-12 และตารางที่ 4-12 พบว่า ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (0.053-1.110 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีการสะสมในระบบเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยในชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสเฉลี่ยต่ำสุด (0.450±0.265 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสเฉลี่ยสูงสุด (0.616±0.360 มิลลิกรัมต่อลิตร)



**ภาพที่ 4-12** ค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

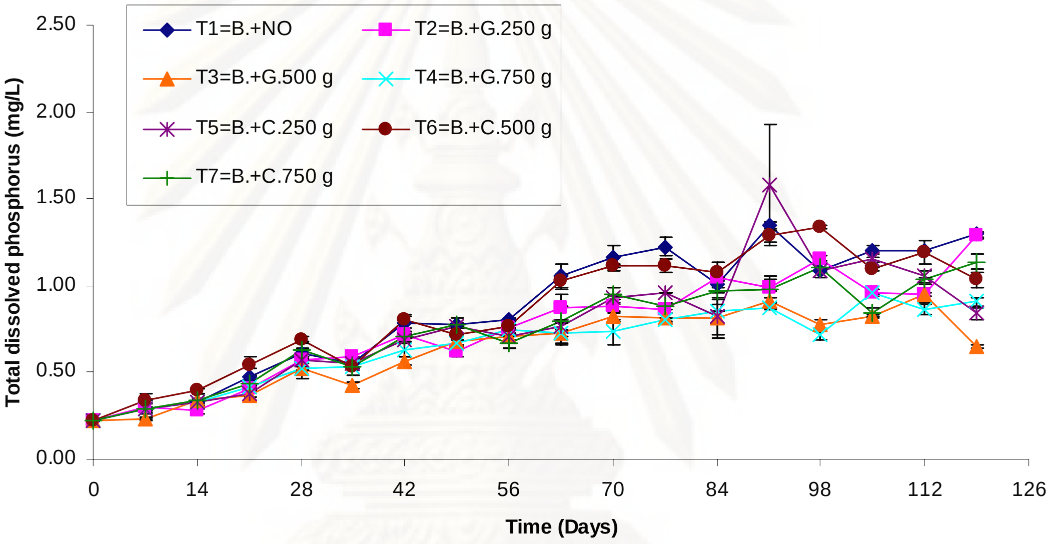
**ตารางที่ 4-12** ค่าเฉลี่ยปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (mg-P/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 0.616±0.360$^{e}$ (0.053-1.110) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 0.543±0.316$^{d}$ (0.053-0.997) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 0.450±0.265$^{a}$ (0.053-0.785) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 0.452±0.273$^{a}$ (0.053-0.724) |
| T5 = B. areolata + *C. lentillifera* 250 g | 0.523±0.299$^{c}$ (0.053-0.898) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 0.607±0.329$^{e}$ (0.053-0.996) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 0.499±0.304$^{b}$ (0.038-0.885) |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

### 4.1.13 **ฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด**

ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมดในทุกชุดการทดลองของบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในภาพที่ 4-13 และตารางที่ 4-13 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง (0.224-1.580 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีการสะสมในระบบเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยในชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยต่ำสุด (0.631±0.229 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยสูงสุด (0.858±0.37 มิลลิกรัมต่อลิตร)



**ภาพที่ 4-13** ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

**ตารางที่ 4-13** ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด (mean ± SD, min-max) ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลา 4 เดือน

| ชุดการทดลอง | ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด (mg-P/L) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 0.858±0.37$^{e}$ (0.224-1.344) |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 0.749±0.309$^{cd}$ (0.224-1.289) |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 0.631±0.229$^{a}$ (0.224-0.949) |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 0.655±0.224$^{b}$ (0.224-0.963) |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 0.761±0.345$^{d}$ (0.224-1.580) |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 0.850±0.340$^{e}$ (0.224-1.337) |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 0.738±0.281$^{c}$ (0.224-1.129) |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

## 4.2 การเติบโต การรอดตาย ความผิดปกติของเปลือก อัตราการแลกเนื้อ และผลผลิตของหอยหวาน

### 4.2.1 การเติบโตโดยน้ำหนักตัวของหอยหวาน

การเติบโตโดยน้ำหนัก (body weight growth rate) ของหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในตารางที่ 4-14 และภาพที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gains) และอัตราการเติบโตโดยน้ำหนัก (absolute growth rate) ของหอยหวานในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$>0.05) (ตารางที่ 4-15) โดยอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในชุดการทดลองที่ 3 (1.17±0.16 กรัมต่อเดือน), 4 (1.16±0.16 กรัมต่อเดือน), 5 (1.17±0.16 กรัมต่อเดือน) และ 7 (1.15±0.09 กรัมต่อเดือน) มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ใช้สาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำ (0.09±0.12 กรัมต่อเดือน) ชุดการทดลองที่ 2 (1.00±0.12 กรัมต่อเดือน) และ 6 (1.07±0.10 กรัมต่อเดือน)

**ตารางที่ 4-14** การเติบโตโดยน้ำหนัก (กรัม) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

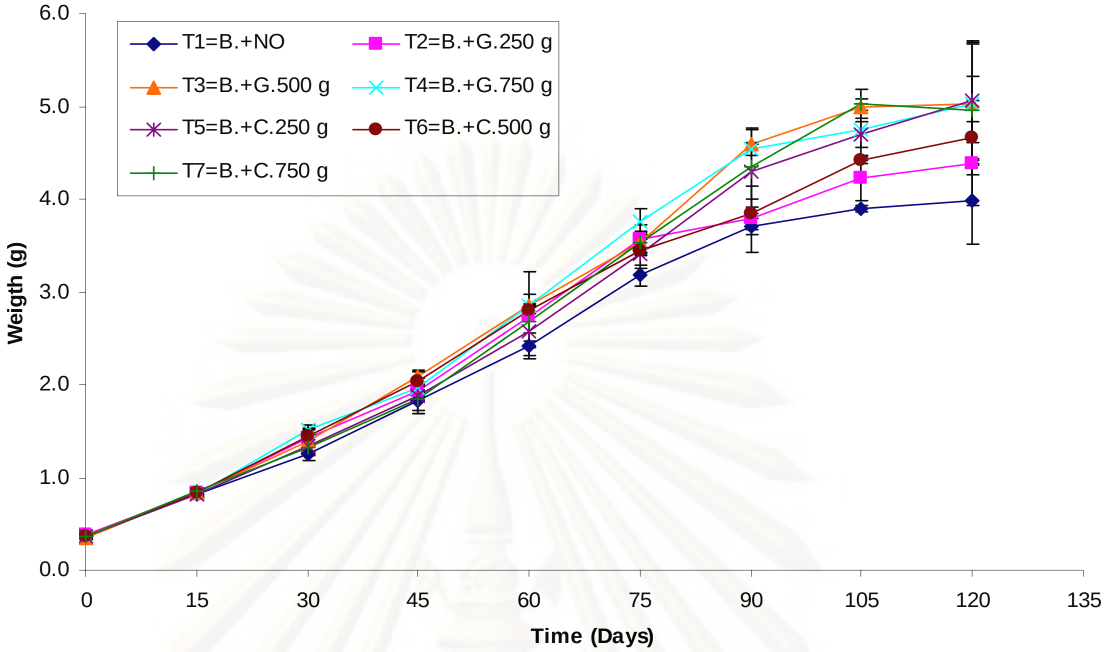
| ชุดการทดลอง | ระยะเวลาทดลอง (วัน) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 |
| T1 | 0.36±0.00 | 0.81±0.01 | 1.26±0.08 | 1.83±0.11 | 2.42±0.13 | 3.18±0.11 | 3.71±0.09 | 3.90±0.04 | 3.98±0.46 |
| T2 | 0.38±0.01 | 0.83±0.01 | 1.43±0.02 | 1.94±0.06 | 2.73±0.05 | 3.56±0.17 | 3.79±0.36 | 4.22±0.24 | 4.38±0.45 |
| T3 | 0.35±0.01 | 0.84±0.01 | 1.40±0.12 | 2.08±0.07 | 2.85±0.37 | 3.54±0.12 | 4.60±0.01 | 5.00±0.04 | 5.03±0.65 |
| T4 | 0.37±0.01 | 0.82±0.01 | 1.52±0.05 | 1.97±0.10 | 2.86±0.01 | 3.76±0.14 | 4.54±0.06 | 4.75±0.33 | 5.02±0.65 |
| T5 | 0.37±0.01 | 0.83±0.04 | 1.34±0.11 | 1.89±0.19 | 2.58±0.26 | 3.41±0.16 | 4.30±0.45 | 4.70±0.13 | 5.07±0.64 |
| T6 | 0.37±0.00 | 0.83±0.06 | 1.45±0.09 | 2.03±0.11 | 2.80±0.03 | 3.45±0.03 | 3.84±0.16 | 4.42±0.04 | 4.66±0.40 |
| T7 | 0.37±0.00 | 0.85±0.04 | 1.32±0.02 | 1.84±0.15 | 2.69±0.29 | 3.53±0.11 | 4.34±0.42 | 5.03±0.16 | 4.96±0.35 |

หมายเหตุ : T1 = *B. areolata* + NO seaweed T2 = *B. areolata* + *G. salicornia* 250 g

T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g

T5 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 250 g T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g

T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g



**ภาพที่** 4-14 การเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

**ตารางที่** 4-15 น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

| ชุดการทดลอง | น้ำหนักทั้งตัว (กรัม) | | | อัตราการเติบโตโดยน้ำหนัก (กรัมต่อเดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | น้ำหนักเริ่มต้น | น้ำหนักสุดท้าย | น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น | |
| T1 | 0.36±0.00 | 3.98±0.46 | 3.62±0.46 | 0.90±0.12 |
| T2 | 0.38±0.01 | 4.38±0.45 | 4.00±0.47 | 1.00±0.12 |
| T3 | 0.35±0.01 | 5.03±0.65 | 4.68±0.64 | 1.17±0.16 |
| T4 | 0.37±0.01 | 5.02±0.65 | 4.66±0.66 | 1.16±0.16 |
| T5 | 0.37±0.01 | 5.07±0.64 | 4.70±0.63 | 1.17±0.16 |
| T6 | 0.37±0.00 | 4.66±0.40 | 4.29±0.40 | 1.07±0.10 |
| T7 | 0.37±0.00 | 4.96±0.35 | 4.59±0.35 | 1.15±0.09 |

หมายเหตุ : T1 = *B. areolata* + NO seaweed　　T2 = *B. areolata* + *G. salicornia* 250 g

T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g　　T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g

T5 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 250 g　　T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g

T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g

### 4.2.2 การเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวาน

การเติบโตโดยความยาวเปลือก (shell length growth rate) ของหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในตารางที่ 4-16 และภาพที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) พบว่า ความยาวที่เพิ่มขึ้น (length increments) และอัตราการเติบโตโดยความยาวเปลือก (absolute growth rate) ของหอยหวานในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4-17) โดยอัตราการเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในชุดการทดลองที่ 3 (0.39±0.03 เซนติเมตรต่อเดือน), 4 (0.39±0.04 เซนติเมตรต่อเดือน), 5 (0.39±0.04 เซนติเมตรต่อเดือน), 6 (0.38±0.02 เซนติเมตรต่อเดือน) และ 7 (0.40±0.02 เซนติเมตรต่อเดือน) มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ใช้สาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำ (0.34±0.03 เซนติเมตรต่อเดือน) และชุดการทดลองที่ 2 (0.35±0.02 เซนติเมตรต่อเดือน)

