การใช้สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

นายธีรพงษ์ จรัญญากรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-3301-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF *Caulerpa lentillifera* FOR WATER QUALITY CONTROL IN AQUACULTURE POND

Mr. Teerapong Charunyakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-departmental Of Environmental Science
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-3301-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้สาหร่ายซ่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
โดย	นายธีรพงษ์ จรัญญากรณ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีรพงษ์ จรัญญากรณ์ : การใช้สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. (USE OF *Caulerpa lentillifera* FOR WATER QUALITY CONTROL IN AQUACULTURE POND), อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข 103 หน้า.
ISBN 974-17-3301-1.

สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เป็นสาหร่ายสีเขียวที่นิยมใช้ในบ่อบำบัดน้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ความเค็มของน้ำ และความเข้มแสง ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและอัตราการนำสารอาหารแอมโมเนียม ไนเตรท และฟอสเฟต เข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย รวมทั้งการประเมินประสิทธิภาพของสาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิล ผลการศึกษาพบว่าการเป่าอากาศที่ผสมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1 ลงในตู้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย ไม่ได้ช่วยให้สาหร่ายสามารถนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้เร็วขึ้น แต่กลับจะทำให้เกิดการบลูมของไดอะตอมที่มักพบติดอยู่บนผิวของสาหร่ายตามธรรมชาติขึ้นมาแทนซึ่งไม่เป็นผลดีต่อระบบบำบัดด้วยสาหร่าย การเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันจาก 30 ppt เป็น 40 ถึง 60 ppt จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 30 ppt จนถึง 10 ppt ไม่มีผลกระทบมากนัก แต่สาหร่ายจะสูญเสียความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างรวดเร็วเมื่อเปลี่ยนความเค็มจาก 10 ppt เป็น 0 ppt การเลี้ยงสาหร่ายในถังที่ได้รับแสงแดดโดยตรงจะทำให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากได้รับแสงที่มีความเข้มสูงเกินไป (photoinhibition) โดยสาหร่ายที่ได้รับการพรางแสงร้อยละ 80 ด้วยผ้าพลาสติกจะยังคงสภาพเซลล์ที่ดีโดยมีค่าประสิทธิภาพการส่งถ่ายอิเลคตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Fv/Fm) ประมาณ 0.7 ในขณะที่สาหร่ายที่ได้รับแสงแดดโดยตรงจะมีค่า Fv/Fm ลดลงต่ำกว่า 0.5 สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำของถังเลี้ยงปลานิล พบว่าสาหร่ายสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ได้รับแสงอย่างเหมาะสม (ได้รับแสงไม่เกิน 250 μmol photon/m^2/s) โดยสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบเลี้ยงปลาได้ประมาณร้อยละ 25 ทำให้น้ำมีคุณภาพดี ปริมาณแอมโมเนียต่ำ และไม่มีการสะสมของไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4289671120 MAJOR INTERDEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: *Caulerpa lentillifera*/closed recirculating system/nutrient uptake/macroalgae/ Aquaculture/Fish

TEERAPONG CHARUNYAKORN : USE OF *Caulerpa lentillifera* FOR WATER QUALITY CONTROL IN AQUACULTURE POND THESIS ADVISOR : PROF. DR. PIAMSAK MENASVETA, Ph.D. THESIS COADVISOR : DR. SORAWIT POWTONGSOOK, Ph.D.

103 pp. ISBN 974-17-3301-1.

Caulerpa lentillifera, the green macroalgal species that has been used for nutrient treatment in the shrimp culture pond in Thailand. This thesis involved the study of environmental factors (*e.g*. carbon dioxide addition, sudden changed of salinity and various light intensities) on photosynthesis efficiency and ammonium, nitrate and phosphate uptake rate of *C. lentillifera*. The last part of this thesis was to evaluate the use of C. *lentillifera* for water quality control in Tilapia culture tanks.

The results showed that carbon dioxide addition did not improve nutrient uptake rate of *C. lentillifera* but induced diatom bloom in the tank. Sudden change in salinity from 30 ppt to 40 and to 60 ppt affected the photosynthesis efficiency of this alga whereas sudden changed from 30 ppt to 10 ppt seemed to have no effect. However, rapid reduction of salinity from 10 ppt to 0 ppt significantly affected the photosynthesis efficiency. Culture of *C. lentillifera* in an outdoor condition led to a reduction of photosynthesis rate caused by strong light intensity. *C. lentillifera* grew with 80% sunlight shading had higher photosynthesis efficiency (Fv/Fm of approximately 0.7) than the algal thallus exposed to direct sunlight which had Fv/Fm ratio only at 0.5. Evaluation of using C. *lentillifera* for water treatment in tilapia fish culture tanks showed that, under the optimum light intensity (not over 250 µmol photo/m^2/s), the alga could remove 25% of total nitrogen input in the tank. This could provide high water quality with low ammonia concentration without the accumulation of nitrite, nitrate and phosphate in the system.

Department Inter-department of Environmental Science Student's signature……

Field of study Environmental Science Advisor's signature……

Academic year 2002 Co-advisor's signature……..

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. สรวิศ เผ่าทองศุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้สละเวลาช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และกรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆทางด้านวิชาการระหว่างการทำวิจัย ตลอดจนให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และนักวิจัยของหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเลทุกท่าน ให้ความรู้ และคำแนะนำทางด้านวิชาการ ตลอดจนให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์ ศาสตราจารย์กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ กรรมการที่กรุณาตรวจทานและให้คำแนะนำสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความสนับสนุนและบริการการติดต่องานทางวิชาการเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณบรรจง นิสภวานิตย์ และภรรยาที่ให้คำแนะนำในการเลี้ยงสาหร่าย ตลอดจนให้ความอำนวยสาหร่ายมาใช้ในงานวิจัยโดยตลอด

ขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัย เจ้าหน้าที่ และนิสิตปริญญาโทที่ทำงานวิจัยในหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเลทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในด้านต่างๆเป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาเป็นอย่างสูง ที่ให้การอุปการะในด้านการเรียน การเงินและที่พัก ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……จ
กิตติกรรมประกาศ……ฉ
สารบัญตาราง……ฎ
สารบัญภาพ……ฐ
บทที่
1. บทนำ……1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย……2
1.2 สมมติฐาน……2
1.3 ขอบเขตการศึกษา……2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……4
2.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี……4
2.2 ชีววิทยาของสาหร่าย……5
2.3 ชีววิทยาของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* ……6
2.4 ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย……7
2.5 สรีรวิทยาของปลานิล……11
2.6 การหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ……12
2.7 การหมุนเวียนน้ำแบบปิดกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ……17
3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย……18
3.1 การเตรียมสาหร่ายเพื่อใช้ในการทดลอง……19
3.2 การศึกษาผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย……20
3.3 การศึกษาผลของความเข้มแสงต่ออัตราการปลดปล่อยออกซิเจนและประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยในห้องปฏิบัติการ……21
3.4 การศึกษาผลของความเค็มโดยฉับพลันต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยในห้องปฏิบัติการ……24

หน้า

3.5 การศึกษาผลของความเข้มของแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย.....27
3.6 การทดลองใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิล.....29
4. ผลการทดลอง.....33
4.1 ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย.....33
4.2 ผลการศึกษาผลของความเข้มแสงในห้องปฏิบัติการต่ออัตราการปลดปล่อยออกซิเจนและประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย.....37
4.3 การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มโดยฉับพลันต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยในห้องปฏิบัติการ.....39
4.4 การศึกษาผลของความเข้มของแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทยภายใต้ภาวะกลางแจ้ง.....41
4.5 ผลการศึกษาการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิล.....46
5. วิจารณ์ผลการทดลอง.....66
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....71
รายการอ้างอิง.....73
ภาคผนวก.....77
ภาคผนวก ก 78
ภาคผนวก ข 87
ภาคผนวก ค 88
ภาคผนวก ง 89
ภาคผนวก จ 94

หน้า

ภาคผนวก ฉ 95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....103

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2-1 ผลกระทบของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ2-1 แสดงผลกระทบของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ……..……..9
ตารางที่ 4-1 อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนภายหลังจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และอัตราการหายใจของสาหร่ายช่อพริกไทยในแต่ละชุดการทดลอง……..……..……...37
ตารางที่ 4-2 อัตราการเติบโตของปลาและสาหร่ายในชุดการทดลอง 3.6.1……...51
ตารางที่ 4-3 อัตราการรอดของปลานิลในการชุดทดลอง 3.6.1……51
ตารางที่ 4-4 ความเข้มแสงและอุณหภูมิในระหว่างการทดลองในหัวข้อ 3.5.2……54
ตารางที่ 4-5 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของตู้ที่ 1……..…55
ตารางที่ 4-6 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสิ้นสุดการทดลองของตู้ที่ 1……..55
ตารางที่ 4-7 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของตู้ที่ 2……..…55
ตารางที่ 4-8 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสิ้นสุดการทดลองของตู้ที่ 2……..56
ตารางที่ 4-9 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของตู้ที่ 3……..…56
ตารางที่ 4-10 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสิ้นสุดการทดลองของตู้ที่ 3……..…56
ตารางที่ 4-11 จำนวนปลานิลที่ใช้ทดลองและอัตรารอดของปลาภายหลังการทดลองในการทดลองข้อ 4.5.3……...58
ตารางที่ 4-12 ความเข้มแสงและอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ในการทดลองข้อ 4.5.3…...……58
ตารางที่ 4-13 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของถังเลี้ยงปลาชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย……..63
ตารางที่ 4-14 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลองในถังเลี้ยงปลาชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย……..63
ตารางที่ 4-15 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของถังเลี้ยงปลาชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายช่อพริกไทย……..63
ตารางที่ 4-16 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลองในถังเลี้ยงปลาชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายช่อพริกไทย……..……..64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ตาราง 5-1 เปรียบเทียบผลของการศึกษา nitrogen budget จากเอกสารที่ได้มีรายงาน
ไว้กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้.....69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 2-1 สาหร่ายช่อพริกไทย ที่เก็บจากบ่อบำบัดน้ำของบรรจงฟาร์ม จ.ฉะเชิงเทรา……...5
ภาพที่ 2-2 ลักษณะของปลานิล *Oreochromis niloticus* Linnaeus)……...11
ภาพที่ 2-3 แสดงการหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ……...14
ภาพที่ 3-1 ลักษณะของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera*……19
ภาพที่ 3-2 ชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสาร
อาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย……21
ภาพที่ 3-3 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายโดย
การตรวจวัดออกซิเจนที่สาหร่ายปลดปล่อยออกมา พร้อมกับการตรวจ
วัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ โดยบรรจุสาหร่ายในขวด BOD ที่มีการ
ติดตั้งหัวตรวจวัดออกซิเจน (DO probe) และอุปกรณ์ตรวจวัด
การเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ โดยมีแหล่งกำเนิดแสง (light source)
ที่สามารถปรับระดับความเข้มแสงได้……...23
ภาพที่ 3-4 ไดอะแกรมชุดตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
โดยอาศัยหลักการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll fluorescence)……25
ภาพที่ 3-5 ชุดตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์สำหรับ
บันทึกข้อมูลตลอดระยะเวลาการทดลอง……25
ภาพที่ 3-6 อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อการตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของ
สาหร่ายช่อพริกไทยโดยอาศัยหลักการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์……..……..26
ภาพที่ 3-7 ไดอะแกรมของตู้ทดลองที่มีแผ่นกั้นเพื่อพรางแสงเพียงครึ่งตู้ ……..28
ภาพที่ 3-8 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของการพรางแสงแดดที่มีต่อประสิทธิภาพ
การสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยเปรียบเทียบกัน
ระหว่างสาหร่ายที่มีการพรางแสงแดดกับสาหร่ายที่ไม่ได้รับการพราง
แสงแดด……..…29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 3-9 ชุดการทดลองระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำจากตู้เลี้ยงปลาด้านล่าง [1] ไปยังตู้ส่วนบำบัด (2) ที่ตั้งอยู่เหนือตู้เลี้ยงปลาแต่ละตู้ ชุดการทดลองในภาพจากซ้ายไปขวาประกอบด้วย ชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายในถังบำบัด (2) ชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายแต่มีตาข่ายพลาสติกอยู่ในถังบำบัด (3) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทยอยู่ในถังบำบัด(4)……..30

ภาพที่ 3-10 ชุดการทดลองเลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทย โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายไว้ในกระชังพลาสติกวางอยู่กลางบ่อ (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับถังที่ใช้เป็นชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย(ภาพขวา)…..……..……..32