**ตารางที่ 4-16** การเติบโตโดยความยาวเปลือก (เซนติเมตร) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

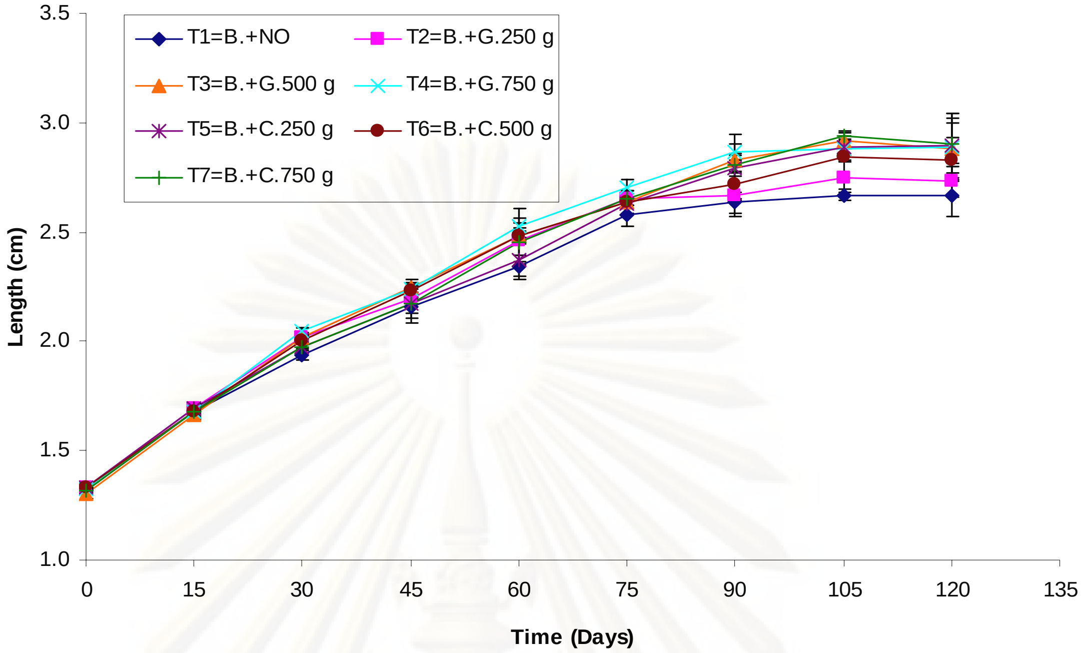
| ชุดการทดลอง | ระยะเวลาทดลอง (วัน) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 |
| T1 | 1.32±0.01 | 1.68±0.01 | 1.94±0.02 | 2.16±0.05 | 2.34±0.06 | 2.58±0.05 | 2.64±0.05 | 2.67±0.03 | 2.67±0.10 |
| T2 | 1.33±0.01 | 1.69±0.01 | 2.02±0.01 | 2.20±0.02 | 2.46±0.01 | 2.65±0.04 | 2.67±0.10 | 2.75±0.07 | 2.73±0.07 |
| T3 | 1.31±0.02 | 1.67±0.02 | 2.02±0.05 | 2.25±0.01 | 2.49±0.12 | 2.64±0.01 | 2.83±0.03 | 2.92±0.04 | 2.88±0.14 |
| T4 | 1.33±0.01 | 1.68±0.02 | 2.05±0.01 | 2.24±0.04 | 2.53±0.01 | 2.70±0.04 | 2.87±0.04 | 2.88±0.06 | 2.89±0.16 |
| T5 | 1.34±0.01 | 1.69±0.03 | 1.98±0.06 | 2.18±0.05 | 2.38±0.08 | 2.63±0.04 | 2.80±0.15 | 2.89±0.04 | 2.90±0.15 |
| T6 | 1.33±0.00 | 1.68±0.03 | 2.00±0.03 | 2.24±0.04 | 2.49±0.02 | 2.64±0.01 | 2.72±0.06 | 2.84±0.01 | 2.83±0.10 |
| T7 | 1.32±0.00 | 1.68±0.03 | 1.97±0.03 | 2.17±0.08 | 2.46±0.11 | 2.66±0.04 | 2.81±0.05 | 2.94±0.01 | 2.91±0.09 |

หมายเหตุ : T1 = *B. areolata* + NO seaweed T2 = *B. areolata* + *G. salicornia* 250 g

T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g

T5 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 250 g T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g

T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g



**ภาพที่ 4-15** การเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

**ตารางที่ 4-17** ความยาวสุดท้าย ความยาวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเติบโตโดยความยาวของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

| ชุดการทดลอง | ความยาวเปลือก (เซนติเมตร) | | | อัตราการเติบโตโดยความยาวเปลือก (เซนติเมตรต่อเดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | ความยาวเริ่มต้น | ความยาวสุดท้าย | ความยาวที่เพิ่มขึ้น | |
| T1 | 1.32±0.01 | 2.67±0.10 | 1.36±0.11 | 0.34±0.03 |
| T2 | 1.33±0.01 | 2.73±0.07 | 1.40±0.08 | 0.35±0.02 |
| T3 | 1.31±0.02 | 2.88±0.14 | 1.58±0.12 | 0.39±0.03 |
| T4 | 1.33±0.01 | 2.89±0.16 | 1.57±0.16 | 0.39±0.04 |
| T5 | 1.34±0.01 | 2.90±0.15 | 1.56±0.14 | 0.39±0.04 |
| T6 | 1.33±0.00 | 2.83±0.10 | 1.50±0.10 | 0.38±0.02 |
| T7 | 1.32±0.00 | 2.91±0.09 | 1.59±0.09 | 0.40±0.02 |

หมายเหตุ : T1 = *B. areolata* + NO seaweed T2 = *B. areolata* + *G. salicornia* 250 g

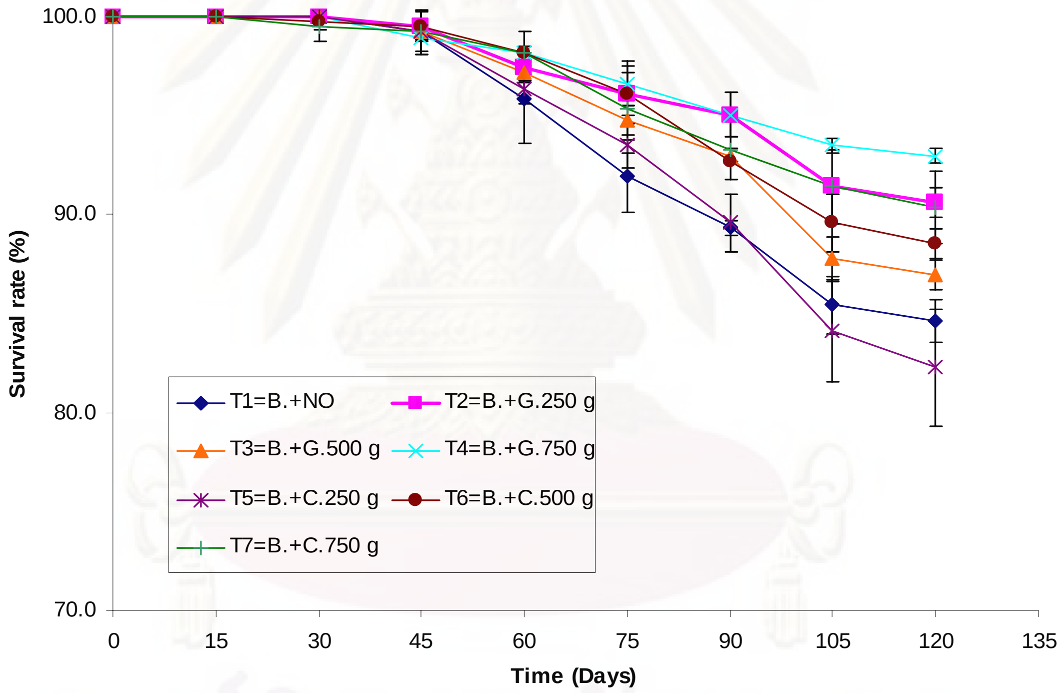
T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g

T5 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 250 g T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g

T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g

### 4.2.3 การรอดตายของหอยหวาน

อัตราการรอดตาย (survival rate) ของหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในภาพที่ 4-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) พบว่า อัตราการรอดตายสุดท้าย (final survival rate) ของหอยหวานในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4-18) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าอัตราการรอดตายสุดท้ายของหอยหวานในชุดการทดลองที่ 4 (92.97±0.37 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 (90.63±0.74 เปอร์เซ็นต์), 7 (90.36±1.84 เปอร์เซ็นต์) ส่วนชุดการทดลองที่มีอัตราการรอดตายต่ำสุดคือ ชุดการทดลองที่ 5 (82.29±2.95 เปอร์เซ็นต์) และชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ใช้สาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำ (84.64±1.10 เปอร์เซ็นต์)



**ภาพที่ 4-16** อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

**ตารางที่ 4-18** อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

| ชุดการทดลอง | ระยะเวลาทดลอง (วัน) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 |
| T1 | 100±0.00 | 100±0.00 | 100±0.00 | 99.22±1.10 | 95.83±2.21 | 91.93±1.84 | 89.32±0.37 | 85.42±1.47 | 84.64±1.10$^{ab}$ |
| T2 | 100±0.00 | 100±0.00 | 100±0.00 | 99.48±0.74 | 97.40±0.74 | 96.09±1.10 | 95.05±1.10 | 91.41±0.37 | 90.63±0.74$^{cd}$ |
| T3 | 100±0.00 | 100±0.00 | 100±0.00 | 99.22±0.37 | 97.14±0.37 | 94.79±0.74 | 92.97±0.37 | 87.76±1.10 | 86.98±0.74$^{bc}$ |
| T4 | 100±0.00 | 100±0.00 | 100±0.00 | 98.96±0.74 | 98.18±0.37 | 96.61±1.10 | 95.05±1.10 | 93.49±0.37 | 92.97±0.37$^{d}$ |
| T5 | 100±0.00 | 100±0.00 | 100±0.00 | 99.22±0.37 | 96.35±0.74 | 93.49±1.10 | 89.58±1.47 | 84.11±2.58 | 82.29±2.95$^{a}$ |
| T6 | 100±0.00 | 100±0.00 | 99.74±0.37 | 99.48±0.00 | 98.18±0.37 | 96.09±0.37 | 92.71±0.00 | 89.58±1.47 | 88.54±0.74$^{c}$ |
| T7 | 100±0.00 | 100±0.00 | 99.48±0.74 | 99.22±1.10 | 98.18±1.10 | 95.31±2.21 | 93.23±1.47 | 91.41±1.84 | 90.36±1.84$^{cd}$ |

หมายเหตุ : T1 = *B. areolata* + NO seaweed T2 = *B. areolata* + *G. salicornia* 250 g

T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g

T5 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 250 g T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g

T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

### 4.2.4 อัตราการแลกเนื้อ

อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) ของหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในตารางที่ 4-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) พบว่า อัตราการแลกเนื้อของหอยหวานที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีการใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$>0.05) โดยอัตราการแลกเนื้อในทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยในช่วง 1.41-1.76

**ตารางที่** 4-19 อัตราการแลกเนื้อเฉลี่ยของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

| ชุดการทดลอง | ปริมาณอาหารที่ให้ (กรัม) | น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของหอยหวาน (กรัม) | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ |
|---|---|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 975.5±16.6 | 587.9±82.4 | 1.68±0.21 |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 977.4±15.1 | 696.3±86.9 | 1.41±0.16 |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 1252.0±29.8 | 782.0±112.9 | 1.62±0.27 |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 1248.6±9.8 | 831.2±120.7 | 1.52±0.21 |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 1180.3±131.3 | 739.2±74.0 | 1.61±0.34 |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 1279.5±6.2 | 729.6±73.4 | 1.76±0.17 |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 1302.8±13.4 | 795.7±45.1 | 1.64±0.11 |

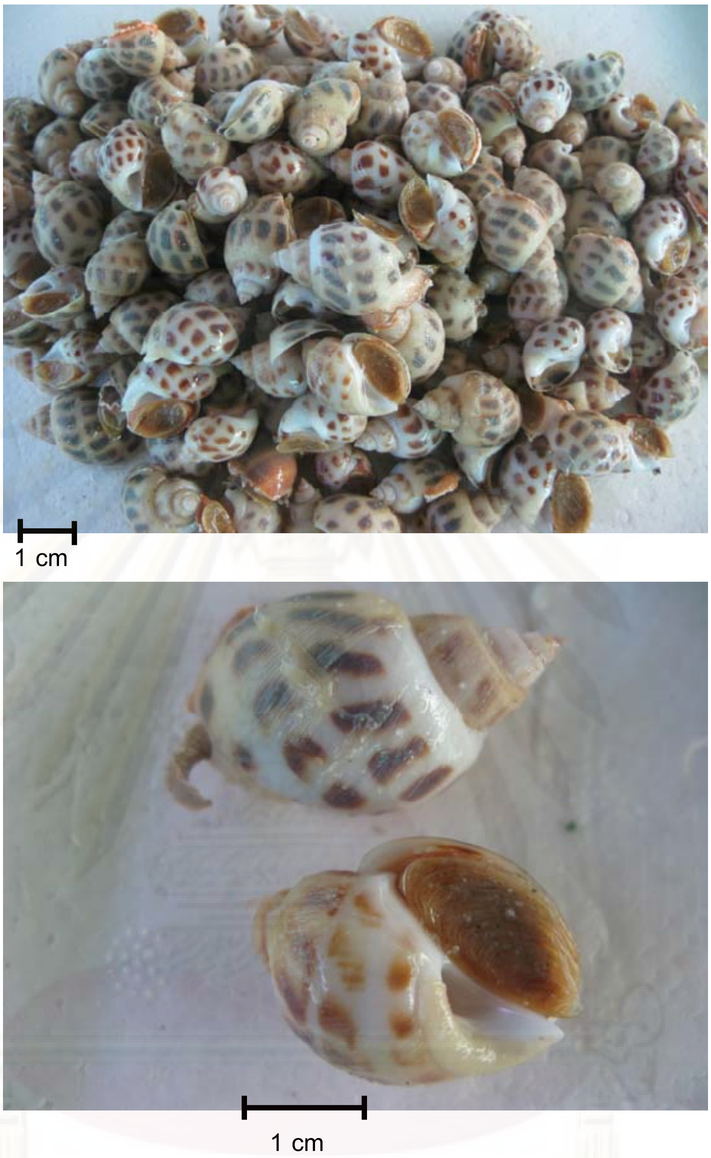
### 4.2.5 ผลผลิตของหอยหวาน

ผลผลิต (yield) ของหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในตารางที่ 4-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) พบว่า ผลผลิตของหอยหวานที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีการใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05) โดยผลผลิตของหวานในชุดการทดลองที่ 4 (826.2±121.0 กรัม) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 7 (788.9±43.8 กรัม), 3 (773.3±113.0 กรัม), 5 (727.4±70.3 กรัม) และ 6 (721.4±73.9 กรัม) ส่วนชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ใช้สาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำมีค่าต่ำสุด (577.3±121.0 กรัม) และรองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 2 (689.5±87.7 กรัม)

**ตารางที่ 4-20** ผลผลิตของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

| ชุดการทดลอง | ผลผลิตสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม) |
|---|---|
| T1 = *B. areolata* + NO Seaweed | 577.3±83.1$^{a}$ |
| T2 = *B. areolata* +*G. salicornia* 250 g | 689.5±87.7$^{ab}$ |
| T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g | 773.3±113.0$^{ab}$ |
| T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g | 826.2±121.0$^{b}$ |
| T5 = *B.* areolata + *C. lentillifera* 250 g | 727.4±70.3$^{ab}$ |
| T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g | 721.4±73.9$^{ab}$ |
| T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g | 788.9±43.8$^{ab}$ |

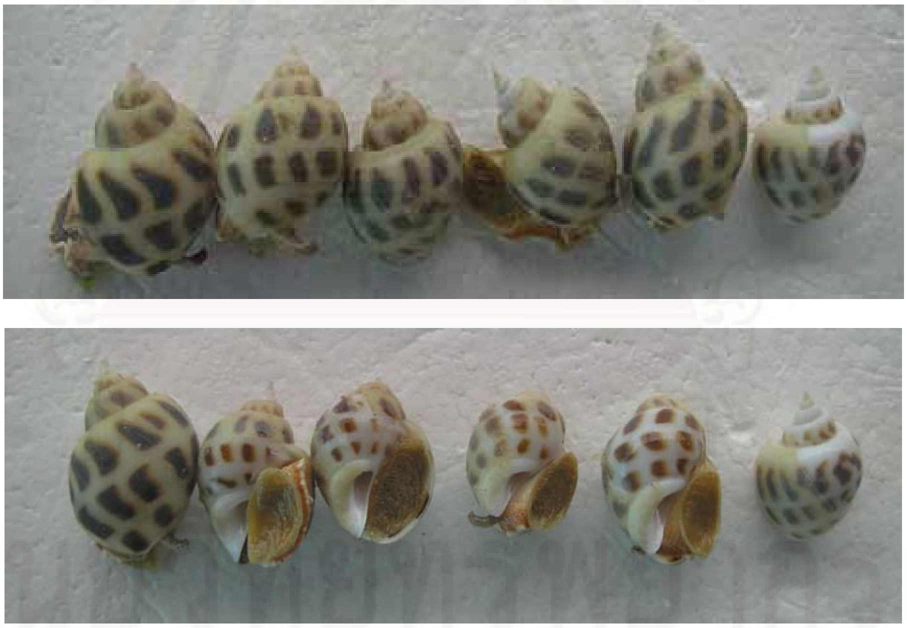
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)



**ภาพที่** 4-17 ภาพถ่ายของหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเล โดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

### 4.2.6 ความผิดปกติของเปลือกหอยหวาน

ความผิดปกติของเปลือกหอยหวานในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับเป็นเวลา 4 เดือน ได้แสดงในภาพที่ 4-18 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ความผิดปกติของเปลือกหอยหวานเกิดขึ้นในทุกชุดการทดลอง กล่าวคือ ผิวเปลือกชั้นนอกหลุดลอกประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยลำดับขั้นของความผิดปกติของเปลือกหอยหวานมีดังนี้ เมื่อเลี้ยงหอยหวานในทุกชุดการทดลองเป็นเวลาประมาณ 2 เดือน พบว่า เปลือกหอยหวานเริ่มมีสีซีดจาง และเปลือกบริเวณปลายแหลมของเกลียวบนสุดมีสีซีดขาว (พบปริมาณน้อยในทุกชุดการทดลอง) เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 3 พบว่า หอยหวานในทุกชุดการทดลองมีความผิดปกติของเปลือกดังกล่าวเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นเปลือกชั้นนอกจะมีการหลุดลอกเพิ่มมากขึ้นจนเกือบรอบตัวหอยหวาน นอกจากนี้ยังพบว่า หอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายข้อเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำจะมีลักษณะความผิดปกติของเปลือกมากกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำ รวมถึงชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง

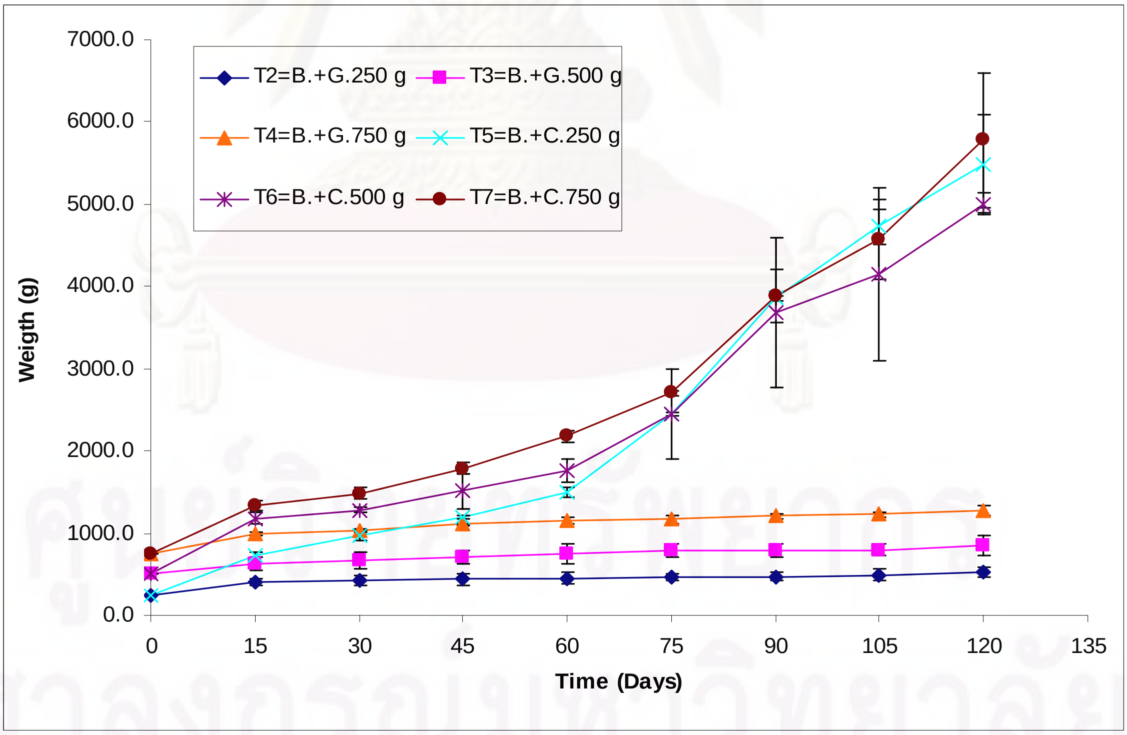


**ภาพที่** 4-18 ภาพถ่ายแสดงความผิดปกติของเปลือกหอยหวานบริเวณส่วนหลัง (บน) และส่วนท้อง (ล่าง) ในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

## 4.3 การเติบโตและผลผลิตของสาหร่ายทะเล

การเติบโตของสาหร่ายทะเลที่ใช้เป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 4 เดือนได้แสดงในตารางที่ 4-21 และภาพที่ 4-19 ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) ของสาหร่ายทะเลในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05) โดยอัตราการเติบโตจำเพาะของสาหร่ายทะเลในชุดการทดลองที่ 5 (2.58±0.09 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ สาหร่ายทะเลในชุดการทดลองที่ 6 (1.92±0.02 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) และ 7 (1.70±0.12 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) สำหรับชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการเติบโตจำเพาะต่ำสุดในช่วง (0.44-0.61 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) (ตารางที่ 4-12)

สำหรับผลผลิตของสาหร่ายทะเลทั้งสองชนิดได้แสดงในตารางที่ 4-22 และภาพที่ 4-20 โดยผลผลิตของสาหร่ายทะเลในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05) โดยผลผลิตของสาหร่ายทะเลในชุดการทดลองที่ 7 (5,776.9±811.9 กรัม) มีค่าสูงสุด และรองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 5 (5,487.6±597.2 กรัม) และ 6 (4,998.5±131.3 กรัม) สำหรับชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีค่าต่ำสุดในช่วง (520.4-1,276.4 กรัม) จากผลการทดลองดังกล่าว สรุปได้ว่าสาหร่ายช่อพริกไทยในระบบทดลองมีการเติบโตดีกว่าสาหร่ายข้อ



**ภาพที่ 4-19** น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายทะเล (กรัม) ในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิด และอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

**ตารางที่ 4-21** อัตราการเติบโตจำเพาะของสาหร่ายทะเลในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

| ชุดการทดลอง | น้ำหนักสด (กรัม) | | | อัตราการเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) |
|---|---|---|---|---|
| | น้ำหนักเริ่มต้น | น้ำหนักสุดท้าย | น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น | |
| T1 | - | - | - | - |
| T2 | 250.0±0.00 | 520.4±63.9 | 270.4±63.9$^{a}$ | 0.61±0.10$^{a}$ |
| T3 | 500.0±0.00 | 843.5±120.2 | 343.5±120.2$^{a}$ | 0.44±0.12$^{a}$ |
| T4 | 750.0±0.00 | 1,276.4±61.7 | 526.4±61.7$^{a}$ | 0.44±0.04$^{a}$ |
| T5 | 250.0±0.00 | 5,487.6±597.2 | 5,237.3±596.8$^{b}$ | 2.58±0.09$^{c}$ |
| T6 | 500.0±0.00 | 4,998.5±131.3 | 4,498.5±131.3$^{b}$ | 1.92±0.02$^{b}$ |
| T7 | 750.0±0.00 | 5,776.9±811.0 | 5,026.9±811.0$^{b}$ | 1.70±0.12$^{b}$ |

หมายเหตุ : T1 = *B. areolata* + NO seaweed T2 = *B. areolata* + *G. salicornia* 250 g
T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g
T5 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 250 g T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g
T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกในคอลัมน์เดียวกันต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05)

**ตารางที่** 4-22 น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายทะเล (กรัม) ในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและอัตราความหนาแน่น 3 ระดับ

| ชุดการทดลอง | ระยะเวลาทดลอง (วัน) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 |
| T1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T2 | 250.0±0.00 | 408.7±45.3 | 426.5±55.2 | 439.5±68.5 | 448.8±72.8 | 466.6±49.0 | 467.5±49.7 | 490.5±67.0 | 520.4±63.9 |
| T3 | 500.0±0.00 | 620±83.3 | 670.0±106.9 | 710.9±77.6 | 744.1±123.2 | 782.3±81.0 | 787.0±77.1 | 797.1±76.8 | 843.5±120.2 |
| T4 | 750.0±0.00 | 997.4±19.6 | 1040.8±6.6 | 1,105.0±3.5 | 1,151.4±44.3 | 1,166.8±48.2 | 1,205.9±38 | 1,225.1±22.1 | 1,276.4±61.7 |
| T5 | 250.0±0.00 | 737.4±22.8 | 964.0±47.3 | 1,195.8±17.3 | 1,495.8±53.5 | 2,447.9±22.4 | 3,855.4±26.2 | 4,730.2±214.4 | 5,487.6±597.2 |
| T6 | 500.0±0.00 | 1,177.5±74.7 | 1,279.1±32.1 | 1,512.0±211.9 | 1,762.0±141.2 | 2,449.3±550.3 | 3,676.5±914.1 | 4,151.1±1054.7 | 4,998.5±131.3 |
| T7 | 750.0±0.00 | 1,337.8±59.9 | 1,482.6±70.9 | 1,782.6±70.9 | 2,182.6±70.5 | 2,707.5±26.9 | 3,883.5±331.9 | 4,564.5±487.3 | 5,776.9±811.0 |

หมายเหตุ
T1 = *B. areolata* + NO seaweed
T2 = *B. areolata* + *G. salicornia* 250 g
T3 = *B. areolata* + *G. salicornia* 500 g
T4 = *B. areolata* + *G. salicornia* 750 g
T5 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 250 g
T6 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 500 g
T7 = *B. areolata* + *C. lentillifera* 750 g

(ก)

(ข)

**ภาพที่** 4-20 ภาพถ่ายของสาหร่ายทะเล (ก) สาหร่ายข้อ (ข) สาหร่ายช่อพริกไทยในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน

# บทที่ 5

# วิจารณ์ผลการทดลอง

## 5.1 คุณภาพน้ำทะเล

คุณภาพน้ำทะเลในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและความหนาแน่น 3 ระดับ พบว่า อุณหภูมิน้ำทะเล ความนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบและมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาทดลอง ซึ่งคุณภาพน้ำทะเลเหล่านี้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเลี้ยงหอยหวาน (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ, 2548) และไม่เกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) แต่อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อหอยหวานในระบบน้ำหมุนเวียน ประกอบด้วย ความเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด ดังนี้

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง (ช่วง 21 วันแรก) หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีในระบบมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) และมีปริมาณเหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ คือ มีค่าระหว่าง 25-80 มิลลิกรัมต่อลิตร (นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546)