ภาพที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย……..35

ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย……..35

ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย……..36

ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย……..36

ภาพที่ 4-5 อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อทำการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงจาก 50μmol-photon/m^2/s (3,700 lux) ไปเป็น 250 μmol-photon/m^2/s(18,000lux)……
……38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 4-6 ผลของการเพิ่มความเค็มที่มีต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของ
สาหร่ายช่อพริกไทย……..40
ภาพที่ 4-7 ผลของการลดความเค็มที่มีต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของ
สาหร่ายช่อพริกไทย……..40
ภาพที่ 4-8 ปริมาณความเข้มแสงที่แตกต่างกันในแต่ละตู้การทดลอง เปรียบเทียบ
ระหว่างชุดที่มีการพรางแสงอาทิตย์ลงด้วยพลาสติก 80 เปอร์เซ็นต์
พรางได้ 50 เปอร์เซ็นต์และตู้ที่ไม่มีการพรางแสงอาทิตย์……41
ภาพที่ 4-9 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ในระหว่างการทดลองในแต่ละตู้การทดลอง…..……42
ภาพที่ 4-10 ความเข้มแสงที่ส่องลงในตู้เลี้ยงสาหร่าย ทั้งในตู้ฝั่งที่ได้รับแสงอาทิตย์
โดยตรง (no-shading) และในตู้ฝั่งที่ได้รับการพรางแสง (shading)
ตลอดระยะเวลาการทดลอง……..…43
ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย
ช่อพริกไทยในตู้ฝั่งที่ได้รับแสงโดยตรง (no-shading) และฝั่งที่
ได้รับการพรางแสง (shading)……..43
ภาพที่ 4-12 ปริมาณแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละตู้ทดลอง……..44
ภาพที่ 4-13 ปริมาณไนไตรท์ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละตู้ทดลอง……...45
ภาพที่ 4-14 ปริมาณไนเตรทที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละตู้ทดลอง……...45
ภาพที่ 4-15 ปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละตู้ทดลอง……..46
ภาพที่ 4-16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบ
หมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุม
ที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และ
ชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย (alga)……47
ภาพที่ 4-17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบ
หมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุม
ที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และ
ชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย (alga)……48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 4-18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุมที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายซ่อพริกไทย (alga).....49
ภาพที่ 4-19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุมที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายซ่อพริกไทย (alga).....50
ภาพที่ 4-20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายซ่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด.....52
ภาพที่ 4-21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายซ่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด.....53
ภาพที่ 4-22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายซ่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด.....53
ภาพที่ 4-23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายซ่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด.....54
ภาพที่ 4-24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลานิลที่มีสาหร่าย (with alga) และไม่มีสาหร่าย (control).....59
ภาพที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของชุดการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในกระชังร่วมกับปลานิล.....59
ภาพที่ 4-26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของชุดการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในกระชังร่วมกับปลานิล.....60
ภาพที่ 4-27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของชุดการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในกระชังร่วมกับปลานิล.....60
ภาพที่ 4-28 การผ่าปลาแสดงพยาธิสภาพของปลานิลในถังชุดควบคุม.....61
ภาพที่ 4-29 สีน้ำในถังทดลองชุดควบคุมซึ่งมีสีเข้มเนื่องจากสาหร่ายเซลล์เดียวบางชนิดขึ้นเป็นจำนวนมาก.....61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 4-30 สีน้ำในถังชุดทดลองที่มีการเลี้ยงสาหร่ายไว้ในกระชัง.....62
ภาพที่ 4-31 ปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวันของทั้ง 2 ชุดการทดลองเปรียบเทียบกันตลอดระยะเวลาการทดลอง.....64
ภาพที่ 4-32 ปริมาณอาหารสะสมของทั้ง 2 ชุดการทดลองเปรียบเทียบกัน.....65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และมีการพัฒนารูปแบบของการเพาะเลี้ยงในเชิงธุรกิจมากขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับกับความต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากที่เคยทำการเพาะเลี้ยงแบบธรรมชาติซึ่งให้ผลผลิตต่ำ ได้ถูกเปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่นที่มีระบบการจัดการทั้งในเรื่องคุณภาพอาหาร สายพันธุ์ และการจัดการภายในบ่อ ทำให้ได้ผลผลิตสูงและมีความคุ้มทุน

อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสิ่งหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อม เนื่องจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากบ่อเพื่อลดปัญหาคุณภาพน้ำ น้ำที่ปล่อยทิ้งออกมาจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีปริมาณสารอินทรีย์และสารอาหารในปริมาณสูง และหากมีน้ำทิ้งปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งนอกจากจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศในน้ำแล้ว ยังมีผลกระทบต่อน้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภคอีกด้วย

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิด ซึ่งเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำใช้ภายในระบบไม่ปล่อยทิ้งออกมาสู่ภายนอก จะช่วยลดปัญหาผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี และกำลังได้รับการส่งเสริมให้ใช้กันมากขึ้นโดยเฉพาะกับการเพาะเลี้ยงกุ้งในบ่อดิน โดยส่วนใหญ่จะอาศัยการบำบัดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในบ่อบำบัดหรือบ่อพักน้ำ ส่วนการนำระบบบำบัดน้ำแบบโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้วิธีทางเคมีหรือชีวภาพมาใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีอยู่น้อย เนื่องจากระบบบำบัดที่ใช้กันในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีค่าใช้จ่ายสูง และไม่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมากแต่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ จากแนวความคิดที่พืชสามารถนำสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ จึงได้มีการนำพืชน้ำชนิดต่างๆ รวมถึงสาหร่ายมาใช้เพื่อเสริมประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำและยังเป็นการลดต้นทุนในการบำบัด โดยสาหร่ายสามารถสร้างอาหารขึ้นเองจากสารอนินทรีย์โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และนำสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำมาใช้ในการเติบโต นอกจากนี้สาหร่ายยังช่วยเพิ่มออกซิเจนให้น้ำในเวลากลางวันอีกด้วย

แม้ว่าการประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลในการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสิ่งที่น่าสนใจและสามารถนำมาใช้ได้จริง แต่การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สาหร่ายทะเลเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำยังมีอยู่น้อย ทั้งนี้ยังขาดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาของสาหร่าย อัตราการบำบัดไนโตรเจน และประสิทธิภาพในการบำบัดในระยะยาว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้การออกแบบและจัดการบ่อบำบัดน้ำด้วยสาหร่ายทะเลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในการศึกษานี้ เป็นการทดลองนำสาหร่ายทะเลสีเขียวชื่อสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* มาใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลา เนื่องจากสาหร่ายช่อพริกไทยเป็นสาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ดีในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และในปัจจุบันได้มีการใช้สาหร่ายชนิดนี้มาช่วยบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งระบบปิดที่บรรจงฟาร์ม อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้ผลดี โดยเน้นการศึกษาปัจจัยทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย และการศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายในการดูดซับไนโตรเจนในระบบถังเลี้ยงปลา เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบบำบัดสารอาหารในน้ำโดยใช้สาหร่ายทะเลต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมได้แก่ การเติมคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำ และความเข้มแสงต่ออัตราการนำสารอาหารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม (NH_4-N) ไนไตรท์ (NO_2-N) และไนเตรท (NO_3-N) ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

2. ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทย ในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยงปลานิล

1.2 สมมติฐาน

การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* จะทำให้อัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยการทดลองย่อยดังนี้

1. ผลของการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการนำสารอาหารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม (NH_4-N) ไนไตรท์ (NO_2-N) ไนเตรท (NO_3-N) และฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย
2. ผลของความเข้มแสงที่ทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยออกซิเจนและประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย
3. ผลความเข้มของแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

4. ผลของความเค็มที่มีต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย
5. การใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยงปลานิล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมต่อการเติบโต การสังเคราะห์แสง และการนำแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบบำบัดน้ำสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

ปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญที่ทุกคนให้ความสนใจ ปัญหาหนึ่งที่สำคัญก็คือปัญหามลภาวะทางน้ำ การดำเนินกิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว ในประเทศไทยกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นธุรกิจที่ก่อให้เกิดรายได้สูง แต่หากขาดการจัดการคุณภาพน้ำที่ดีก็อาจนำมาซึ่งปัญหาเช่นกัน การควบคุมคุณภาพน้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญซึ่งมีการศึกษานำวิธีต่างๆมาใช้ เช่น การใช้ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (activated sludge) การใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด การใช้สาหร่ายในการควบคุมคุณภาพน้ำ เป็นต้น

โดยทั่วไปสัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียไนโตรเจนออกมาในรูปของแอมโมเนีย ยูเรีย ซึ่งสาหร่ายจะใช้สารเหล่านี้ในการเจริญเติบโต (Lewin, 1962) โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในการสร้างอาหาร สาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปลดปล่อยออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ (Neori and Shpigel ,1999)

สาหร่ายจัดเป็นพืชชั้นต่ำแต่มีความสามารถในการสังเคราะห์อาหารได้เองเช่นเดียวกับพืช เนื่องจากมีรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์อาหารเช่นเดียวกัน และสาหร่ายส่วนใหญ่ก็อาศัยแสงเป็นแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งสมการในการสังเคราะห์ด้วยแสงสามารถสรุปได้ดังสมการ 2.1

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{PAR(48h\upsilon)} [CH_2O]_6 + 6H_2O + 6O_2 \qquad (2.1)$$

สำหรับมหสาหร่ายจะมีสมดุลของมวลดังสมการ 2.2 (Geider and Osborne,1992)

$$550CO_2 + 580H_2O + 30HNO_3 + H_3PO_4 \longrightarrow (CH_2O)_{550}(NH_3)_{30}(H_3PO_4) + 610\ O_2 \qquad (2.2)$$

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่มีผลต่อการบำบัดน้ำ เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวจะให้ก๊าซออกซิเจนออกมาสู่แหล่งน้ำมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น และยังทำให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ที่สาหร่ายมีความสามารถในการนำสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำมาใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง ทำให้แนวคิดที่จะนำสาหร่ายมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีผู้ศึกษาวิจัยมากขึ้น เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ สามารถควบคุมระบบได้ง่าย ประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ในเกณฑ์ดี และยังสามารถนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ได้อีกภายหลังการบำบัด ดังนั้นการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัด และสามารถนำความรู้ดังกล่าวไปใช้ปรับปรุงกับระบบอื่นๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ดียิ่งขึ้น

2.2 ชีววิทยาของสาหร่าย

สาหร่ายจัดเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น (primary producer) ของระบบนิเวศเช่นเดียวกับพืช ดังนั้นสาหร่ายจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศ

สาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* เป็นสาหร่ายใน Division Chlorophyta หรือสาหร่ายสีเขียว ซึ่งมีการจัดลำดับทางอนุกรมวิธาน ดังนี้

Division: Chlorophyta, Class: Chlorophyceae, Order: Caulerpales,

Family: Caulerpacea, Genus: *Caulerpa*, Species: *Caulerpa lentillifera* J. Agardh

ภาพที่ 2-1 สาหร่ายช่อพริกไทย ที่เก็บจากบ่อบำบัดน้ำของบรรจงฟาร์ม จ.ฉะเชิงเทรา

สาหร่ายใน Order Caulerpales มีลักษณะเป็นหลอดหรือเป็นท่อ (siphonous form) ที่ไม่มีผนังเซลล์มากั้น นอกจากในระยะสืบพันธุ์จึงจะมีผนัง (septum) มาปิดกั้นเพื่อสร้างแกมีแทนเจียม (gametangium)มีรงควัตถุพวกแซนโทฟิลล์แตกต่างไปจากพวกอื่นๆ คือมี siphonein และ siphonaxanthin (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527)

สาหร่ายช่อพริกไทยมักพบขึ้นอยู่บนก้อนหินหรือพื้นทราย ที่น้ำตื้นๆใกล้แนวปะการัง ทัลลัสประกอบด้วยสโตลอนที่คืบคลานไปตามพื้นและแตกแขนงได้ ส่วนของแขนงที่ตั้งตรงสูง 1-6

เซนติเมตร มักเกิดเดี่ยวๆ ไม่ค่อยแตกแขนง ประกอบด้วยรามูลัสเล็กๆ ลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5-2 มิลลิเมตร มีก้านสั้นๆเรียงกันคล้ายช่อพริกไทย แต่รามูลัส มีรอยคอดระหว่างก้านและส่วนที่เป็นเม็ดกลมสีเขียวใส (Lewmanomont and Ogawa, 1995)