ความเป็นด่างรวมในระบบทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ภายในระยะ 14 วัน หลังเริ่มการทดลอง 14 วันจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ค่าความเป็นด่างในทุกชุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับไปมาไม่คงที่ แต่มีค่าน้อยกว่าน้ำทะเลธรรมชาติ สาเหตุเนื่องจากหอยหวานระยะวัยรุ่นจะมีการเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะเวลาการเลี้ยง 3 เดือนแรก จึงมีความต้องการแคลเซียมในน้ำเพื่อการสร้างเปลือก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ (2549) และ Krisanapuntu et al. (2006) รายงานว่า หอยหวานที่เลี้ยงในบ่อที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยและไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลย ค่าด่างรวมจะลดลงอย่าง

รวดเร็ว ภายในระยะเวลา 12-15 วัน และหอยหวานจะกินอาหารน้อยลงและมีการเติบโตลดลง เมื่อเลี้ยงในบ่อที่มีค่าความเป็นด่างรวมต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตาม ค่าด่างรวมในระบบทดลองในครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าการทดลองของนิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ (2549) ที่มีค่าลดลงจนถึงระดับ 32.50-54.50 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจเนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้มีการเติมกระซ้าเปลือกหอยและเปลือกหอยนางรมเพื่อเป็นแหล่งเพิ่มแคลเซียมให้กับระบบ แต่อาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของหอยหวาน ส่งผลให้เมื่อเข้าสู่การทดลองในเดือนที่ 2 เปลือกหอยชั้นนอกเริ่มมีสีซีดจาง ส่วนปลายแหลมจะมีสีขาว และในที่สุดเปลือกชั้นนอกจะหลุดลอกเป็นแผ่นๆ และพบว่าหอยหวานเริ่มมีการตาย สอดคล้องกับการศึกษาของนิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และศิรุษา กฤษณะพันธุ์ (2545) รายงานว่าการเลี้ยงหอยหวานระยะวัยรุ่นในบ่อเลี้ยงระบบน้ำทะเลหมุนเวียน โดยมิได้เปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล พบว่า หอยหวานจะเริ่มไม่กินอาหารในเดือนที่ 4 เปลือกชั้นนอกหลุดลอก และหอยจะตายหมดภายในเดือนที่ 5 ดังนั้น การเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่พัฒนาขึ้น ควรมีการเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในระบบเพื่อรักษาค่าความเป็นด่างให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม คือ ต้องมีค่าประมาณ 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมลฤทัย ไชยน้ำอ้อม (2548) รายงานว่า การเลี้ยงหอยหวานในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 15 วัน และเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในปริมาณ 0, 100 และ 250 กรัมต่อตัน มีน้ำหนัก อัตราการแลกเนื้อ การรอดตายมากที่สุด และคุณภาพของเปลือกหอยหวานดีที่สุด แต่หอยหวานจะมีคุณภาพเปลือกดีที่สุดในบ่อที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมาก 15-30 วัน โดยไม่ต้องเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบที่ใช้สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทยมีความเข้มข้นน้อยกว่าระบบที่ไม่มีสาหร่าย โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 21-28 วันของการทดลอง และจะเริ่มลดต่ำลง สอดคล้องกับการศึกษาของประหยัด มะหมัด (2547) รายงานว่าระบบกรองแบบใช้สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่าย *Gracilaria fisheri* ในการเลี้ยงปลากะพงขาวระบบน้ำหมุนเวียน ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบที่ไม่มีสาหร่าย จะสูงในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 (0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร) และลดลงในสัปดาห์ที่ 4 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบที่มีสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในสัปดาห์ที่ 2,3 และลดลงในสัปดาห์ที่ 4 (0.37 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบที่มีสาหร่าย *Gracilaria fisheri* จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในสัปดาห์ที่ 3,4 และลดลงในสัปดาห์ที่ 5 (0.47 มิลลิกรัมต่อลิตร) และธีรพงษ์ จรัญญากรณ์ (2545) รายงานว่าการเลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* พบว่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในชุดการทดลองที่ไม่มีสาหร่ายและมีสาหร่ายมีการเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 0-20 หลังจากวันที่ 20 พบว่า

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำลดลง โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในชุดที่มีสาหร่ายมีค่าต่ำกว่าในถังชุดควบคุม

ความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนในระบบที่ใช้สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทยมีความเข้มข้นน้อยกว่าระบบที่ไม่มีสาหร่าย โดยไนไตรท์-ไนโตรเจนในระบบทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 21-28 วันของการทดลอง และจะเริ่มลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของประหยัด มะหมัด (2547) พบว่า ความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนในระบบที่ไม่มีสาหร่าย จะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 (7.54 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 6 ความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนในระบบที่มีสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเพิ่มสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 (9.66 มิลลิกรัมต่อลิตร) และจะลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 8 ส่วนความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนในระบบที่มีสาหร่าย *Gracilaria fisheri* จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเพิ่มสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 (6.08 มิลลิกรัมต่อลิตร) และลดลงในสัปดาห์ที่ 7

ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในระบบที่ใช้สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทยบางชุดการทดลองมีความเข้มข้นน้อยกว่าและบางชุดการทดลองมีความเข้มข้นมากกว่าระบบที่ไม่มีสาหร่าย โดยพบการสะสมของไนเตรท-ไนโตรเจนในทุกชุดการทดลอง และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของประหยัด มะหมัด (2547) พบว่า ค่าความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในระบบที่ไม่มีสาหร่าย และมีสาหร่าย จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 จนสิ้นสุดการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ย 19.73, 22.73 และ 20.74 มิลลิกรัมต่อลิตรในชุดการทดลองที่ไม่มีสาหร่าย มีสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่าย *Gracilaria fisheri* ตามลำดับ

ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในระบบที่ใช้สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทย มีความเข้มข้นน้อยกว่าระบบที่ไม่มีสาหร่าย โดยพบการสะสมของออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในระบบทุกชุดการทดลอง และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของประหยัด มะหมัด (2547) พบว่า ค่าความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในระบบที่ไม่มีสาหร่าย และมีสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ในชุดที่ไม่มีสาหร่าย และสัปดาห์ที่ 6 ในชุดที่มีสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่าย *Gracilaria fisheri*

ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจนในระบบที่มีสาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทย มีปริมาณน้อยกว่าในระบบที่ไม่มีสาหร่ายทะเล เพราะสาหร่ายสามารถนำสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของประหยัด มะหมัด (2547); ประมัยพร ทองคณารักษ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร (2551); Neori et al. (1996, 2000) และ Wang et al. (2007) รายงานว่า

คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงที่มีสาหร่ายจะมีคุณภาพดีกว่าระบบที่ไม่มีสาหร่าย สำหรับแนวโน้มของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ไนเตรท-ไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่า สาหร่ายสามารถนำแอมโมเนียมไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยเฉพาะการสร้างกรดอะมิโนได้โดยตรง ในขณะที่ถ้าสาหร่ายใช้ไนเตรทจะต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมก่อน เซลล์จึงจะสามารถนำไปใช้ได้ (Lobban and Harrison, 1994 อ้างถึงในอลิสา โชควิวัฒนวนิช, 2543) ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของอลิสา โชควิวัฒนวนิช (2543) รายงานว่า สาหร่าย *Acanthophora spicifera* และสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* จะเลือกใช้สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมก่อนไนเตรทเสมอ โดยไนเตรทที่ความเข้มข้นสูงไม่มีผลยับยั้งการนำแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์ การศึกษาของประมัยพร ทองคณารักษ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร (2551) รายงานว่า สาหร่าย *Gracilaria fisheri* และสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* จะดูดไนเตรทมาใช้ เมื่อแอมโมเนียรวมถูกใช้หมดไป การศึกษาของ Larned (1998) รายงานว่า สาหร่ายในแหล่งที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า และสาหร่ายบางชนิดจะไม่มีการเจริญเติบโตเมื่ออยู่ในแหล่งที่ไม่มีแอมโมเนีย รวมทั้งการศึกษาของ Wallentinus (1984) พบว่า สาหร่ายจะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงขึ้น และไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียจะถูกดูดซึมไปใช้ได้มากกว่าไนเตรท สำหรับปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนนั้น เนื่องจากในระบบทดลองมีการให้อากาศเต็มที่ ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ nitrifying bacteria จะออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ (ประมัยพร ทองคณารักษ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2551) เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) รายงานว่า โดยปกติในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะพบไนไตรท์ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากไม่คงตัว และส่วนมากจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท ดังนั้น ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในระบบส่วนหนึ่งจึงอาจเป็นไปได้ว่า บางส่วนอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในวัฏจักรของไนโตรเจน คือ ไนไตรท์ถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท และส่วนที่เหลือลดลงอาจเนื่องจากการดูดซึมของสาหร่าย ซึ่งจากคุณภาพน้ำในระบบทดลองครั้งนี้ มีค่า pH และ อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเกิดได้เร็วที่สุดในช่วงค่า pH ระหว่าง 7-8 และอุณหภูมิช่วง 25-35 องศาเซลเซียส (วิรัช จิ๋วแย้ม, 2544) ปริมาณไนเตรทของบ่อเลี้ยงจึงอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันของสารประกอบไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม คุณภาพน้ำในระบบของการศึกษาในครั้งนี้ ก็มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงหอยหวาน เนื่องจากปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษกับหอยหวานมีปริมาณสะสมในระบบน้อย (แอมโมเนีย-ไนโตรเจน<1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร, ไนไตรท์-ไนโตรเจน<4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถึงแม้ว่าในระบบเลี้ยงจะมีการสะสม

ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน แต่ไนเตรท-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจน และมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ในช่วงที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 7.700-12.517 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ มีค่าระหว่าง 0-12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532 อ้างถึงในวรรนิภา เพี้ยนภักตร์, 2539) สำหรับการลดลงของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบที่ไม่มีสาหร่าย กระบวนการลดลงดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากสิ่งมีชีวิตในระบบ เช่น แพลงก์ตอนพืช แบคทีเรียที่มีในน้ำทะเลธรรมชาติ แต่การสะสมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบนานกว่าระบบที่มีสาหร่าย และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบก็มีค่าสูงกว่า ประมัยพร ทองคณารักษ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร (2551) รายงานว่า ปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลากะรังดอกแดงในชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายสามารถลดลงได้ แต่ต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก จึงไม่ควรทิ้งน้ำไปโดยตรง หรือเก็บไว้จนกระทั่งสารอาหารหมดไปเอง เนื่องจากต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองพื้นที่ จึงมีความจำเป็นต้องใช้สิ่งมีชีวิตอื่นๆ เข้ามาช่วยในการบำบัด เช่นเดียวกับการศึกษาของอลิสา โชควิวัฒนวนิช (2543) รายงานว่า ชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ปริมาณแอมโมเนียมในน้ำก็สามารถลดลงได้ แสดงว่า ในน้ำมีแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียมในน้ำเป็นไนไตรท์และไนเตรทด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ปริมาณความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในระบบที่มีสาหร่ายข้อ และสาหร่ายช่อพริกไทย มีปริมาณน้อยกว่าในระบบที่ไม่มีสาหร่ายทะเล แต่ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มสะสมเพิ่มมากขึ้นในระบบ อาจเนื่องมาจากน้ำในระบบมีแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่ แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือตะกอนแขวนลอยให้กลายเป็นออร์โธฟอสเฟต (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2544) นอกจากนี้สาหร่ายยังต้องการธาตุอาหารไนโตรเจนประมาณ 16 เท่าของธาตุฟอสฟอรัส (Bereridge, 1984) การศึกษาของ Lobban and Paul (1994) อ้างถึงในศิริวรรณ คิดประเสริฐ และประพฤติ พรหมสมบูรณ์ (2540) รายงานว่า ถ้าน้ำมีปริมาณไนเตรทอยู่สูงจะมีผลยับยั้งการดูดซับฟอสเฟตของสาหร่าย *Ulva* sp. และ Wallentinus (1984) รายงานว่า อัตราการนำเข้าฟอสเฟตของสาหร่ายบริเวณทะเลบอลติกจะมีการนำฟอสเฟตไปใช้ได้น้อยกว่าแอมโมเนีย และประการสำคัญ สาหร่ายทะเลแต่ละชนิดจะมีความต้องการอัตราส่วนระหว่าง N:P แตกต่างกัน เช่น สันติ ปริยะวาที และคณะ (2546) รายงานว่าสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ตอบสนองต่อปุ๋ยที่มีอัตราส่วนของ N:P เท่ากับ 8:1 โดยมีไนโตรเจนจากไนเตรทได้ดีกว่าเมื่อให้ปุ๋ยที่มี N:P ในสัดส่วนอื่นๆ เป็นต้น