2.3 ชีววิทยาของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera*

โดยทั่วไปจะพบสาหร่ายช่อพริกไทย *C. lentillifera* ขึ้นตามพื้นทรายปนโคลนในบริเวณแนวหินที่ตื้น (นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์, 2544) และมักพบขึ้นปะปนกับสาหร่ายอื่นๆ ในบริเวณเดียวกัน เช่น *Caulerpa sertularioides*, *Halimeda opuntia* รวมถึงหญ้าทะเลบางชนิด เช่น *Thalassia hemprichii* เป็นต้น สาหร่ายชนิดนี้มีการเจริญเติบโตหนาแน่นในบริเวณที่มีปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน และสารอนินทรีย์รูปอื่น เช่น ฟอสเฟต ในปริมาณสูงซึ่งมีความสำคัญต่อการเติบโตของสาหร่าย ฤดูกาลที่พบการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทยอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และอัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนมีนาคมเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะลดลงและรูปร่างหดสั้นลง (Toma, 1987)

การสืบพันธุ์ของสาหร่ายสกุล *Caulerpa* มีการสืบพันธุ์ 2 แบบ คือ

2.3.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction)

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศในสาหร่าย *Caulerpa* จะเกิดจากการแบ่งเซลล์ของรามูลัส และทัลลัส ซึ่งแต่ละรามูลัสและทัลลัสที่แบ่งเซลล์จะพัฒนาเจริญเติบโตไปเป็นเซลล์ใหม่ต่อไป

2.3.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction)

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในสาหร่ายช่อพริกไทย เกิดขึ้นในช่วงที่อากาศค่อนข้างอุ่นถึงร้อน เนื่องจากได้รับแสงเต็มที่ ซึ่งจะเห็นบนผิวของทัลลัสที่โตเต็มที่มีลักษณะรูปร่างเป็นตาข่ายอย่างชัดเจน ในระยะนี้ภายในไซโตพลาสซึมจะมีการเคลื่อนที่ของแกมีตซึ่งมีหนวด 2 เส้นทั้งเพศผู้ และเพศเมีย โดยแกมีตจะถูกปล่อยออกมา หลังจากนั้นจะเกิดกระบวนการที่เรียกว่า เกิดการคอนจูเกชัน (conjugation) เกิดเป็น ไซโกต (zygote)ต่อไป และเมื่อไซโกตไปเกาะบริเวณพื้นหรือหินจะงอกออกเป็นเซลล์สาหร่ายเซลล์ใหม่ ส่วนสาหร่ายต้นเดิมจะซีดลงภายหลังปล่อยแกมีตไปแล้ว (นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์, 2544)

2.4 ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย

การเติบโตของสาหร่ายขึ้นอยู่กับปัจจัยแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของสาหร่ายนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายที่สำคัญ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำ pH ความเค็ม เป็นต้น ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย สามารถแบ่งได้เป็น

2.4.1 แสง

แสงมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) ของพืช รวมไปถึงสาหร่าย เนื่องจากสาหร่ายส่วนใหญ่ได้พลังงานมาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยสาหร่ายจะใช้แสงในช่วงคลื่นที่เรียกว่า photosynthetically active radiation (PAR) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 nm แสงมีความสำคัญนอกจากจะเป็นแหล่งพลังงานให้กับพืชและสาหร่ายแล้วในกรณีที่พืชหรือสาหร่ายได้รับปริมาณแสงความเข้มสูงเกินไปจะเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์อาหาร เช่น สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* จะไวต่อแสงมาก และสาหร่ายจะถูกยับยั้งการเติบโตหากได้รับแสงมากเกินไป (Toma, 1987) นอกจากนี้ Horstmann (1983) พบว่าสาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* ไวต่อความเข้มแสง โดยเมื่อสาหร่ายชนิดนี้ได้รับแสงในความเข้มสูง จะเกิดการหดตัวของคลอโรพลาสต์ ดังนั้นจึงมักพบสาหร่ายชนิดนี้ขึ้นปนกับสาหร่ายสกุลอื่น เช่น *Sargassum*, *Turbinaria* และ *Padina* นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายชนิดนี้ขึ้นในบ่อที่มีโคลน หรือดินตะกอน เพื่อให้โคลนหรือดินตะกอนเหล่านี้ช่วยในการกรองแสงที่ได้รับ เป็นการป้องกันการได้รับแสงโดยตรง Horstmann (1983) ทดลองตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนของสาหร่าย เพื่อศึกษาผลของแสงต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยทำการวัดอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนที่ความลึกจากผิวน้ำ 3 ระดับ คือวัดที่พื้นผิว ที่ระดับ 3 เมตร และ 10 เมตร ตามลำดับ โดยมีการส่องผ่านของแสง 100 %, 50% และ 10% ตามลำดับ พบว่าอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนสูงสุดที่ความลึกจากผิวน้ำระดับ 10 เมตร นอกจากแสงจะมีบทบาทต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายแล้ว การที่สาหร่ายได้รับแสงในปริมาณที่มากเกินไปก็มีผลทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งโดยแสง (photoinhibition) ซึ่งส่งผลต่อสภาพเซลล์ของสาหร่าย เนื่องจากรงควัตถุภายในเซลล์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกทำลาย ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ทำให้สาหร่ายเติบโตได้ไม่ดีเนื่องจากสังเคราะห์อาหารได้น้อยลง

การตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยในห้องปฏิบัติการโดยอลิสา โชควิวัฒนวนิช (2543) แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายช่อพริกไทยมีจุดอิ่มตัวของการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ระดับความเข้มแสงประมาณ 15,000 lux ซึ่งจะมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนจากการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis oxygen evolution) ประมาณ 150 $\mu gO_2/g(fw)/hr$ ซึ่งหากเพิ่มความเข้มแสงมากกว่านี้สาหร่ายก็ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในอัตราที่สูงขึ้นกว่าเดิม

2.4.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการที่ควบคุมการเติบโต และการเจริญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต เพราะอุณหภูมิมีผลกับกระบวนการต่างๆภายในร่างกายหรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายจะแตกต่างกันไปในสาหร่ายแต่ละชนิด บางชนิดสามารถอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำ บางชนิดสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี เช่น จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการของ Horstmann (1983) พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* คือ 28-34 $^{\circ}C$ และที่อุณหภูมิที่ 34 $^{\circ}C$ มีการปลดปล่อยออกซิเจนสูงสุด และที่ 38 $^{\circ}C$ การสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายจะลดลง นอกจากนี้ Chaoyuan *et al*. (1993) รายงานว่า *Gracilaria tenuistipitata* อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 20-30 $^{\circ}C$ ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแต่ละปีเท่ากับ 2.4 เปอร์เซ็นต์ต่อวันและอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในรอบวันเป็น 3.3 เปอร์เซ็นต์

2.4.3 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสำคัญมากต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เพราะสิ่งมีชีวิตต้องอาศัยออกซิเจนในกระบวนการหายใจ ในขณะที่พืชต้องการออกซิเจนในการหายใจและในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ส่วนแบคทีเรียใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีสูงในช่วงบ่าย เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย และจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเช้าตรู่ (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544) นอกจากนี้วิรัชยังได้อ้างถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่มีผลต่อสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ผลกระทบของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ

ปริมาณออกซิเจน (มก./ล.)	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
<1	เป็นระดับที่เป็นอันตรายถ้าปล่อยอาศัยอยู่เป็นเวลานานๆ
1-5	เป็นระดับที่ทำให้การเจริญเติบโตลดลงและการสืบพันธุ์ผิดปกติถ้าปลาอาศัยอยู่อย่างต่อเนื่อง
>5	เป็นระดับปกติสำหรับสัตว์น้ำทั่วไป

ที่มา : วิรัช จิ๋วแหยม (2544)

2.4.4 ความเป็นกรดด่าง (pH)

โดยปกติแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 5–9 และโดยทั่วไปในน้ำทะเลจะมีคุณสมบัติที่เป็นบัฟเฟอร์ในตัวทำให้ค่า pH ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก Horstmann (1983) รายงานการเลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* .ในบ่อทดลอง พบว่าสาหร่ายมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนสูงขึ้นในช่วงความเป็นกรดด่างสูงขึ้น แต่ในช่วง pH 9.0 จะมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนลดลง

2.4.5 ความเค็ม

โดยปกติความเค็มมีผลต่อสิ่งมีชีวิตแตกต่างกัน บางชนิดสามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีระดับความเค็มสูง บางชนิดเติบโตได้ดีในช่วงความเค็มต่ำหรือน้ำกร่อย ซึ่งความเค็มมีผลต่อกระบวนการต่างๆภายในเซลล์โดยเฉพาะการปรับสมดุลของน้ำในร่างกายสิ่งมีชีวิต สาหร่ายแต่ละชนิดจะมีระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการทนความเค็มของน้ำแตกต่างกัน เช่น Chaoyuan *et al.* (1993) รายงานว่า ความเค็มที่ทำให้สาหร่าย *Gracilaria tenuistipitata* เจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงได้ดีคือ 21 ppt. โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง 7-27 ppt ในขณะที่การศึกษาของ Horstmann (1983) พบว่าสาหร่าย *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* มีอัตราการแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้ดีในช่วงความเค็ม 30 – 40 ppt. และสาหร่ายจะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเมื่อความเค็มลดระดับลงเหลือ 20 ppt. Toma (1987) รายงานว่า ความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* คือ 33 ppt. โดยสาหร่ายชนิดนี้จะเติบโตได้ในช่วงความเค็มที่แคบ ในขณะที่ นั้น กล่าวการเลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa* ในพื้นที่น้ำกร่อยหรือน้ำจืด ความเค็มที่ลดต่ำลงอาจมีผลทำให้สาหร่ายตายได้ (นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์, 2544)

2.4.6 ปริมาณสารอาหารในน้ำ

ปริมาณสารอาหารในน้ำนับได้ว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของพืชน้ำและสาหร่ายเนื่องจากเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโต สารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ที่สำคัญคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอน ซึ่งถือว่าเป็นธาตุหลักขององค์ประกอบภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตและเซลล์ของพืช ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของสารประกอบเมื่อละลายอยู่ในน้ำ โดยมากสาหร่ายหรือพืชน้ำจะใช้สารอาหารในรูปของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสำคัญ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักในส่วนต่างๆของเซลล์ทั้งในการสร้างสารพันธุกรรม รวมไปถึงการสร้างรงควัตถุต่างๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการสร้างอาหารของสาหร่ายหรือพืช

Ahn *et al*., (1998) ศึกษาการนำสารอาหารไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม และไนเตรทเข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย *Laminaria saccharina* และสาหร่าย *Nereocystis luetkeana* ที่นำมาจากฟาร์มเลี้ยงปลาแซลมอน ในประเทศแคนาดา พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการนำสารอาหารไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม และไนเตรท เข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย *Laminaria saccharina* อยู่ในช่วง 6.0-8.9 และ 4.6-10.6 μmol $g_{dw}^{-1}h^{-1}$ ตามลำดับ และสาหร่าย *Nereocystis luetkeana* อยู่ในช่วง 6.6-9.3 และ 6.1-17.0 μmol $g_{dw}^{-1}h^{-1}$ ตามลำดับ โดย *Laminaria saccharina* จะมีอัตราการนำเข้าแอมโมเนียมสูงสุดคือ 14.8 μmol $NH_4^+g_{dw}^{-1}h^{-1}$ และ *Nereocystis luetkeana* มีอัตราการนำไนเตรทเข้าสู่เซลล์สูงสุดคือ 27.2 μmol $NO_3^-g_{dw}^{-1}h^{-1}$ และการนำไนเตรทเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีระดับสูงสุดที่ 30 μM ในขณะที่แนวโน้มการนำแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายทั้งสองมีแนวโน้มคงที่คือ อยู่ในช่วง 10-13 μmol $g_{dw}^{-1}h^{-1}$

Neori and Shpigel (1999) ศึกษาการนำสาหร่ายทะเล *Ulva lactuca* และ *Gracilaria conferta* มาใช้บำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเนื่องจากสาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปลดปล่อยออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้สาหร่ายต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการสร้างอาหาร โดยสาหร่ายจะใช้ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ ส่วนไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นน้อยในธรรมชาติ ในกรณีที่แหล่งน้ำมีทั้งแอมโมเนียมและไนเตรทอยู่ด้วยกันสาหร่ายจะเลือกใช้แอมโมเนียมจนหมดก่อนแล้วจึงใช้ไนเตรทเป็นลำดับต่อมา

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ (2538) ศึกษาการใช้สาหร่ายทะเล 3 ชนิดคือ *Caulerpa macrophysa*, *Sargassum polycystum* และ *Gracilaria salicornia* ในการลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดสามารถลด

ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนเตรทได้ โดยลดปริมาณแอมโมเนีย และไนเตรทได้มากที่สุด ที่ความหนาแน่น 10 กรัม ต่อลิตร และพบว่าที่ความหนาแน่น 1 กรัม ต่อลิตรสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการดูดซึมดีกว่าที่ความหนาแน่น 5 และ 10 กรัม ตามลำดับ

2.5 สรีรวิทยาของปลานิล

การจัดลำดับทางอนุกรมวิธานของปลานิล แสดงได้ดังนี้

Phylum: Vertebrata

Class: Osteichthyes

Order: Perciformes

Family: Cichlidae

Genus: *Oreochromis*

Species: *Oreochromis niloticus* Linnaeus

ภาพที่ 2-2 ลักษณะของปลานิล *Oreochromis niloticus* Linnaeus

ปลานิลมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* Linnaeus จัดอยู่ในวงศ์ Cichlidae ซึ่งปลาในวงศ์นี้มีอยู่ประมาณ 700 ชนิด ลักษณะของปลานิลจะเป็นดังภาพที่ 2-2 กล่าวคือ ปลานิลจะมีริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลและมีลายพาดขวาง 9-10 แถบ ครีบหลัง ครีบก้นและครีบหางมีจุดขาวและเส้นสีดำตัดขวาง ปลานิลมีลักษณะต่างจากปลาหมอเทศตรงที่ปลานิลมีเกล็ด 3 แถว ที่บริเวณแก้มและอีก 1 แถวตรงบริเวณเหนือเส้นข้างลำตัวเล็กน้อย ครีบหลังมีอันเดียวประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 15-18 อัน และก้านครีบอ่อน 12-14 อัน ครีบก้นมีก้านครีบแข็ง 3อัน และก้านครีบอ่อน 9-10 อัน บนแถบ

เส้นข้างลำตัวมีเกล็ด 33 เกล็ด ทางด้านข้างมีเกล็ดตามแนวเฉียงจากตอนต้นของครีบหลังลงมาถึงเส้นข้างลำตัว 5 เกล็ด และจากเส้นข้างลำตัวลงมาถึงส่วนหน้าของครีบก้น 13 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดูกแก้มมีสีเข้มอยู่หนึ่งจุด บริเวณปลายอ่อนของครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางมีจุดสีขาวและเส้นสีดำตัดขวางอยู่ทั่วไป (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ, 2536)

ปลานิลเป็นปลาที่นิยมเลี้ยงกันทั่วไป เนื่องจากเลี้ยงง่าย มีอัตราการเติบโตสูง และมีรสชาติดี การเลี้ยงปลานิลนิยมทำกันในบ่อและในกระชัง การเลี้ยงปลานิลในบ่อ นิยมใช้อาหารจำพวก รำ เศษอาหาร พืชจำพวกแหน รวมทั้งมูลสัตว์ และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ปัจจุบันมีการปรับปรุงคุณภาพของอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล โดยเน้นรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณโปรตีนในอาหารผสมของรำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง ใบกระถินแห้ง ปลาป่น เกลือแร่และวิตามินเป็นต้น เพื่อให้ปลามีอัตราเติบโตดีขึ้น เพิ่มปริมาณเนื้อ และทำให้ปลาแข็งแรง โดยทั่วไปในธรรมชาติปลานิลเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ เช่น สาหร่าย แพลงก์ตอนพืชและสัตว์ ส่วนลูกปลาขนาดเล็กกินไรน้ำและหนอนแดง

ปกติปลานิลเป็นปลาที่ชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามแม่น้ำ ลำคลอง บึง ทะเลสาบ แต่สามารถนำไปเลี้ยงในน้ำกร่อยได้ เนื่องจากเป็นปลาที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกว้างมาก คือตั้งแต่ 11-42 $^{\circ}$C ความทนทานของปลานิลต่อความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ปลานิลจะเริ่มตายในน้ำที่มี pH 6.5 - 5.5 เฉลี่ย 10% และที่ pH 5 - 4.5 เฉลี่ย 70% และตายหมดที่ pH 4.5 – 3.5 นอกจากนี้ปลานิลยังมีความทนทานต่อความเค็มของน้ำกล่าวคือ ปลานิลสามารถอยู่ได้ปกติในน้ำที่มีความเค็มสูง20.0 ppt. (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ, 2536)

2.6 การหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากสำหรับสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศในน้ำ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน คลอโรฟิลล์ RNA DNA เอ็นไซม์ต่างๆ และวิตามิน ซึ่งล้วนแต่มีอิทธิพลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีน การสร้างสารพันธุกรรม และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต

โดยปกติธาตุไนโตรเจนมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ทั้งในรูปของแก๊สไนโตรเจน (N_2) แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ไนไตรท์อิออน (NO_2^-) ไนเตรทอิออน (NO_3^-) รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ และที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต รวมไปถึงซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เนื่องจากเมื่อสิ่งมีชีวิตตายก็จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ซึ่งจะให้แอมโมเนียออกมาเป็นผลผลิต

เราเรียกกระบวนการดังกล่าวว่า Ammonification ซึ่งเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน ดังสมการที่ 2.3

$$NH_3 + H^+ \xleftrightarrow{\text{acid solutions}} NH_4^+ \qquad (2.3)$$

ธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียนั้นอาจถูกแพลงก์ตอนพืชที่มีอยู่ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ไปหรือถูกเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ ซึ่งเราเรียกกระบวนนี้ว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งในน้ำและตะกอนที่ก้นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ กระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4 และ 2.5

$$NH_4^+ + 1.5\ O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + 2H^+ + H_2O \qquad (2.4)$$

$$NO_2^- + 0.5\ O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} NO_3^- \qquad (2.5)$$

กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก (2.3) จะเกิดจากกระบวนการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่ม *Nitrosomonas* ซึ่งจะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และขั้นตอนที่สอง (2.4) เกิดโดยกระบวนการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่ม *Nitrobactor* ซึ่งจะเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มจะใช้ NH_4^+ และ NO_2^- เป็นแหล่งพลังงานตามลำดับ และใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน กระบวนการดังกล่าวจะเกิดได้เร็วที่สุดในช่วงค่าสภาพกรด-ด่าง (pH) ในช่วง 7-8 และอุณหภูมิช่วง 25-35 องศาเซลเซียส (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544)

นอกจากกระบวนการทั้งสองแล้วในสภาวะที่แหล่งน้ำหรือบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน หรือมีออกซิเจนละลายอยู่ในปริมาณน้อยมาก บริเวณน้ำชั้นล่างหรือบริเวณก้นบ่อ จะเกิดกระบวนการที่เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนธาตุไนโตรเจนในรูปของไนเตรทไปเป็นแก๊สไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศในที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้ออกซิเจนจากสารประกอบไนเทรต หรือไนไตรท์ในกระบวนการหายใจ ดังสมการที่ 2.6, 2.7 และ 2.8

$$2NO_3^- \longrightarrow 2NO_2^- + O_2 \qquad (2.6)$$

$$2NO2- \longrightarrow 2NO + O2 \qquad (2.7)$$

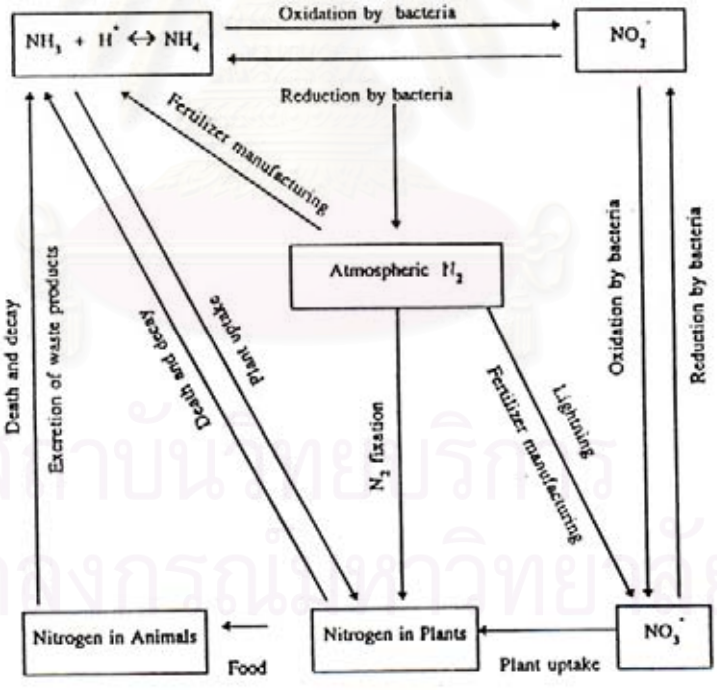
$$2NO \longrightarrow N_2 + O_2 \qquad (2.8)$$

ในน้ำจะพบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียได้ 2 รูป คือ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งไม่แตกตัว และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ซึ่งแตกตัวง่าย เนื่องจากแอมโมเนียไม่แตกตัวจึงระเหยได้ง่าย ดังนั้นในบ่อปลาจึงอาจสูญเสียไนโตรเจนจากทางนี้ได้ทางหนึ่ง สภาพสมดุลของแอมโมเนียทั้งสองรูปแสดงได้ดังสมการที่ 2.9

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^- \qquad (2.9)$$

สภาพสมดุลดังกล่าวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ pH ของน้ำ โดย pH จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของแอมโมเนีย น้ำในบ่อที่มี pH เป็นกลาง แอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออนมากกว่าในรูปของก๊าซ แต่เมื่อ pH สูงขึ้นจะพบในรูปของก๊าซเพิ่มขึ้น และในรูปของอิออนก็จะมีลดลง ก๊าซแอมโมเนียจะระเหยขึ้นสู่อากาศได้ง่ายเพราะในอากาศมีปริมาณแอมโมเนียต่ำ และจะระเหยได้เร็วขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิและ pH สูงขึ้น

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปการหมุนเวียนของธาตุไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แสดงการหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ที่มา : วิรัช จิ๋วแหยม (2544)

2.6.1 ผลของแอมโมเนียที่มีต่อสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำเกือบทุกชนิดขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของแอมโมเนีย และในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการเลี้ยงแบบหนาแน่นก็จะมีการสะสมของปริมาณแอมโมเนียในปริมาณสูง แม้ว่าโดยทั่วไปแอมโมเนียบางส่วนจะสามารถระเหยขึ้นสู่อากาศได้ก็ตาม แต่เนื่องจากแอมโมเนียในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็อาจส่งผลต่อสัตว์น้ำได้ ขึ้นกับว่าแอมโมเนียอยู่ในรูปใด ถ้าอยู่ในรูปก๊าซอิสระ แอมโมเนียจะมีความเป็นพิษมากต่อสัตว์น้ำ แต่ถ้าอยู่ในรูปของอิออนจะไม่มีพิษหรือมีผลกระทบน้อยกว่า สัดส่วนของปริมาณ NH_3 และ NH_4^+ ในน้ำขึ้นอยู่กับ pH อุณหภูมิและปริมาณเกลือแร่ โดย pH จะมีอิทธิพลต่อเคมีของแอมโมเนียในน้ำมากกว่าอุณหภูมิ ปริมาณเกลือแร่ในน้ำมีอิทธิพลน้อยเช่นเดียวกับอุณหภูมิแต่ในทางตรงข้าม แอมโมเนียจะมีน้อยลงเมื่อมีปริมาณเกลือแร่เพิ่มขึ้น วิรัช จิ๋วแหยม (2544) รายงานว่า ในน้ำจืดโดยทั่วไปจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5 –7.5 ในขณะที่ pH ในแหล่งน้ำเค็มจะสูงกว่า คือ อยู่ระหว่าง 7.8 –8.5 ดังนั้นสัตว์น้ำเค็มจึงมีความเสี่ยงต่อพิษของแอมโมเนียสูงกว่าสัตว์น้ำจืด สัตว์น้ำเริ่มเครียดเมื่อในน้ำมีปริมาณของแอมโมเนียที่เป็นพิษประมาณ 0.1 มิลลิกรัมแอมโมเนียต่อลิตร นอกจากนี้ วิรัช จิ๋วแหยม (2544) ได้อ้างถึงผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า แอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง 0.2-2 มิลลิกรัมแอมโมเนียต่อลิตร จะเป็นพิษต่อปลาหลายชนิด

ความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีผลต่อสัตว์น้ำเป็นเพราะว่า ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการสะสมของแอมโมเนียในปริมาณสูงเกินไป แอมโมเนียดังกล่าวจะไปมีผลทำให้ปลาหรือสัตว์น้ำไม่สามารถขับถ่ายแอมโมเนียออกจากกระแสเลือดทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนีย ทำให้ pH ในเลือดมีค่าสูงขึ้นเป็นผลเสียต่อกระบวนการทางเคมีภายในร่างกาย ทำให้มีความต้องการออกซิเจนสูงขึ้น ทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจนของเลือด ทำให้ปลาหรือสัตว์น้ำอ่อนแอ และติดโรคได้ง่าย (มั่นสิน ตั้งตรงไพโรจน์ และไพพรรณ พรประภา, 2536)

2.6.2 ไนไตรท์และผลที่มีต่อสัตว์น้ำ

โดยทั่วไปปริมาณไนไตรท์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีไม่สูงมาก เนื่องจากไนไตรท์ไม่คงตัว จึงมักเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไนเตรท แต่ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียในปริมาณที่สูงก็มีโอกาสที่จะเกิดการสะสมของปริมาณไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงได้

ความเป็นพิษของไนไตรท์ที่มีต่อสัตว์น้ำนั้นเป็นผลเนื่องมาจากความเข้มข้นของกรดไนทรัสที่เกิดจากการแตกตัวของแอมโมเนียโดยแบคทีเรียในกลุ่ม *nitrosomonas* ซึ่งปริมาณกรดไนทรัสจะขึ้นกับอุณหภูมิและ pH ตลอดจนความเค็มของน้ำ โดยเมื่อน้ำมี pH

และอุณหภูมิต่ำจะเกิดกรดไนทรัสได้ดี ผลของไนไตรท์ที่มีต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่เฟอรัสอิออน (Fe^{2+}) ซึ่งอยู่ในโมเลกุลฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ในเลือด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ริกอิออน (Fe^{3+}) ทำให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนไปเป็นเมทธิโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งมีความสามารถในการรับออกซิเจนได้ต่ำกว่าฮีโมโกลบิน ทำให้เกิดสภาพที่เลือดมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าปกติ (hypoxia) หรือมีชื่อเรียกอาการนี้ว่า “Brown blood disease” ความเป็นพิษของไนไตรท์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนต่ำและมีอุณหภูมิสูง ปริมาณไนไตรท์ที่สูงเกินกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อปลา

มั่นสิน ตั้งตรงไพโรจน์ และไพพรรณ พรประภา (2539) รายงานถึง ค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำควรมีค่า 0.3599 มิลลิกรัมไนไตรท์ไนโตรเจนต่อลิตร การเติมแคลเซียมและคลอไรด์อาจช่วยลดความเป็นพิษของไนไตรท์ได้ นอกจากนี้การเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือเติมอากาศก็มีส่วนช่วยในการลดความเป็นพิษของไนไตรท์ได้

2.6.3 ไนเตรทและผลของไนเตรทที่มีต่อสัตว์น้ำ

ไนเตรทเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่มีพิษน้อยที่สุดโดยปกติถือได้ว่าปริมาณไนเตรทมีผลต่อสัตว์น้ำน้อยมาก แต่เนื่องจากในภาวะที่ไร้ออกซิเจนไนเตรทสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นไนไตรท์ซึ่งมีผลต่อสัตว์น้ำได้โดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้นถ้าบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีการเติมออกซิเจนอย่างเพียงพอ ก็จะลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาดังกล่าวได้

Zweig และคณะ (1999) รายงานว่าเมื่อไนเตรทเกิดการสะสมถึงระดับหนึ่งจะมีผลต่อ osmoregulation การขนส่งออกซิเจนและยังเป็นพิษต่อตับ และZweigได้แนะนำระดับของไนเตรทไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาทั่วไปไว้ว่าต้องมีค่าต่ำกว่า 23 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ความเข้มข้นที่สามารถปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้จะต้องมีปริมาณไนเตรทต่ำกว่า 11 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อปลาต้องมีระดับความเข้มข้น 181 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนที่ระดับ 69 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นสาเหตุของ anorexia ในปลาทำให้ปลาติดโรคได้ง่าย (ศิริวัฒน์ คูเจริญไพบูลย์, 2544)

2.7 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อลดปัญหาการปล่อยน้ำเสียจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงออกสู่สภาพแวดล้อม ระบบดังกล่าวนี้เป็นระบบที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบ ดังนั้นเมื่อทำการเพาะเลี้ยงด้วยระบบดังกล่าว ปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของสัตว์น้ำคือคุณภาพน้ำภายในระบบ เนื่องจากไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบเลย ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณสารอาหาร ทั้งในส่วนที่เป็นเศษอาหารที่เหลือจากการกิน รวมไปถึงมูลที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์น้ำ ซึ่งล้วนเป็นแหล่งอาหารที่ดีของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ รวมไปถึงจุลชีพแต่ละชนิดที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสิ่งมีชีวิตดังกล่าว เกิดการใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้น้ำในระบบเพาะเลี้ยงขาดออกซิเจน ส่งผลให้สัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงขาดออกซิเจนในการหายใจ นอกจากนี้การที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบทำให้เมื่อสัตว์น้ำเกิดการติดโรค ความรุนแรงของโรคจะมีเพิ่มขึ้นและทำให้อัตราการตายของสัตว์น้ำสูงขึ้น ดังนั้นในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ปัจจัยเรื่องของปริมาณสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญต่อระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เช่น การที่ไม่มีการถ่ายเทน้ำออกจากระบบทำให้มีการสะสมของปริมาณแอมโมเนียซึ่งมีพิษต่อสัตว์น้ำอย่างรุนแรงหากมีในน้ำมากเกินไป เป็นต้น จึงได้มีการพยายามหาแนวทางในการบำบัดคุณภาพน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด เพื่อที่จะได้สามารถใช้น้ำจากบ่อดังกล่าวในการเพาะเลี้ยงได้ต่อไป เป็นการลดปัญหาการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน แนวทางในการแก้ปัญหามีหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการออกแบบระบบบำบัดโดยใช้เครื่องมือต่างๆ แต่ปัญหาที่ตามมาก็คือ ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก็จะสูงขึ้นตามมา ดังนั้นแนวทางที่มีผู้สนใจนำมาศึกษาคือการใช้สิ่งมีชีวิตในการบำบัดคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น สาหร่าย พืชน้ำหรือแม้แต่จุลชีพ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีประสิทธิภาพต่อการบำบัดคุณภาพน้ำทั้งสิ้น

ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของธัญญา พันธ์ฤทธิ์ดำ (2541) ได้ศึกษาการนำระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดโดยใช้จุลชีพในการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยอาศัยแบคทีเรียในกลุ่ม denitrifying bacteria ในการเปลี่ยนปริมาณไนเตรทที่สะสมในระบบไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาคุณภาพน้ำในระบบการเพาะพันธุ์กุ้งทะเลชนิดหมุนเวียนน้ำแบบปิด (สมภพ รุ่งสุภา, 2530) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพในการเพาะพันธุ์กุ้งทะเลให้มีประสิทธิภาพ

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดมีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 2 กระบวนการกล่าวคือกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยทั่วไปในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่ได้มีการหมุนเวียนน้ำใน

ระบบปิดจะมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องหลักๆคือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งผลจากกระบวนการดังกล่าวนี้จะมีการสะสมของปริมาณไนเตรทในระบบ ซึ่งปริมาณไนเตรทที่มีมากจะเป็นแหล่งอาหารให้กับแพลงก์ตอนพืชหลายชนิดทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของปริมาณแพลงก์ตอน ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ เนื่องจากแพลงก์ตอนจะใช้ออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงในกระบวนการหายใจเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ เพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องลดปริมาณไนเตรทที่สะสมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยอาศัยแบคทีเรียในกลุ่ม denitrifying bacteria ซึ่งจะทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงไนเตรทให้ไปเป็นแก๊สไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศในที่สุด อย่างไรก็ตามระบบดีไนตริฟิเคชันยังคงมีผู้นำมาใช้กับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำน้อย เนื่องจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจะเป็นระบบที่มีการเติมอากาศในบ่ออยู่ตลอดเวลา ทำให้แบคทีเรียในกลุ่มดีไนตริไฟอิงทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องจากแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะมีความไวต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ ดังนั้นในกระบวนการเปลี่ยนแปลงไนเตรทแบคทีเรียในกลุ่มนี้จึงเติบโตได้ไม่ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่สูง ในขณะที่กระบวนการไนตริฟิเคชันต้องการออกซิเจนที่มากพอเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจึงเหมาะกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดมากกว่าเนื่องจากมีปริมาณไนเตรทสะสมอยู่อย่างเพียงพอ ทำให้แบคทีเรียสามารถเลือกใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ดังเช่น ศิริวัฒน์ คูเจริญไพบูลย์ (2544) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาระบบปิดโดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน พบว่าการใช้แผ่นตรึงเซลล์ที่มีเชื้อไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ปริมาณไม่ต่ำกว่า 3 % สามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในถังระบบบำบัดลงได้ภายใน 1 วัน ทำให้ถังระบบบำบัดมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ไนโตรเจนมีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อปลา และสัตว์น้ำอื่นๆ นอกจากนี้การกำจัดไนเตรทโดยใช้ถังบำบัดดีไนตริฟิเคชันโดยระบบน้ำหมุนเวียน พบว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนเตรทไนโตรเจนที่เหมาะสมคือ 33.76 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมไนเตรทไนโตรเจน ซึ่งทำให้ถังบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรทมากกว่า 98 %

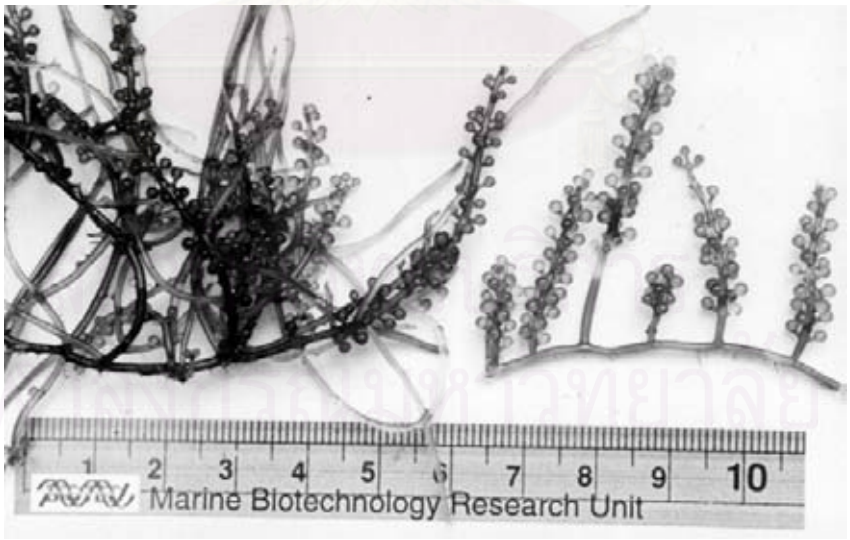
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมสาหร่ายเพื่อใช้ในการทดลอง

สาหร่ายช่อพริกไทยที่ใช้ในการศึกษานี้นำมาจากบ่อดินที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำที่บรรจงฟาร์ม อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา (ภาพที่ 3-1) โดยทำการเลี้ยงไว้ในถังพลาสติก ด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน (ppt.) และวางถังไว้ใต้หลังคาพลาสติกโปร่งแสง ทำให้ได้รับแสงและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพธรรมชาติ ในการเลี้ยงเพื่อเก็บรักษาสาหร่ายไว้ใช้ในการทดลองทำโดยเลี้ยงสาหร่ายในถังรวมกับการเลี้ยงปลาหางนกยูงที่ได้ปรับสภาพให้มีชีวิตอยู่ได้ในน้ำทะเล ซึ่งจะมีการให้อาหารปลาซึ่งอาหารดังกล่าวจะเป็นแหล่งของสารอาหารให้สาหร่าย วิธีการดังกล่าวช่วยให้สามารถเก็บรักษาสาหร่ายได้เป็นระยะเวลานานและช่วยให้สาหร่ายได้ปรับตัวเข้ากับสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการก่อนนำไปใช้ในการทดลอง การทดลองทั้งหมดทำที่ห้องปฏิบัติการของหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ซึ่งตั้งอยู่ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3-1 ลักษณะของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera*