### 5.2 การเติบโตของหอยหวาน

จากการศึกษาผลของการใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียน เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า หอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่มีสาหร่ายข้อ (*Gracilaria salicornia*) และในบ่อทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) มีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าอัตราการเติบโตสูงกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่ไม่มีสาหร่ายทะเล (ชุดควบคุม) แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการเติบโตของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเลทั้งสองชนิดมีค่าอัตราการเติบโตสูงกว่าการเลี้ยงหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนของมลฤทัย ไชยน้ำอ้อม (2548) ที่ใช้การเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต 4 ระดับ (0, 100, 250 และ 500 กรัมต่อตัน) และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล 4 ระดับ (0, 15, 30 และ 60 วัน) พบว่า หอยหวานมีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักระหว่าง 0.29-0.46 กรัมต่อเดือน โดยมีการเติบโตโดยน้ำหนักต่ำและสูงที่สุดที่ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 0 และ 15 วันตามลำดับ และหอยหวานมีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักระหว่าง 0.34-0.43 กรัมต่อเดือน โดยมีการเติบโตโดยน้ำหนักต่ำและสูงที่สุดที่ระดับการเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต 500 และ 0 กรัมต่อตันตามลำดับ นอกจากนี้หอยหวานที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเลทั้งสองชนิดนี้ยังมีอัตราการเติบโตสูงกว่าการเลี้ยงหอยหวานในระบบน้ำหมุนเวียนของ Krisanapuntu et al. (2006) และ Chaitanawisuti et al. (2005) โดย Krisanapuntu et al. (2006) ได้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 4 ระดับ (0, 15, 30 และ 60 วันต่อรอบ) ในบ่อเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าหอยหวานมีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักระหว่าง 0.36-0.50 กรัมต่อเดือน โดยมีการเติบโตโดยน้ำหนักต่ำและสูงที่สุดที่ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 0 และ 15 วันตามลำดับ Chaitanawisuti et al. (2005) ได้ทำการเลี้ยงหอยหวานด้วยบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน และระบบน้ำไหลผ่านตลอด พบว่า หอยหวานมีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.66±0.7 กรัมต่อเดือน นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการการเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเลทั้งสองชนิดนี้ยังมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเติบโตของหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อระบบน้ำไหลผ่านตลอด (1.05±0.4 กรัมต่อเดือน)

ผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า หอยหวานมีอัตราการรอดตายในช่วง 82.29-92.97 เปอร์เซ็นต์ โดยหอยหวานที่เลี้ยงในระบบที่ใช้สาหร่ายข้อมีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในระบบที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทย และอัตราการรอดตายของหอยหวานที่เลี้ยงในระบบที่มีสาหร่ายมีค่าสูงกว่าหอยหวานในระบบที่ไม่มีสาหร่าย ซึ่งหอยหวานที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้สาหร่ายทะเลในครั้งนี้มีอัตราการรอดตายสูงกว่าบ่อ

เลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้วิธีการเติมปูนแคลเซียมซึ่งมีอัตราการรอดตายต่ำ (60.83-87.39 เปอร์เซ็นต์) (มลฤทัย ไชยน้ำอ้อม, 2548) บ่อเลี้ยงที่ใช้ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่างกัน (65.83 -87.39 เปอร์เซ็นต์) (Krisanapuntu et al., 2006) แต่มีอัตราการรอดตายต่ำกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้ตัวกรองชีวภาพ (92.0 เปอร์เซ็นต์) (Chaitanawisuti et al., 2005)

อัตราการแลกเนื้อของหอยหวานที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีการใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำพบว่า หอยหวานมีอัตราการแลกเนื้อในช่วง 1.41-1.76 โดยหอยหวานที่เลี้ยงในระบบทดลองที่มีสาหร่ายข้อมีอัตราการแลกเนื้อต่ำกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในระบบที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย แต่อย่างไรก็ตาม อัตราการแลกเนื้อของหอยหวานที่เลี้ยงในระบบที่มีสาหร่ายมีค่าต่ำกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในระบบที่ไม่มีสาหร่าย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของนิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ (2549) ที่เลี้ยงหอยหวานระยะวัยรุ่นในบ่อผ้าใบระบบน้ำทะเลหมุนเวียนแบบกึ่งปิดที่มีระยะการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเล 100 เปอร์เซ็นต์ ทุก 7, 15 และ 21 วัน และให้เนื้อปลาข้างเหลืองเป็นอาหาร พบว่า หอยหวานมีอัตราการแลกเนื้อ 1.65, 1.67 และ 1.76 ตามลำดับ นอกจากนี้ สมพิศ แย้มเกษม และศรัญญา เกตุมณี (2549) รายงานว่าหอยหวานที่เลี้ยงในระบบน้ำทะเลไหลผ่านตลอดและให้เนื้อปลาข้างเหลืองเป็นอาหาร หอยหวานมีอัตราการแลกเนื้อ 3.59-5.66 ธวัช ศรีวีระชัย (2547) รายงานว่าการเลี้ยงหอยหวานในระบบน้ำหมุนเวียนชีวภาพและให้เนื้อปลาข้างเหลืองเป็นอาหารมีอัตราการแลกเนื้อ 4.0-5.0 รวมทั้งการศึกษาของลือชัย ดรุณชู, วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์ และเจษฎา เจริญวัฒน์ (2548) ทำการเลี้ยงหอยหวานความหนาแน่น 300 ตัวต่อตารางเมตร และให้เนื้อปลาข้างเหลืองเป็นอาหาร พบว่า หอยหวานมีอัตราแลกเนื้อ 2.82

การศึกษาในครั้งนี้พบความผิดปกติของเปลือกหอยหวานในทุกชุดการทดลอง โดยพบว่าผิวเปลือกชั้นนอกของหอยหวานหลุดลอกประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ (2548) และ Krisanapuntu et al. (2006) รายงานว่าหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อย (เปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 30-60 วัน) หรือไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เปลือกของหอยหวานจะมีความผิดปกติเกิดขึ้น โดยผิวเปลือกชั้นนอกหลุดลอก มีการชะงักการเติบโต และเริ่มตาย และการศึกษาของมลฤทัย ไชยน้ำอ้อม (2548) รายงานว่า หอยหวานที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนมีความผิดปกติของเปลือก โดยแนะนำวิธีแก้ไข คือ ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 15 วัน และเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต 100 กรัมต่อตัน จึงจะสามารถทำให้หอยหวานมีความปกติของเปลือกสูงที่สุด ดังนั้น การที่จะเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียนให้ประสบผลสำเร็จนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ การจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงในเหมาะสม (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และคณะ, 2548) นอกจากนี้ หอยหวานที่เลี้ยงในระบบที่ใช้

สาหร่ายข้อเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำจะพบความผิดปกติของเปลือกหอยหวานมากกว่าเลี้ยงในระบบที่ไม่มีสาหร่ายทะเลและระบบที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำ สาเหตุดังกล่าวอาจเนื่องจากสาหร่ายข้อซึ่งเป็นสาหร่ายในสกุลสาหร่ายสีแดง จะมีความสามารถในการสะสมหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) ไว้ในผนังเซลล์ (วันเพ็ญ ภูติจันทร์, 2549) ดังนั้นสาหร่ายอาจจะแย่งใช้ปริมาณแคลเซียมในน้ำทะเลและอาจทำให้แคลเซียมในระบบบ่อเลี้ยงไม่เพียงพอต่อการใช้ในการสร้างเปลือกของหอยหวาน เนื่องจากธาตุแคลเซียม มีบทบาทที่สำคัญมากต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะสัตว์น้ำที่มีเปลือกหุ้มร่างกายซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีชีวิต ทำหน้าที่เป็นเกราะช่วยป้องกันร่างกาย เปลือกหุ้มร่างกายจะมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (วิรัช จิ๋วแย้ม, 2544)

### 5.3 การเติบโตของสาหร่ายทะเล

การเติบโตของสาหร่ายทะเลที่ใช้เป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนพบว่า อัตราการเติบโตจำเพาะของสาหร่ายทะเลในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระบบทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 250 กรัมต่อระบบมีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด และระบบทดลองที่ใช้สาหร่ายข้อในทุกความหนาแน่นมีอัตราการเติบโตจำเพาะต่ำสุด นอกจากนี้ ผลผลิตของสาหร่ายทะเลในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระบบทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 700 กรัมต่อระบบมีค่าผลผลิตสูงสุด และระบบทดลองที่ใช้สาหร่ายข้อในทุกความหนาแน่นมีค่าผลผลิตต่ำสุด การเติบโตของสาหร่ายทะเลที่ใช้เป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียน พบว่า สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทย มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากหอยหวานมีการเติบโตมากขึ้น ปริมาณอาหารที่ให้มากขึ้น ของเสียจากอาหารที่ให้หอยหวานมากขึ้น และหอยหวานขนาดใหญ่จะมีการขับถ่ายในปริมาณที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการปลดปล่อยปริมาณสารอินทรีย์และสารอาหารในปริมาณมากขึ้น ซึ่งเป็นแหล่งสารอาหารอย่างดีสำหรับสาหร่าย ส่งผลให้สาหร่ายมีการเติบโตเร็วมากขึ้น เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) รายงานว่า สาหร่าย *Gracilaria fisheri* ที่เลี้ยงในบ่อรับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะมีการเจริญเติบโตดี และสาหร่าย *Gracilaria fisheri* ที่เลี้ยงร่วมกับปลานิลแดง (วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์, 2538) และปลากะพงขาว (พิชัย อ่อนจันทร์, 2549) และเลี้ยงร่วมกับปลาเซลฟิน (จิตติมา หมั่นกิจ, 2544) มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในบ่อเพียงชนิดเดียว นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์ และจิรเวฐน์ เพ็ชร์สุทธิ์ (2551) รายงานว่า สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติผสมกับน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทะเลธรรมชาติอย่างเดียว นอกจากนี้ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษา

ของ Larned (1998) รายงานว่า อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Gracilaria salicornia* สาหร่าย *Caulerpa racemosa* และสาหร่าย *Caulerpa sertularioides* ในแหล่งที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wallentinus (1984) รายงานว่า สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่บริเวณทะเลบอลติกจะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น

สำหรับบทบาทของสาหร่ายทะเลทั้งสองชนิดต่อความสามารถในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียนในครั้งนี้สอดคล้องกับหลายการศึกษาที่ใช้ชนิดของสาหร่ายและความหนาแน่นต่างกัน เช่น เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) รายงานว่าการใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* ที่ความหนาแน่น 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สามารถลดปริมาณสารอาหารในน้ำได้ดีกว่าความหนาแน่น 0.5 และ 0.25 กิโลกรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ ศิริวรรณ คิดประเสริฐ (2538) รายงานว่าการใช้สาหร่าย *Caulerpa macrophysa* สาหร่าย *Sargassum polycystum* และสาหร่าย *Gracilaria salicornia* ที่ความหนาแน่น 10 กรัมต่อลิตร จะลดปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในน้ำได้ดีกว่าสาหร่ายที่ความหนาแน่น 5 และ 1 กรัมต่อลิตรตามลำดับ เกศริน ฑีฆายุ และศิริวรรณ คิดประเสริฐ (2539) รายงานว่าการใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* ที่ความหาแน่น 15 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสารอาหารในน้ำได้ดีกว่าความหนาแน่น 10 และ 5 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ศิริวรรณ คิดประเสริฐ และประพฤติ พรหมสมบูรณ์ (2540) รายงานว่า การใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* ที่ความหนาแน่น 10 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำได้ดีกว่าความหนาแน่น 5 และ 1 กรัมต่อลิตรตามลำดับ Neori (2000) ที่ใช้สาหร่าย *Ulva lactuca* และสาหร่าย *Gracilaria conferta* ความหนาแน่น 1.5 และ 5-13 กิโลกรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ และการศึกษาของ Wang et al. (2007) ใช้สาหร่าย *Ulva pertusa* ความหนาแน่นประมาณ 40 กิโลกรัม บำบัดคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียนสำหรับการผลิตปลิงทะเล (*Apostichopus japonicus*) สำหรับการศึกษาของประหยัด มะหมัด (2547) รายงานว่า สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่าย *Gracilaria fisheri* ที่ระดับน้ำหนักสาหร่าย 4,000 กรัมต่อตารางเมตร มีการนำเข้าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงกว่าที่ระดับ 250, 500 และ 2,000 กรัมต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตาม ความสามารถที่แตกต่างกันของสาหร่ายข้อ และสาหร่ายช่อพริกไทย ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนในครั้งนี้ มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น ความเข้มข้นของสารอาหาร ชนิดของธาตุอาหาร ระยะเวลาของการดูดซึมสารอาหาร ความถี่ของช่วงจังหวะการให้สารอาหาร และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ อาทิเช่น อุณหภูมิของน้ำ ความเค็ม ฤดูกาล รวมทั้งลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสาหร่าย หรืออายุของสาหร่าย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้สาหร่ายในการบำบัดคุณภาพน้ำ (Wallentinus, 1984; O'Neal and Prince, 1988)

# บทที่ 6

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 6.1 สรุปผลการทดลอง

คุณภาพน้ำทะเลในบ่อทดลองเลี้ยงหอยหวานระบบน้ำหมุนเวียนที่ควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายทะเล 2 ชนิดและความหนาแน่น 3 ระดับเป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่า อุณหภูมิน้ำทะเล ความนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ความเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยคุณภาพน้ำในชุดทดลองที่มีสาหร่ายทะเลมีคุณภาพดีกว่าชุดทดลองที่ไม่มีสาหร่ายทะเล และอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมต่อการเติบโตและดำรงชีวิตของหอยหวาน

หอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้สาหร่ายข้อความหนาแน่น 500 กรัมต่อบ่อ สาหร่ายข้อความหนาแน่น 750 กรัมต่อบ่อ สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 250 กรัมต่อบ่อ และสาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 750 กรัมต่อบ่อ มีอัตราการเติบโตโดยน้ำหนักสูงกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่ไม่ใช้สาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำ บ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายข้อความหนาแน่น 250 กรัมต่อบ่อ และบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 500 กรัมต่อบ่อ ซึ่งผลการทดลองแสดงว่าชนิดของสาหร่ายทะเลและความหนาแน่นของสาหร่ายมีผลต่อการเติบโตของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน

อัตราการรอดตายสุดท้ายของหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้สาหร่ายข้อความหนาแน่น 750 กรัมต่อบ่อมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ บ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายข้อความหนาแน่น 250 กรัมต่อบ่อ และบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 750 กรัมต่อบ่อ โดยหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 250 กรัมต่อบ่อ และบ่อทดลองที่ไม่ใช้สาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำมีอัตราการรอดตายต่ำสุด ซึ่งผลการทดลองแสดงว่าชนิดของสาหร่ายทะเลและความหนาแน่นของสาหร่ายมีผลต่อการตายของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน

อัตราการแลกเนื้อของหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองระบบน้ำหมุนเวียนที่มีการใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลอง

แสดงว่าชนิดของสาหร่ายและความหนาแน่นของสาหร่ายไม่มีผลต่ออัตราการแลกเนื้อของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน

ผลผลิตของหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้สาหร่ายข้อความหนาแน่น 750 กรัมต่อบ่อมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ บ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 750 กรัมต่อบ่อ สาหร่ายข้อความหนาแน่น 500 กรัมต่อบ่อ สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 250 กรัมต่อบ่อ และสาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 500 กรัมต่อบ่อ ซึ่งผลการทดลองแสดงว่าชนิดของสาหร่ายและความหนาแน่นของสาหร่ายมีผลต่อผลผลิตของหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน

ความผิดปกติของเปลือกหอยหวานเกิดขึ้นในทุกชุดการทดลอง โดยหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายข้อเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำจะมีลักษณะความผิดปกติของเปลือกมากกว่าหอยหวานที่เลี้ยงในบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทย รวมถึงบ่อทดลองที่ไม่ใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำ ซึ่งผลการทดลองแสดงว่าชนิดของสาหร่ายและความหนาแน่นของสาหร่ายมีผลต่อความผิดปกติของเปลือกหอยหวานในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน

อัตราการเติบโตจำเพาะและผลผลิตของสาหร่ายทะเลในบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายช่อพริกไทยความหนาแน่น 250 กรัมต่อบ่อมีค่าสูงสุด โดยบ่อทดลองที่ใช้สาหร่ายข้อความหนาแน่น 250, 500 และ 750 กรัมต่อบ่อ มีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะและผลผลิตต่ำสุด ซึ่งผลการทดลองแสดงว่าชนิดของสาหร่ายและความหนาแน่นของสาหร่ายมีผลต่อการเติบโตและผลผลิตของสาหร่ายทะเลในบ่อเลี้ยงระบบน้ำหมุนเวียน

โดยภาพรวมสามารถสรุปได้ว่า การเลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดด้วยบ่อเลี้ยงระบบน้ำทะเลหมุนเวียนที่มีการควบคุมคุณภาพน้ำทะเลโดยการใช้สาหร่ายข้อและสาหร่ายช่อพริกไทยมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาการเลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดระบบน้ำหมุนเวียนในการผลิตเชิงพาณิชย์ เนื่องจากคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมต่อการเติบโตและดำรงชีวิตของหอยหวาน นอกจากนี้ ผลผลิตสาหร่ายทะเลทั้งสองชนิดซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้มีปริมาณค่อนข้างสูง โดยเฉพาะสาหร่ายช่อพริกไทยมีกำลังผลิตต่อระบบทดลองสูงมาก

### 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. นอกจากการเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียนจำเป็นต้องควบคุมและบำบัดคุณภาพน้ำในระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการดำรงชีวิตของหอยหวานแล้ว ยังมีความจำเป็นต้องรักษาค่าความเป็นด่างในระบบให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม (ค่าประมาณ 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยการเติมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือโซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2CO_3$) ลงในระบบในปริมาณที่เหมาะสม ตามช่วงระยะเวลาที่ค่าความเป็นด่างลดต่ำลง ทั้งนี้เพื่อป้องกันความผิดปกติของเปลือกและการชะงักการเติบโตของหอยหวาน นอกจากนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของการลดลงของค่าด่างรวมในระบบเลี้ยงว่าเกิดจากกระบวนการสร้างเปลือกของหอยหวานเพียงอย่างเดียว หรือมีกระบวนการอื่นที่ส่งผลต่อการลดลงของค่าด่างรวม อาทิเช่น การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ในระบบเลี้ยง เป็นต้น

2. การนำสาหร่ายทะเลมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรศึกษาความเหมาะสมของสาหร่ายแต่ละชนิด เช่น สาหร่ายสีแดงบางชนิดมีการสะสมหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) ไว้ในผนังเซลล์ ถ้านำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ต้องการแคลเซียมคาร์บอเนตในการสร้างเปลือก อาจทำให้เกิดการแก่งแย่งแคลเซียมคาร์บอเนตกับสัตว์น้ำได้ รวมถึงลักษณะของสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่จะนำสาหร่ายแต่ละชนิดไปใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำ เนื่องจากสาหร่ายแต่ละชนิดมีความต้องการปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการเติบโตแตกต่างกัน

3. การใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมคุณภาพน้ำ ถ้ามีพื้นที่ในการเลี้ยงสาหร่ายน้อย อาจต้องมีการเก็บผลผลิตสาหร่ายทะเลเป็นระยะๆ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการบดบังแสงของสาหร่ายที่อยู่ด้านล่าง รวมถึงอาจก่อให้เกิดการตายและเน่าสลายของสาหร่ายทะเลในระบบ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาด้านความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำในระบบได้

# รายการอ้างอิง

## ภาษาไทย

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2536. สาหร่ายวุ้น สกุล Gracilaria ในประเทศไทย. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31 สาขาสัตว์ ประมง สัตวแพทยศาสตร์, หน้า 303-312. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกศริน ฑีฆายุ และศิริวรรณ คิดประเสริฐ. 2539. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายทะเลสกุลกราซิลาเรียลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจน. รายงานการวิจัย. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก กระทรวงศึกษาธิการ.

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

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2547. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง [online]. Available from: http://www.pcd.go.th/Download/regulation.cfm?task=s3 [4 January 2010].

จรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ, วัลลภ ทิมดี และสมพิศ พรรณา. 2546. ชีววิทยาบางประการและการเลี้ยงหอยหวาน[online]. National Institute of Coastal Aquaculture (Distributor). Available from: http://www.nicaonline.com[19 November 2009]

จิตติมา หมั่นกิจ. 2544. การเจริญเติบโตและปริมาณวุ้นของสาหร่ายทะเลสกุลกราซิลาเรีย, *Gracilaria fisheri* (Xia et Abbott) Abbott, Zhang et Xia และ *G. tenuistipitata* var. liui Chang et Xia ที่เลี้ยงในสภาพบ่อธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์การประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์ และเยาวลักษณ์ อัมพรรัตน์. 2529. รายงานการวิจัยและวิเคราะห์สถานภาพ และศักยภาพการผลิต และการใช้สาหร่ายทะเล รวมทั้งความต้องการในงานวิจัย และพัฒนาในประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน.

ทรงสิทธิ์ ลิ้มสกุล และวิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์. 2543. การเลี้ยงสาหร่ายเขากวาง *Gracilaria changii* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia ด้วยความเค็มต่างกันในบ่อซีเมนต์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 29/2543. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดตราด.

ธวัช ศรีวีระชัย. 2547. การเลี้ยงหอยหวานระบบปิดน้ำหมุนเวียนชีวภาพ[online]. Trat Coastal Aquculture Station(Distributor). Available from: http://www.coastalaqua.com[30 October 2007]

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

นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2546. วิธีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 500 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา.

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

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์ และจิรเวฐน์ เพ็ชร์สุทธิ์. 2551. การเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) โดยใช้น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วารสารวิจัยรามคำแหง ปีที่ 11: 31-46.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และศิรุษา กฤษณะพันธุ์. 2545. คู่มือการเพาะเลี้ยงหอยหวาน หลักการและแนวปฏิบัติ. หนังสือในโครงการจัดพิมพ์เผยแพร่รายงานการวิจัย ลำดับที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ ศิรุษา กฤษณะพันธุ์ สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล พรพงษ์ สุทธิรักษ์ ไพรัตน์ โสภโณดร วีณา เคยพุดซา สมภพ รุ่งสุภา และสรวิศ เผ่าทองศุข. 2549. การวิจัย พัฒนา และถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตที่โรงเพาะฟัก ฟาร์มเลี้ยง และธุรกิจต่อเนื่องของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ : หอยหวาน (*Babylonia areolata*) แบบบูรณาการ สำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจรในประเทศไทย. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนวิจัยประเภทบูรณาการประจำปี 2548. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ ศิรุษา กฤษณะพันธุ์ สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล วีณา เคยพุดซา สรวิศ เผ่าทองศุข และพุลิยา ธีระธัญศิริกุล. 2551. การวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตที่โรงเพาะฟัก ฟาร์มเลี้ยง และธุรกิจต่อเนื่องของสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ : หอยหวาน (*Babylonia* *areolata*) แบบบูรณาการ สำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจร ระยะที่ 2. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนวิจัยประเภทบูรณาการประจำปี 2549. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ อนุตร กฤษณะพันธุ์ วรรณณี แสนทวีสุข และสมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล. 2548. การศึกษาผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการเลี้ยงหอยหวานระยะวัยรุ่นถึงขนาดตลาดในบ่อดินด้วยวิธีการเลี้ยงแบบต่างๆ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมว่าด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2546. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ประมัยพร ทองคณารักษ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2551. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายทะเล 4 ชนิดในการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลากะรังดอกแดง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 40/2551. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง.

ประหยัด มะหมัด. 2547. การใช้สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่บำบัดคุณภาพน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. 2,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงศธร พร้อมแย้ม. 2549. การใช้สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) เพื่อบำบัดฟอสเฟตในน้ำ. ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิชัย อ่อนจันทร์. 2549. ผลกระทบของการเลี้ยงสาหร่ายทะเลร่วมกับปลากะพงขาวที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายวุ้น *Gracilaria fisheri* (Xia et Abbott) Abbott, Zhang & Xia. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มลฤทัย ไชยน้ำอ้อม. 2548. ผลของคุณภาพน้ำและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่อการเจริญ อัตราการรอดตาย และคุณภาพของเปลือกหอยหวานระยะวัยรุ่นในระบบน้ำหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2543. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. 2,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท แซน. อี 68 แลบ จำกัด.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2544. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. 1,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลือชัย ดรุณชู วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์ และเจษฎา เจริญวัฒน์. 2548. การเลี้ยงหอยหวาน ในกระชังในบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง.

วรรนิภา เพี้ยนภักตร์. 2539. การใช้แบคทีเรียเป็นโพรไบโอติกเสริมในอาหารกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาจุลชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันเพ็ญ ภูติจันทร์. 2549. วิทยาสาหร่าย. 1,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. 2,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์. 2538. ศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* (Xia& Abbott) Abbott, Zhang & Xia ร่วมกับปลานิลแดง *Oreochromis niloticus* (Linn.). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง โครงการวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ และประพฤติ พรหมสมบูรณ์. 2540. การใช้สาหร่ายสกุลกราซิลาเรียลดปริมาณออโธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. รายงานการวิจัย. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก กระทรวงศึกษาธิการ.

ศิรุษา กฤษณะพันธุ์ และคณะ. 2552. การวิจัยรูปแบบเมนูอาหารของหอยหวานจากการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มอุปสงค์ของผลผลิตและการขยายตลาดภายในประเทศ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ประเภทโครงการต่อยอดผลงานวิจัยและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ไปสู่การใช้ประโยชน์. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

สมพิศ แย้มเกษม และศรัญญา เกตุมณี. 2549. ความถี่ของการให้อาหารต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน[online]. Rayong Coastal Fisheries Research and Development Center (Distributor). Available from: http://www.fisheries.go.th/cf-rayong[4 January 2010]

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

สันติ ปริยะวาที พุทธ ส่องแสงจินดา สถาพร ดิเรกบุษราคม ปิติวงษ์ ตันติโชดก และสมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2546. สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*). วารสารการประมง 55: 443-448.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2552. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน :บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. 2,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภาวดี โกยดุลย์. 2549. คุณภาพน้ำทางการประมง. เอกสารประกอบการสอนวิชา คุณภาพน้ำทางการประมง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. พระนครศรีอยุธยา.

สุวรรณา วรสิงห์ ธวัช ศรีวีระชัย และจุฑารัตน์ ศิริสมบัติ. 2550. ผลของระดับความเค็มน้ำทะเลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* (Vahl) Bergesen 1910 สาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifer* J. Agardh 1837 และสาหร่ายไส้ไก่ *Enteromorpha clathrata* (Roth) Greville 1830. เอกสารวิชาการฉบับที่ 25/2550. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง.

อนุพงศ์ มาลี. 2545. คุณสมบัติของน้ำเบื้องต้น[online]. National Institute of Coastal Aquaculture (Distributor). Available from: http://www.nicaonline.com[19 November 2009]

อลิสา โชควิวัฒนวนิช. 2543. ประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## ภาษาอังกฤษ

Bereridge, M. C. M. 1984. Cage and penfish farming, Carrying capacity models and environmental impact. FAO Fisheries Technical paper No. 225. Rome. 131 p.

Chaitanawisuti, N., Krisanapuntu, S. and Natsukari, Y. 2005. Growth of hatchery-reared juvenile spotted Babylon (*Babylonia areolata* link 1807) to marketable size at four stocking densities in flow-through and recirculating seawater system. Aquaculture International 13: 233-239.

Chirapart, A. and Ohno, M. 1993. Growth in tank culture of species of *Gracilaria* from Southeast Asian waters. Botanica Marina 36: 9-14.

Choi, H. G., Kim, Y.S., Kim, J.H., Lee, S.J., Park, E.J., Ryu, J. and Nam, K.W. 2006. Effects of temoerature and salinity on the growth of *Gracilaria verrucosa* and G. chorda, with the potential for mariculture in Korea. Journal of Applied Phycology 18: 269-277.

Dawes, C.J., Orduna-Rojas, J. and Robledo, D. 1999. Response of the tropical red seaweed *Gracilaria cornea* to temperature, salinity and irradiance. Journal of Applied Phycology 10: 419-425.

Gonen, Y., Kimmel, E. and Friedlander, M. 1993. Effect of relative water motion on photosynthetic rate of red alga *Gracilaria confera*. Hydrobiologia 260/261: 493-498.

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

Guo-zhong, R., Ji-cheng, W. and Mei-qin, C. 1984. Cultivation of Gracilaria by means of low rafts. Hydrobiologia 116/117: 72-76.

Hanisak, M. D. and Ryther, J. H. 1984. Cultivation biology of *Gracilaria tikvahiae* in the United States. Hydrobiologia 116/117: 295-298.

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

Jones, A.B., Dennison, W.C. and Perston, N.P. 2001. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. Aquaculture 193: 155-178.

Krisanapuntu, S., Chaitawisuti, N. and Natsukari, Y. 2009. Growth and water quality for growing-out of juvenile spotted Babylon, *Babylonia areolata*, at different water-exchange regimes in a large-scale operation of earthen ponds. Aquaculture International 17: 77-84.

Krisanapuntu, S., Chaitawisuti, N., Santhaweesuk, W. and Natsukari, Y. 2006. Effects of water exchange regimes on growth, survival and shell normality of hatchery reared juvenile spotted babylon (*Babylonia areolata* Link 1807) in a recirculating seawater system. Aquaculture International 14: 587-594.

Largo, D. B., Bacolod, P. T., Cusi, M. A. V., Orosco, C. A. and Ohno, M. 1989. Growth rate of *Gracilaria verrucosa* and *Gracilaria salicornia* (Gracilariales, Rhodophyta) in an intertidal and semi-enclosed pond system in the Visayas, Philippines. Bulletin of Marine Science and Fisheries Fish-Kochi University Japan 11: 95-100.

Larned, S. T. 1998. Nitrogen- versus phosphorus-limited growth and sources of nutrients for coral reef macroalgae. Marine Biology 132: 409-421.

Lewmanomont, K. and Ogawa, H. 1995. Common Seaweeds and Seagrasses of Thailand. Intergrated Promotion Technology Co., Ltd.

Li-hong, H., Madeline, W., Pei-yuan, Q. and Ming-yuan, Z. 2002. Chiness Journal of Oceanology and Limnology 20: 365-370.

Marinho-soriano, E., Moreira, W.S.C. and Carneiro, M.A.A. 2006. Some aspects of the growth of *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta) in an estuary in northeast Brazil. Aquaculture International 14: 327-336.

Neori, A., Michael, D. K., Steve, P. E., Claude E. B., Dan, P., Ruth, R., Patrick J. D., Orit ,D., Daniel, Z., Michal, U., Dror, A. and Hillel G. 1996. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units. Aquaculter 141: 183-199.

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

O’Neal, S. w. and Prince, J. S. 1988. Seasonal effects of light, temperature, nutrient concentration and salinity on the physiology and growth of *Caulerpa paspaloides* (Chorophyceae). Marine biology 97: 17-24.

Strickland, J. D. H. and Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa. 310p.

Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A.H., Kautsky, N. and Kautsky, L. 1997. Integrated marine cultivation of Gracilaria chilensis (Graciliariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. Aquaculture 156: 45-61.

Wallentinus, I. 1984. Comparisons of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies. Marine Biology 80: 215-225.

Wang, H., Liu, C. F., Qin, C. X., Cao, S. Q. and Ding, J. 2007. Using a macroalgae *Ulva pertura* biofilter in a recirculating system for production of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonica*. Aquaculture engineering 36: 217-224.

Yongjian, X., Wei, W. and Jianguang, F. 2009. Effects of salinity, light and temperature on growth rates of two species of Gracilaria (Rhodophyta). Chiness Journal of Oceanology and Limnology 27: 350-355.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

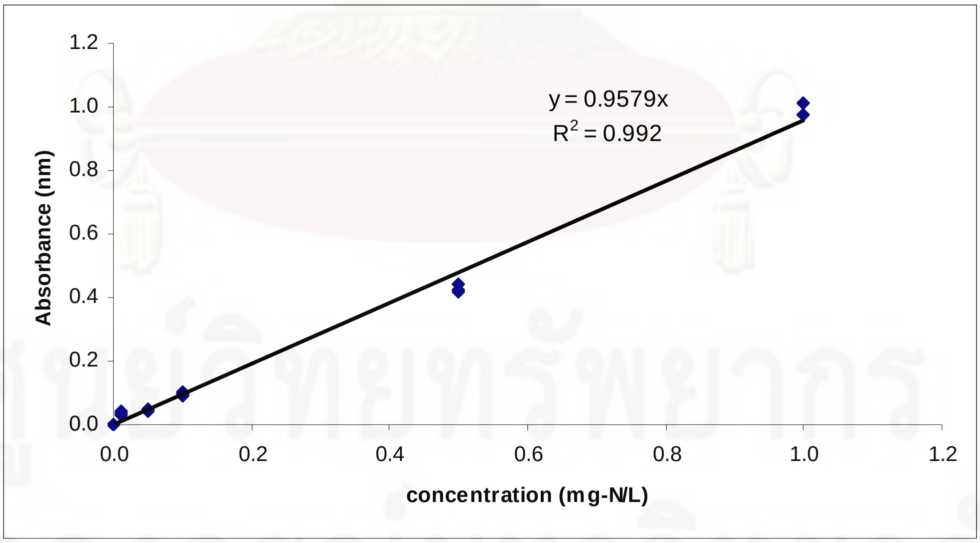
## การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

### 1. วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย

การวิเคราะห์แอมโมเนียในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Strickland and Parson (1972)

วิธีการวิเคราะห์ ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 ml โดยใช้น้ำ de-Ionized (D.I.) เป็น blank เติม phenol solution (phenol 20 g ใน 95%V/V เอทิลแอลกอฮอล์ 200 ml) ปริมาตร 0.2 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติม sodium nitroprusside solution ($Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$ 1.0 g ในน้ำ D.I. 200 ml)ปริมาตร 0.2 ml เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติม oxidizing solution (ผสม alkaline reagent (sodium citrate 100 g และ NaOH 5 g ในน้ำ D.I. 500 ml) และ sodium hypochlorite solution ในอัตราส่วน 4:1) ปริมาตร 0.5 ml เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง สีที่เกิดขึ้นจะคงอยู่ภายใน 24 ชั่วโมง หลังทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 640 nm

การเตรียม standard ammonia solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 mg-$NH_4$-N/L ตามลำดับ จาก stock ammonia solution ความเข้มข้น 100 mg-$NH_4$-N/L



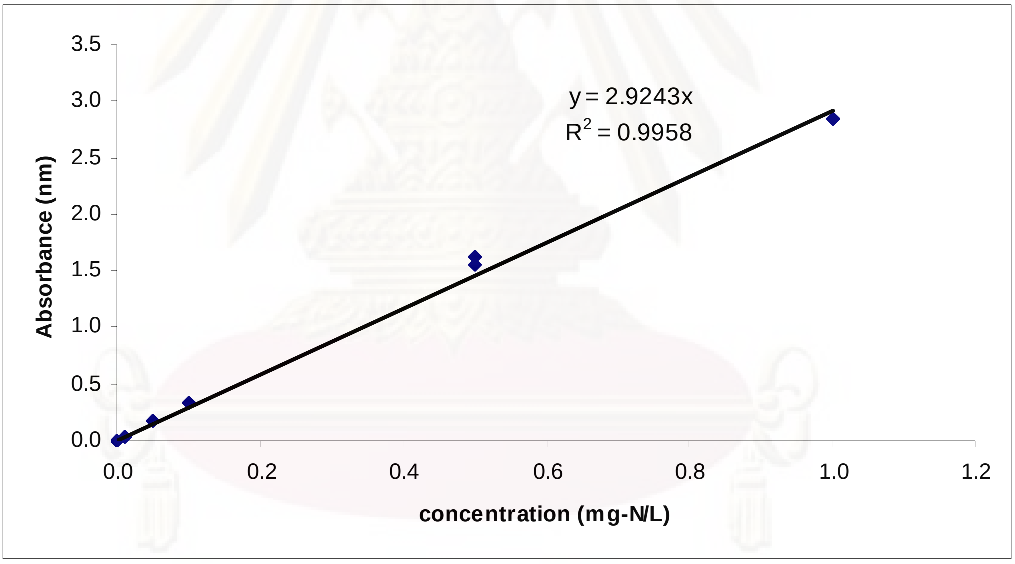
**ภาพที่ ก-1** กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย (total ammonia)

### 2. วิธีวิเคราะห์ไนไตรท์

การวิเคราะห์ไนไตรท์ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนไตรท์ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Strickland and Parson (1972)

วิธีการวิเคราะห์ ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 ml โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank เติม sulfanilamide solution (sulphanilamide 5 g ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 ml และน้ำกลั่น 300 ml หลังจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 500 ml ) ปริมาตร 0.1 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาทีแต่ไม่เกิน 10 นาที จากนั้นเติม naphthylethylenediamine reagent (N-(1-Naphthy)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.50 g ต่อน้ำ 500 ml) ปริมาตร 0.1 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีหรือไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 nm

การเตรียม standard nitrite solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.5, 1.0 mg-NO$_2$-N/L ตามลำดับจาก stock nitrite solution ความเข้มข้น 100 mg-N0$_2$-N/L



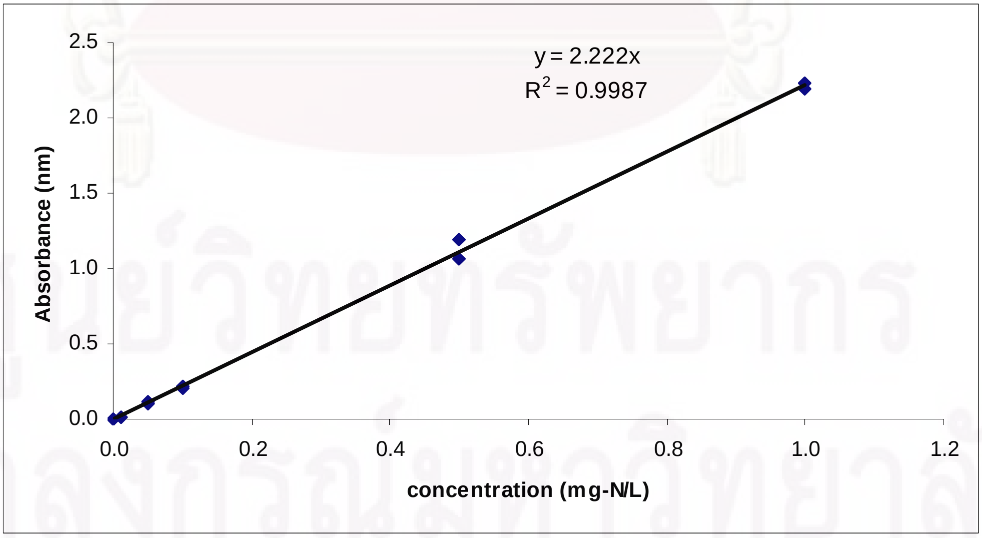
**ภาพที่ ก-2** กราฟมาตรฐานไนไตรท์ (NO$_2$-N)

### 3. วิธีวิเคราะห์ไนเตรท

การวิเคราะห์ไนเตรทในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนเตรทซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Strickland and Parson (1972) โดยมีหลักการ คือ การรีดิวซ์ไนเตรทในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นด่างให้เป็นไนไตรท์ โดยการผ่านตัวอย่างไปในคอลัมน์ที่มีแคดเมียมซึ่งเคลือบด้วยทองแดงอยู่ จากนั้นวัดไนไตรท์ที่ได้ด้วยวิธี diazotization ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะรวมทั้งไนเตรทและไนไตรท์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง ดังนั้น การวิเคราะห์ไนเตรทด้วยวิธีนี้ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาไนไตรท์ที่มีอยู่ในตัวอย่างด้วยวิธี diazotization ด้วยเช่นกัน ค่าไนเตรทที่แท้จริงเท่ากับผลต่างของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ผ่านคอลัมน์แคดเมียมกับความเข้มข้นของไนไตรท์ในตัวอย่างเดียวกัน

วิธีการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในน้ำด้วยวิธีนี้ควรทำการกรองตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ ปิเปตน้ำตัวอย่างมา 20 ml โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank เติม $NH_4Cl$ conc. ($NH_4Cl$ 62.5 g ในน้ำกลั่น 250 ml) 0.4 ml นำน้ำตัวอย่างไปผ่านคอลัมน์แคดเมียม ทิ้งน้ำไป 10 ml เก็บตัวอย่างน้ำไว้ 5 ml เติม sulfanilamide solution ปริมาตร 0.1 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 5 นาที จากนั้นเติม naphthylethylenediamine reagent ปริมาตร 0.1 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีหรือไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 nm

การเตรียม standard nitrate solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.5, 1.0 mg-$NO_2$-N/L ตามลำดับจาก stock nitrate solution ความเข้มข้น 100 mg-$N0_3$-N/L



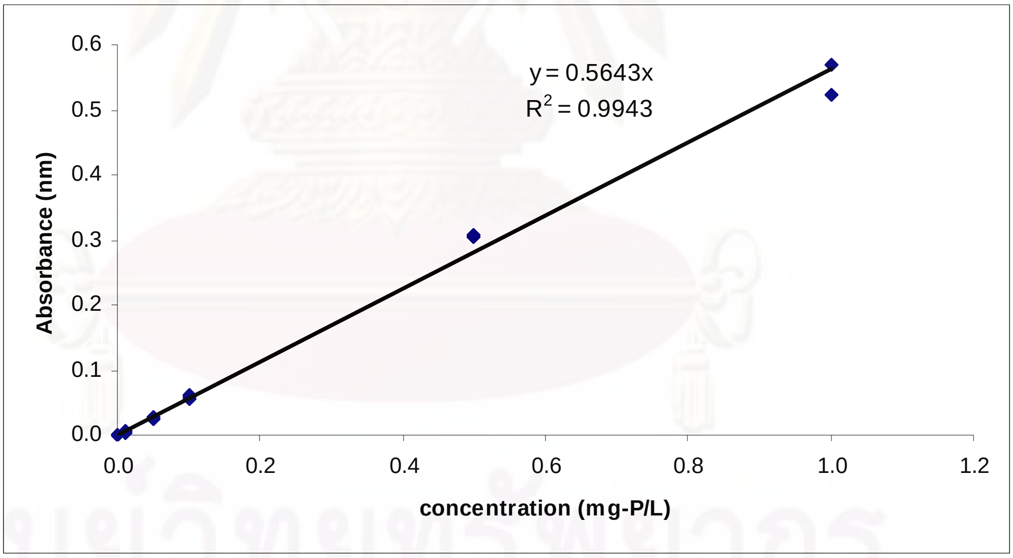
**ภาพที่ ก-3** กราฟมาตรฐานไนเตรท ($NO_3$-N)

### 4. วิธีวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟต

การวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟตในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ฟอสเฟตซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Strickland and Parson (1972)

วิธีการวิเคราะห์ ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 5 ml โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank เติม mix reagent ปริมาตร 0.5 ml ซึ่งเกิดจากการผสมของ 1) ammonium molybdate solution (ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 15 g ในน้ำกลั่น 500 ml) 2) sulfuric acid solution (Conc.$H_2SO_4$ 140 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 900 ml) 3) ascorbic acid solution (ละลาย ascorbic acid 27 g ในน้ำกลั่น 500 ml) และ 4) potassium antimonyl-tratrate solution (ละลาย potassium antimonyl-tratrate solution 0.34 g ในน้ำกลั่น 250 ml) ในอัตราส่วน 2:5:2:1 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 885 nm

การเตรียม standard phosphate solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 mg-$NO_2$-N/L ตามลำดับจาก stock $KH_2PO_4$ solution ความเข้มข้น 100 mg-P/L



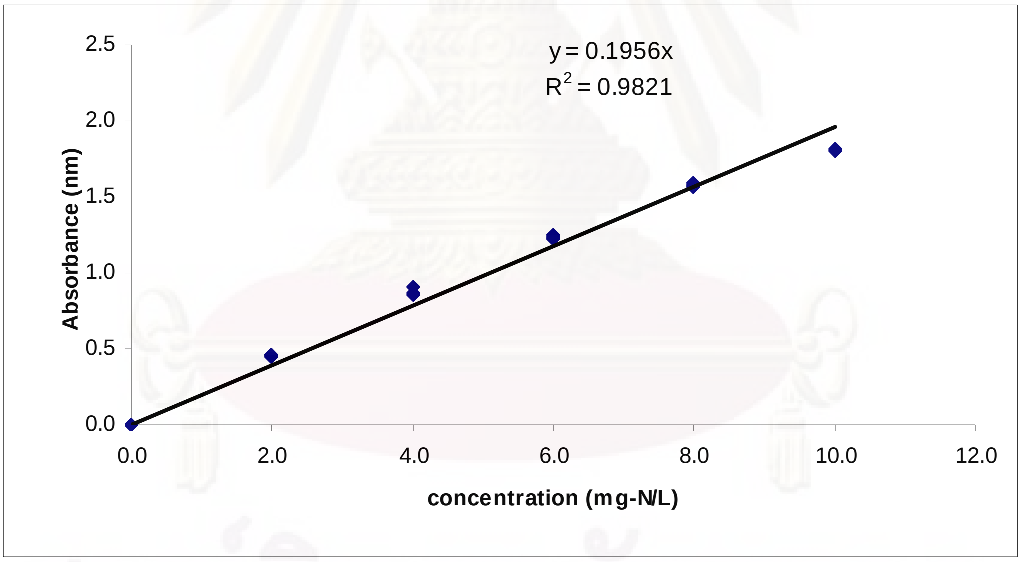
**ภาพที่ ก-4** กราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต ($PO_4^{3-}$)

### 5. วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด

การวิเคราะห์ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (total dissolved nitrogen, TDN) ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Greenberg et al. (1992)

วิธีการวิเคราะห์ ปิเปตตัวอย่างน้ำปริมาตร 10 ml โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank เติม oxidizing reagent (ละลาย 5 g $K_2S_2O_8$ และ 3 g $H_3BO_3$ ใน 0.375 M NaOH (NaOH 1.5 g ในน้ำกลั่น 100 ml) 100 ml) ปริมาตร 1 ml ปิดฝาให้แน่น แล้วนำตัวอย่างไปย่อยใน Autoclave (121 องศาเซลเซียส, 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว) นาน 30 นาที รอให้ตัวอย่างเย็น แล้วนำไปวิเคราะห์หาไนเตรทตามวิธีการของ Greenberg et al. (1992) คือ นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 220 nm และ 275 nm ตามลำดับ ผลต่างที่ได้จากการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะนำไปใช้คำนวณหาปริมาณไนเตรทต่อไป

การเตรียม standard total dissolved nitrogen solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 mg-N/L ตามลำดับ จาก stock $KNO_3$ solution ความเข้มข้น 100 mg-N/L



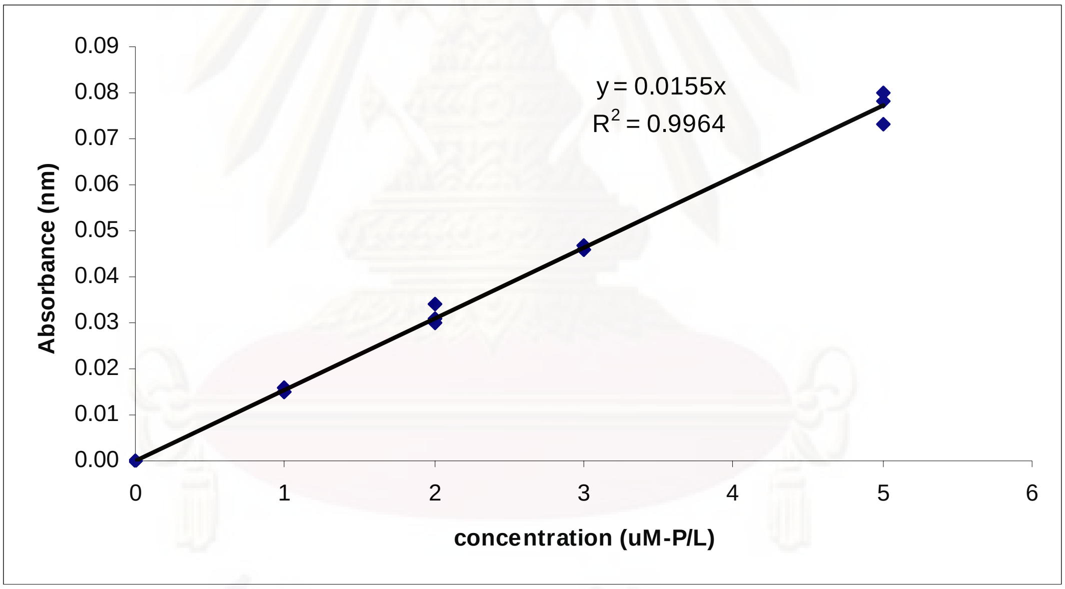
**ภาพที่ ก-5** กราฟมาตรฐานไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (TDN)

### 6. วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด (total dissolved phosphorus, TDP) ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมดซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Strickland and Parson (1972)

วิธีการวิเคราะห์ ปิเปตตัวอย่างน้ำปริมาตร 30 ml โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank เติม oxidizing reagent (ละลาย 25 g $K_2S_2O_8$ และ 15 g $H_3BO_3$ ใน 1 μM/L NaOH (NaOH 40 g ในน้ำกลั่น 1,000 ml) 175 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500 ml) ปริมาตร 4 ml ปิดฝาให้แน่น แล้วนำตัวอย่างไปย่อยใน autoclave (121 องศาเซลเซียส, 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว) เวลา 30 นาที รอให้ตัวอย่างเย็น แล้วปรับ pH ให้มากกว่าหรือเท่ากับ 8 ด้วยการเติม NaOH (6-8 หยด) แล้วนำไปวิเคราะห์หา TDP เหมือนวิธีวิเคราะห์หาออร์โธฟอสเฟตตามวิธีการของ Strickland and Parson (1972)

การเตรียม standard total dissolved phosphorus solution ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0, 1.0, 2.0, 3.0 และ 5.0 μMP ตามลำดับ จาก stock $KH_2PO_4$ solution ความเข้มข้น 100 μMP



**ภาพที่ ก-6** กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสละลายน้ำทั้งหมด (TDP)

### 7. วิธีวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ

การวิธเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดโดยวิธีทำให้แห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส ตามวิธีการของมั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2543)

วิธีการวิเคราะห์ นำตัวอย่างน้ำมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักมาแล้ว หลังจากนั้นนำกระดาษกรองมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (อบกระดาษกรองอีก 2-3 ครั้ง จนน้ำหนักคงที่) เพื่อนำค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณหาปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{total suspended solid (mg/L)} = \frac{(B-A)}{C} \times 10^6$$

เมื่อ A = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนกรองน้ำ (g)

B = น้ำหนักกระดาษกรองหลังกรองน้ำ (g)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (ml)

### 8. วิธีวิเคราะห์อัลคาลินิตี้

การวิเคราะห์อัลคาลินิตี้ในน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์อัลคาลินิตี้ตามวิธีของกลุ่มสิ่งแวดล้อมแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง (2537)

วิธีการวิเคราะห์ นำตัวอย่างน้ำมา 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการวัด pH แล้วจดค่า pH ที่ได้ไว้ เติม phenolphthalein 2 หยด และ bromocresal green 8 หยด หลังจากนั้นไตเตรทด้วย 0.02 N of $H_2SO_4$ จนกระทั่งค่า pH อยู่ที่ 4.3 ค่าอัลคาลินิตี้ คือ ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้คูณด้วย 10

# ภาคผนวก ข

## มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

| พารามิเตอร์ | เกณฑ์มาตรฐาน |
|---|---|
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง | 6.5-9.0 |
| บีโอดี | มีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| สารแขวนลอย | มีค่าไม่เกิน 70 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| แอมโมเนีย | มีค่าไม่เกิน 1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| ฟอสฟอรัสรวม | มีค่าไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์ | มีค่าไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| ไนโตรเจนรวม (ผลรวมของไนโตรเจนละลายน้ำและไนโตรเจนแขวนลอย) | มีค่ารวมกันไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร |

ที่มา: http://www.pcd.go.th/Download/regulation.cfm?task=s3

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณณี แสนทวีสุข เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ.2521 ที่โรงพยาบาล สรรพสิทธิ์ประสงค์ จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต จาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ เมื่อปีพ.ศ. 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 ในระหว่างการศึกษาได้นำเสนองานวิจัยในแบบบรรยายเรื่อง การใช้หอยนางรมปากจีบและสาหร่ายทะเลในการบำบัดน้ำในการเลี้ยงหอยหวานด้วยระบบน้ำหมุนเวียน ในการประชุมทางวิชาการ ม.อบ. วิจัย ครั้งที่ 3 การพัฒนาวิถีชีวิตที่ยั่งยืน ด้วยการวิจัยสหวิทยาการ ระหว่าง วันที่ 28-29 กรกฎาคม 2552