3.2 การศึกษาผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

การศึกษาผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย ทำในตู้กระจกขนาด 30.5x15.5x18 ซม. บรรจุน้ำทะเลปริมาตร 6 ลิตร ที่ผสมด้วยอาหารเพาะเชื้อสาหร่ายตามสูตร F/2 (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540) ที่มีการดัดแปลงโดยเติมแอมโมเนีย $(NH_4)_2SO_4$ ความเข้มข้น 5 mg.NH_4-N/L และไนเตรท ($NaNO_3$) ความเข้มข้น 5 mg.NO_3-N/L และเติมฟอสเฟต (KH_2PO_4) ความเข้มข้น 0.05 mg.PO_4^{3-}-P/L สำหรับรายละเอียดการเตรียมอาหารเพาะสาหร่ายสูตร F/2 แสดงในภาคผนวก ข ในการทดลองนี้ประกอบด้วยตู้ทดลองจำนวน 8 ตู้ (ภาพที่ 3-2) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุด ชุดละ 2 ตู้ ในชุดทดลองจะใส่สาหร่ายน้ำหนักเปียก 30 กรัม

ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุมที่ให้อากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการใส่สาหร่ายในตู้ทดลอง)

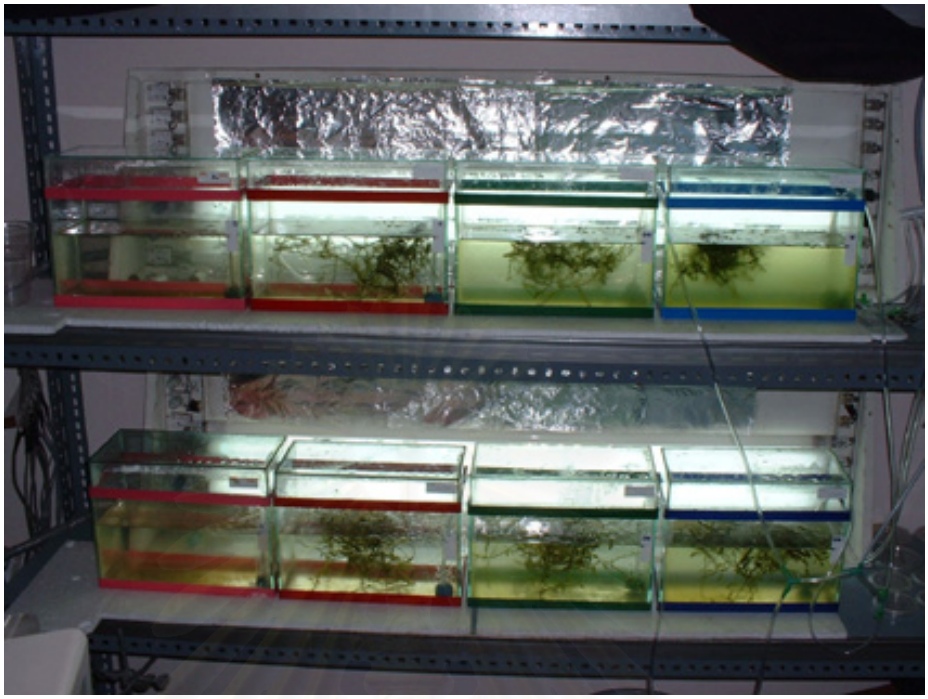
ชุดการทดลองที่ 2 เป็นชุดทดลองที่มีสาหร่ายและมีการพ่นอากาศผ่านหัวทราย

ชุดการทดลองที่ 3 เป็นชุดทดลองที่มีสาหร่าย และมีการพ่นอากาศผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1% ผ่านหัวทราย

ชุดการทดลองที่ 4 เป็นชุดทดลองที่มีสาหร่ายและมีการพ่นอากาศผ่านหัวทราย และเติม $NaHCO_3$ 0.05 กรัม (50 mg $NaHCO_3$/L)

ในระหว่างการทดลองจะทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำ ด้วยวิธีของ Strickland and Parsons (1972) (รายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก) และชั่งน้ำหนักของสาหร่ายเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เพื่อประเมินการเติบโตของสาหร่าย

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาทดลองจึงนำสาหร่ายที่เลี้ยงไว้ในตู้แต่ละชุดการทดลองไปวัดอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อประเมินประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยหลังจากการเลี้ยงในสภาวะต่างๆ กัน ซึ่งจะเป็นเครื่องบ่งชี้ความสมบูรณ์ของเซลล์สาหร่าย



ภาพที่ 3-2 ชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสาร อาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

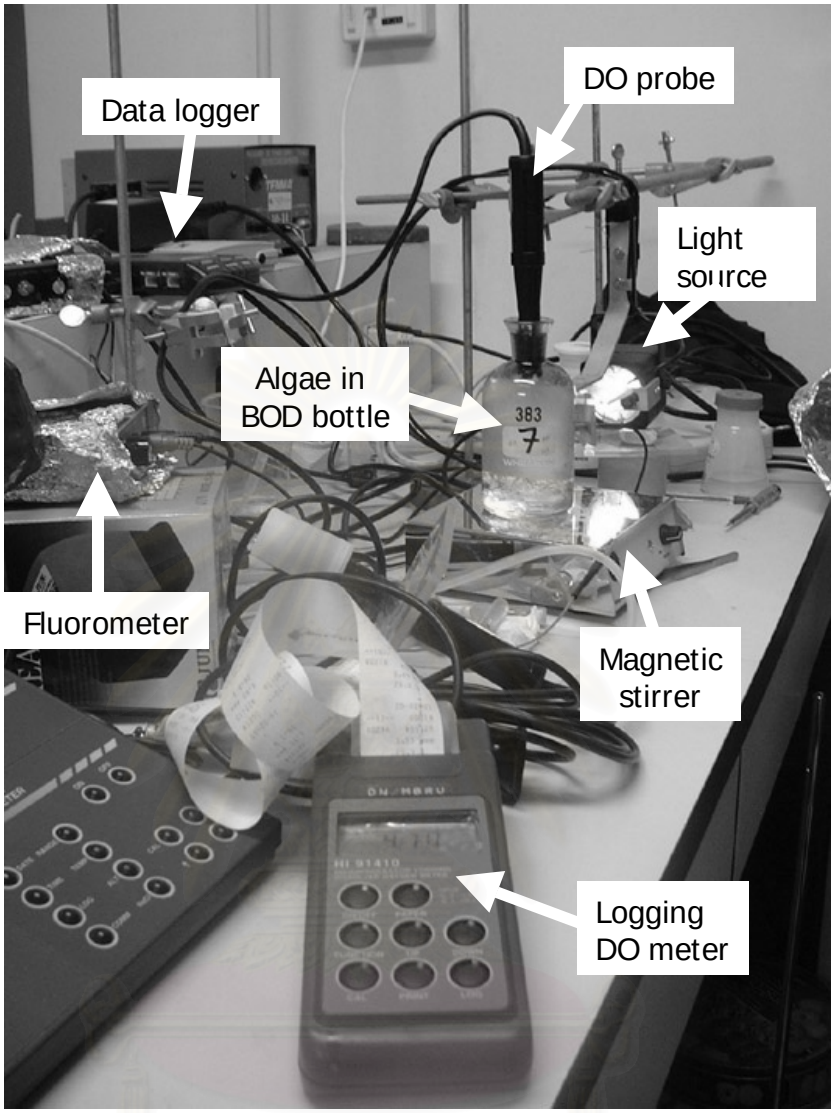
3.3 การศึกษาผลของความเข้มแสงต่ออัตราการปลดปล่อยออกซิเจนและประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยในห้องปฏิบัติการ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงผลของความเข้มแสงที่ระดับต่างๆ กัน ที่จะส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย โดยใช้วิธีการตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสองวิธีพร้อมกัน ประกอบด้วยการตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยออกซิเจน (oxygen evolution) และการตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence) ในอุปกรณ์ที่ดัดแปลงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3-3 อุปกรณ์การวัดอัตราการสังเคราะห์แสงในการทดลองนี้ได้ใช้ขวด BOD มาเป็นภาชนะบรรจุสาหร่าย โดยจะนำสาหร่ายช่อพริกไทยน้ำหนักเปียก 13.4 กรัม บรรจุลงในขวด BOD ที่ภายในมีแท่งแม่เหล็กสำหรับกวนให้น้ำมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา และมีฟองน้ำที่จะดันให้ทัลลัสของสาหร่ายอยู่ชิดกับผนังด้านหนึ่งของขวด ซึ่งที่ด้านนอกของขวดในบริเวณที่ติดกับสาหร่ายจะทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจจับฟลูออเรสเซนต์ บริเวณปากขวดด้านบนจะติดตั้ง

หัวตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดออกซิเจน (logging DO meter, HANNA HI964400)

ในระหว่างการทดลองจะมีการใช้ถุงพลาสติกสีดำคลุมขวดตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้สาหร่ายไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณออกซิเจนในขวดที่ลดลงจะเกิดจากการหายใจของสาหร่าย เมื่อเปิดขวดให้ได้รับแสงก็จะทำให้สาหร่ายสามารถสังเคราะห์แสงและปลดปล่อยออกซิเจนออกมาส่งผลให้ออกซิเจนในขวดเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนมาเทียบกับระยะเวลาในการทดลองก็จะสามารถคำนวนอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนในหน่วยของปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นต่อปริมาณสาหร่ายต่อเวลาได้ และในขณะเดียวกันกับที่กำลังตรวจวัดการปลดปล่อยออกซิเจน ก็จะทำการตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์โดยวิธีส่งแสงความเข้มสูง 2000 µmol-photon/m^2/s เป็นจังหวะ (pulse amplitude modulation) พร้อมกับการให้แสงที่คงที่ ณ ความเข้มต่างๆ กัน (actinic light) ตลอดเวลา ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการตรวจวัดประสิทธิภาพในการขนส่งอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นในระบบสังเคราะห์แสงที่สอง (photosystem II) และแสดงค่าออกมาเป็นสัดส่วนของค่าการเรืองแสงแปรผัน ($F'_{variable}$) ต่อการเรืองแสงสูงสุดในขณะที่มีแสง (F'_{max}) หรือ Fv'/Fm' หลังจากการตรวจวัดออกซิเจนและการเรืองแสงที่เกิดขึ้นที่ระดับความเข้มแสงเริ่มต้น 50 µmol-photon/m^2/s (ประมาณ 3,700 lux) ก็จะทำการคลุมขวดให้มืดเป็นเวลา 15 นาที และเปิดให้ได้รับแสงที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นกว่าเดิมอีกประมาณ 50 µmol-photon/m^2/s ซึ่งจะทำการทดลองกับความเข้มแสงที่สูงไปเรื่อยๆ จนถึงระดับความเข้มแสง 250 µmol-photon/m^2/s (ประมาณ 18,000 lux)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



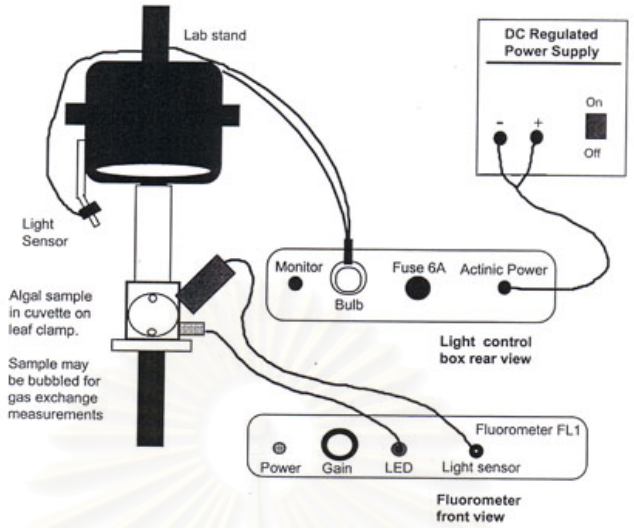
ภาพที่ 3-3 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายโดยการตรวจวัดออกซิเจนที่สาหร่ายปลดปล่อยออกมา พร้อมกับการตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ โดยบรรจุสาหร่ายในขวด BOD ที่มีการติดตั้งหัวตรวจวัดออกซิเจน (DO probe) และอุปกรณ์ตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ โดยมีแหล่งกำเนิดแสง (light source) ที่สามารถปรับระดับความเข้มแสงได้

3.4 การศึกษาผลของความเค็มโดยฉับพลันต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายซ่อพริกไทยในห้องปฏิบัติการ

นอกเหนือไปจากการศึกษาผลของแสงที่ทำในสภาพแสงธรรมชาติ ในการศึกษานี้ได้ทดลองเปรียบเทียบผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายซ่อพริกไทยภายในสภาวะของห้องปฏิบัติการซึ่งจะสามารถควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า โดยนำสาหร่ายซ่อพริกไทยมาเลี้ยงไว้ภายในขวดที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 30 ppt. ทำการเตรียมขวดที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 0, 10, 20, 40, 50 และ 60 ppt. ที่เติมสารอาหารสูตร F/2 วางไว้ในตู้กระจกที่มีน้ำหล่อและมีการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้อุณหภูมิภายในแต่ละขวดเท่ากัน

การเตรียมสาหร่ายซ่อพริกไทยจะใช้ในการทดลองทำโดยการเลี้ยงสาหร่ายในขวดที่มีน้ำทะเลความเค็ม 30 ppt มีการเติมสารอาหารตามสูตร F/2 (สูตรอาหาร F/2 แสดงไว้ในภาคผนวก ข) และได้รับแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสงประมาณ 50 µmol photon/m^2/s (ประมาณ 3,700 lux) เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงเพื่อให้สาหร่ายปรับสภาพเซลล์เข้ากับสภาวะของห้องปฏิบัติการ จากนั้นจึงนำสาหร่ายบรรจุเข้าในหลอดแก้วที่ดัดแปลงเพื่อตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ โดยหลอดแก้วดังกล่าวจะต่อกับสายยางที่มีการสูบน้ำจากขวดเลี้ยงสาหร่ายความเค็ม 30 ppt เข้าสู่หลอดบรรจุสาหร่ายและวนน้ำนั้นกลับลงสู่ขวดเก็บน้ำขวดเดิม ทำการตรวจวัดค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์โดยใช้ระดับความเข้มแสง (actinic light) 50 µmol photon/m^2/s (ประมาณ 3,700 lux)เมื่อได้ค่า Fv'/Fm' ที่คงที่จึงทำการเปลี่ยนน้ำโดยเปลี่ยนมาสูบน้ำจากขวดที่มีน้ำทะเลความเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 40 ppt แทนขวดเก่าที่มีความเค็ม 30 ppt ซึ่งจะทำให้ความเค็มของน้ำในหลอดแก้วที่บรรจุสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอย่างฉับพลันจาก 30 เป็น 40 ppt ในขณะเดียวกันก็ได้ทำการตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์อย่างต่อเนื่อง เมื่อสาหร่ายถูกปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมโดยฉับพลันก็จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการสังเคราะห์แสง ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่า Fv'/Fm'

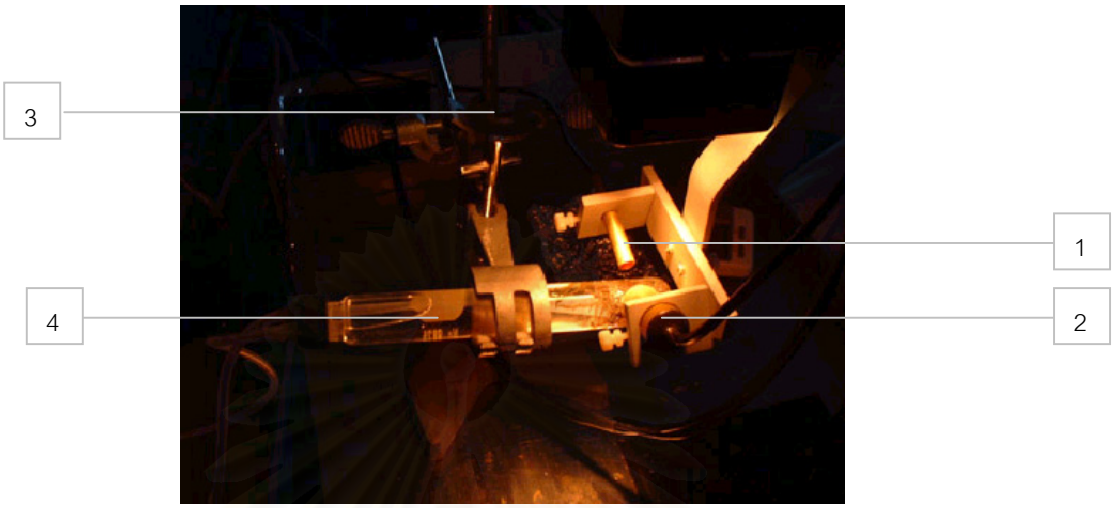
ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกได้ทำการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันจากความเค็มปรกติ 30 ppt เป็นความเค็มที่สูงขึ้นครั้งละ 10 ppt คือจากความเค็ม 30 $\rightarrow$ 40 $\rightarrow$ 50 และ $\rightarrow$ 60 ppt และส่วนที่สองเป็นการเปลี่ยนแปลงความเค็มลดลงครั้งละ 10 ppt จากความเค็ม 30 $\rightarrow$ 20 $\rightarrow$ 10 และ $\rightarrow$ 0 ppt ตามลำดับ และทำการตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ที่ความเข้มแสง 50 µmol photon/m^2/s (ประมาณ 3,700 lux) เท่ากันตลอดการทดลอง



ภาพที่ 3-4 ไดอะแกรมชุดตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยอาศัยหลักการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll fluorescence)

ที่มา : Qubitsystems, 2001

ภาพที่ 3-5 ชุดตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูลตลอดระยะเวลาการทดลอง



ภาพที่ 3-6 การตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย โดยอาศัยหลักการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll fluorescence)

(1) หลอดให้แสงในช่วงคลื่นสีแดง

(2) ตัวตรวจจับแสงฟลูออเรสเซนต์ที่สาหร่ายช่อพริกไทยปลดปล่อยออกมาเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความเข้มแสงจากหลอดสีแดง

(3) ตัวยึดจับชุดตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์

(4) หลอดบรรจุตัวอย่างที่จะใช้ทำการตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ ที่เชื่อมต่อกับภาชนะบรรจุน้ำทะเล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การศึกษาผลของความเข้มของแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มแสงในสภาพธรรมชาติต่อสาหร่ายช่อพริกไทย โดยทำการทดลองในตู้กระจกขนาด 30x30x60 เซนติเมตร ที่ตั้งอยู่กลางแจ้ง บรรจุน้ำทะเลปริมาตร 30 ลิตรที่มีการเติมสารอาหารตามสูตร F/2 ที่มีการดัดแปลงสูตรโดยเติม NH_4^+ ความเข้มข้น 3 mg.NH_4-N/L NO_3^- ความเข้มข้น 10 mg.NO_3-N/L และฟอสเฟตความเข้มข้นประมาณ 1.5 mg.PO_4^{3-}-P/L ทุกชุดการทดลองจะมีการเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องผ่านหัวทราย ในการศึกษานี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 รอบ ซึ่งมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

3.5.1 การทดลองรอบที่ 1 เป็นการทดลองเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยในตู้กระจกจำนวน 3 ตู้

ตู้ที่ 1 มีสาหร่ายช่อพริกไทยน้ำหนัก 50.94 กรัม และพรางแสงแดดด้วยผ้าพลาสติกที่สามารถพรางแสงได้ประมาณร้อยละ 80

ตู้ที่ 2 มีสาหร่ายช่อพริกไทยน้ำหนัก 51.84 กรัม และมีการพรางแสงแดดด้วยผ้าพลาสติกที่มีรูพรุนซึ่งสามารถพรางแสงแดดได้ประมาณร้อยละ 50

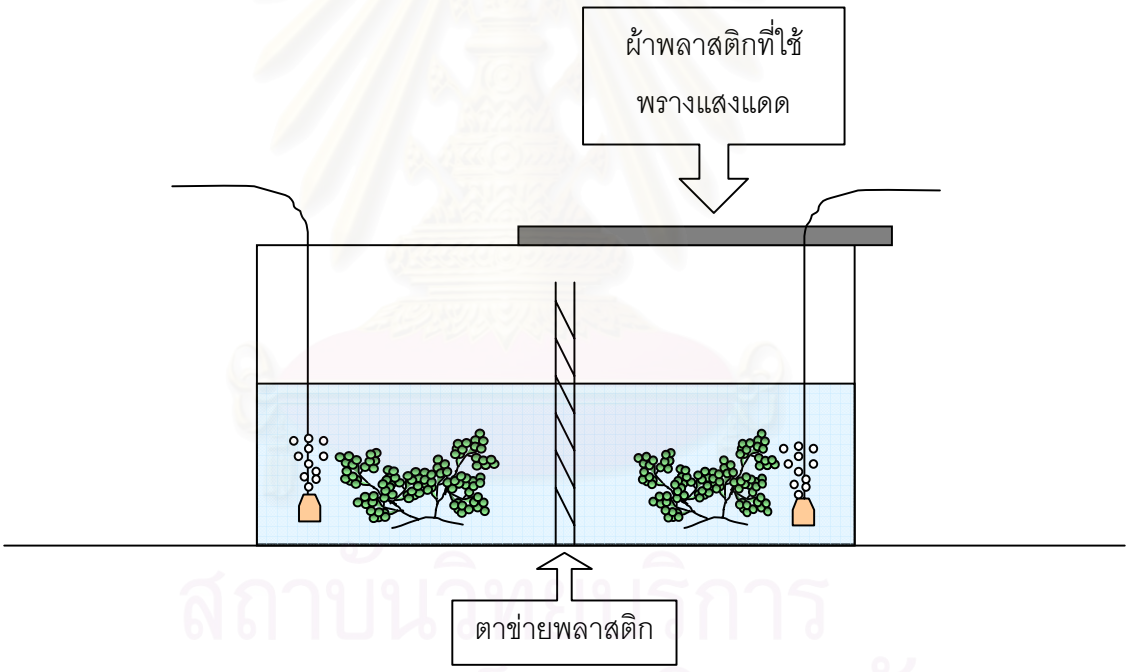
ตู้ที่ 3 มีสาหร่ายช่อพริกไทยน้ำหนัก 51.96 กรัม แต่ไม่มีการพรางแสงแดดด้วยผ้าพลาสติก (ชุดควบคุม)

ในระหว่างการทดลอง จะมีการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ด้วยวิธีของ Strickland and Parsons (1972) ตรวจวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดแสง (Lutron/รุ่นLX-101) และนำสาหร่ายบางส่วนไปเตรวจวัดสภาพความสมบูรณ์ของเซลล์สาหร่าย โดยการตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

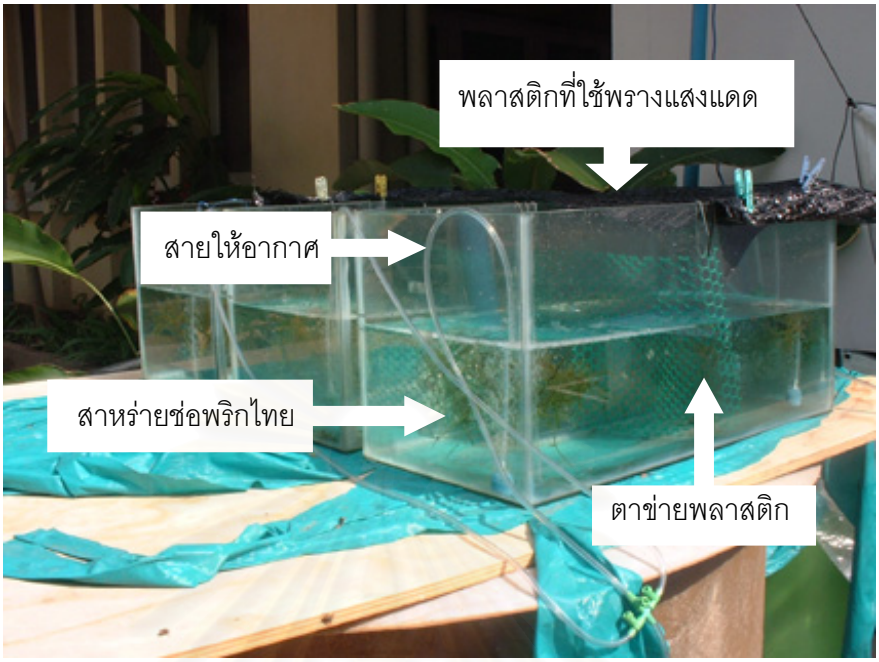
3.5.2 การทดลองรอบที่ 2 ทำการเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยในตู้กระจกจำนวน 3 ตู้ ในสภาพกลางแจ้งเช่นเดียวกับการทดลองรอบที่ 1 โดยแต่ละตู้จะมีการกั้นแบ่งพื้นที่ภายในออกเป็นสองส่วนด้วยแผ่นตะแกรงพลาสติก และมีการพรางแสงแดดเพียงส่วนเดียว เพื่อให้สาหร่ายที่อยู่ตู้ฝั่งหนึ่งได้รับแสงเต็มที่ในขณะที่สาหร่ายที่อยู่ในตู้อีกซีกหนึ่งจะได้รับการพรางแสง วิธีนี้จะทำให้สาหร่ายที่อยู่ในตู้แต่ละตู้อยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากัน

แต่จะแตกต่างเฉพาะความเข้มแสงที่ได้รับ ใส่สาหร่ายน้ำหนักประมาณ 30 กรัม ลงในตู้ทั้งสองฝั่ง ภาพของชุดการทดลองแสดงในภาพที่ 3-8

ในระหว่างการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972) ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ และตรวจวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย เพื่อใช้ในการบ่งชี้ถึงสภาพความสมบูรณ์ของเซลล์สาหร่าย โดยนำสาหร่ายจากตู้เลี้ยงมาเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาทีแล้วทำการตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์หลังจากได้รับแสงแฟลชความเข้มสูง (Pulse Amplitude Modulation [PAM] Chlorophyll Fluorescence) ด้วยเครื่องมือวัดที่ผลิตโดยบริษัท Qubitsystems ดังภาพที่ 3-4,3-5และ 3-6



ภาพที่ 3-7 ไดอะแกรมของตู้ทดลองที่มีแผ่นกั้นเพื่อพรางแสงเพียงครึ่งตู้



ภาพที่ 3-8 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาผลของการพรางแสงแดดที่มีต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยเปรียบเทียบกันระหว่างสาหร่ายที่มีการพรางแสงแดดกับสาหร่ายที่ไม่ได้รับการพรางแสงแดด

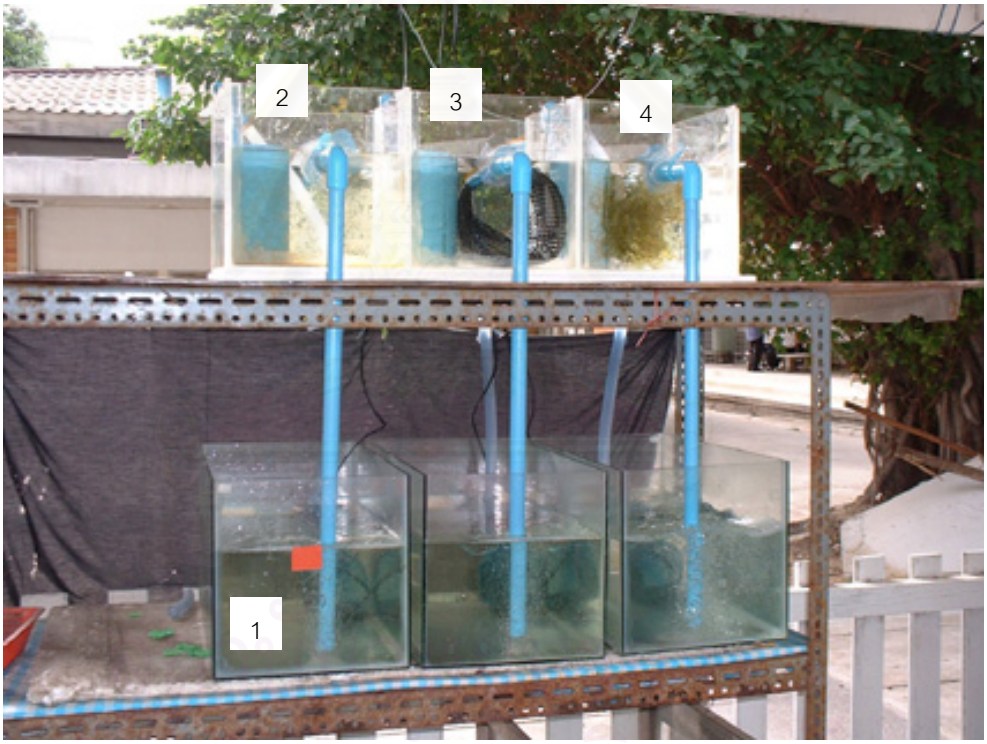
3.6 การทดลองใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิล

การทดลองใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลานิล แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่

3.6.1 การทดสอบประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดคุณภาพน้ำ

การทดลองนี้ทำในชุดการทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนตู้กระจกเลี้ยงปลาขนาด 30x30x60 เซนติเมตร บรรจุน้ำประมาณ 36 ลิตร สำหรับเลี้ยงปลานิลขนาดเฉลี่ย 1.21 กรัม จำนวน 5 ตัว ภายในตู้กระจกดังกล่าวมีปั๊มน้ำสำหรับหมุนเวียนน้ำไปสู่ส่วนบำบัดที่เป็นตู้บรรจุสาหร่ายช่อพริกไทยน้ำหนักเปียกประมาณ 200 กรัม สร้างขึ้นจากพลาสติกอะครีลิคใส โดยมีขนาดตู้ 30x30x30 เซนติเมตร บรรจุน้ำประมาณ 14 ลิตร วางอยู่เหนือตู้เลี้ยงปลา น้ำจากตู้สาหร่ายจะหมุนเวียนกลับมายังตู้เลี้ยงปลาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ในระยะเวลาการทดลอง 33 วัน จะไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากระบบ เรียกว่าเป็นระบบปิด (zero

discharge) คือไม่มีการถ่ายเทน้ำออกสู่ภายนอกแต่จะมีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำออกจากระบบ มีการให้อาหารปลาคิดเป็นร้อยละ 5 ของน้ำหนักปลา ติดตามการเติบโตของปลาโดยทำการชั่งน้ำหนักปลานิลทุกๆ สองสัปดาห์ และปรับปริมาณอาหารให้สมดุลกับน้ำหนักของปลาที่เปลี่ยนแปลงไป ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักของปลาและสาหร่ายทั้งก่อนและหลังการทดลอง ทำการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต) วัดความเข้มแสงและอุณหภูมิของน้ำในชุดทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยในการทดลองนี้ได้จัดชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด ประกอบด้วยชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายแต่มีตาข่ายพลาสติกเพื่อเป็นที่อาศัยของแบคทีเรียตามธรรมชาติ และชุดทดลองที่มีสาหร่ายซ่อพริกไทย ดังแสดงในภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 ชุดการทดลองระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำจากตู้เลี้ยงปลาด้านล่าง [1] ไปยังตู้ส่วนบำบัด (2) ที่ตั้งอยู่เหนือตู้เลี้ยงปลาแต่ละตู้ ชุดการทดลองในภาพจากซ้ายไปขวาประกอบด้วย ชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายในถังบำบัด (2) ชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายแต่มีตาข่ายพลาสติกอยู่ในถังบำบัด (3) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายซ่อพริกไทยอยู่ในถังบำบัด (4)

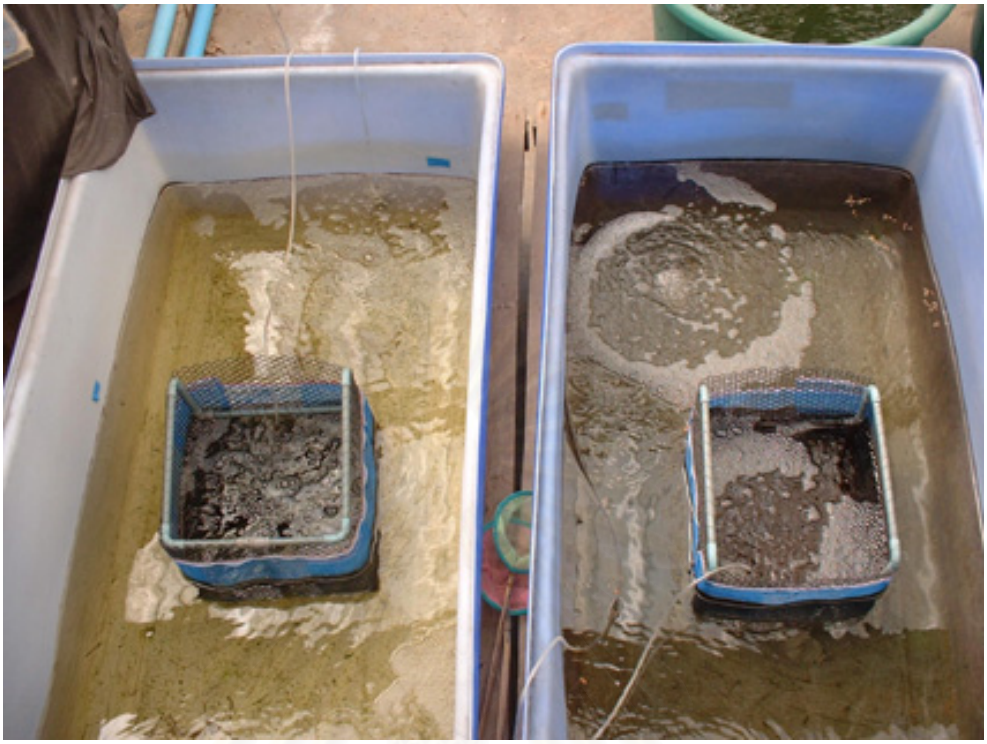
3.6.2 การประเมินประสิทธิภาพของสาหร่ายซ่อพริกไทยในการบำบัดน้ำจากตู้เลี้ยงปลานิล

โดยในการทดลองนี้จะทำการทดลองในลักษณะเดียวกับที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 3.6.1 แต่ในทุกระบบทดลองจะใส่สาหร่ายซ่อพริกไทยในตู้บำบัดด้านบนทั้งสามตู้ ในระหว่างการทดลองได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำและการเติบโตของปลา รวมทั้งสมดุลของไนโตรเจนในระบบ

3.6.3 การทดลองเลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่ายซ่อพริกไทย

การทดลองนี้ได้ทำการเลี้ยงสาหร่ายซ่อพริกไทยไว้ในกระชังขนาด 34x34x34 เซนติเมตร ทำจากตาข่ายพลาสติก วางอยู่ตรงกลางของถังเลี้ยงปลารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 82x152x50 เซนติเมตร ที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 30 ppt สูงจากก้นถัง 20 เซนติเมตร และวางอยู่ใต้หลังคาพลาสติกที่มีแสงส่องผ่านลงมาได้ โดยทำการทดลองเลี้ยงปลานิลขนาดเฉลี่ย 0.90 กรัม จำนวน 20 ตัว ในการทดลองนี้ประกอบด้วยถังเลี้ยงปลาดังกล่าวจำนวน 2 ถัง ถังแรกเป็นถังทดลองที่ใส่สาหร่ายน้ำหนักเปียก 303.2 กรัม ส่วนถังที่สองจะเป็นถังควบคุมที่มีเฉพาะกระชังพลาสติกแต่ไม่มีการใส่สาหร่าย ในระหว่างการทดลองจะไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่จะมีการเติมน้ำจืดเพื่อชดเชยการระเหยของน้ำ และมีการให้อาหารปลาในสัดส่วนร้อยละ 5 ของน้ำหนักปลา ตลอดระยะเวลาการทดลองเลี้ยงปลา 76 วัน จะทำการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต) วัดปริมาณความเข้มแสง อุณหภูมิ และชั่งน้ำหนักปลาและสาหร่ายก่อนและหลังการทดลอง เพื่อนำไปคำนวณอัตราการเติบโตและสมดุลของไนโตรเจนในระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3-10 ชุดการทดลองเลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทย โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายไว้ในกระชังพลาสติกวางอยู่กลางบ่อ (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับถังที่ใช้เป็นชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย (ภาพขวา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

การทดลองเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยในครั้งนี้ เป็นการเลี้ยงสาหร่ายในตู้กระจกเป็นระยะเวลารวม 19 วัน ในระหว่างการทดลองมีการเติมแอมโมเนียและฟอสเฟตเพิ่มลงในตู้ทั้งหมดสองครั้งในวันที่ 8 และวันที่ 14 ผลการทดลองพบว่าเมื่อเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยในตู้กระจกที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มต้นประมาณ 0.7 mg-N/L ในช่วงระหว่างวันที่ 1-7 จะพบการลดลงของปริมาณแอมโมเนียในทุกชุดการทดลองในอัตราที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4-1

หลังจากวันที่ 7 ได้มีการเติมแอมโมเนียเพิ่มลงในน้ำทำให้ปริมาณแอมโมเนียในวันที่ 8 เพิ่มขึ้นเป็น 3 mg-N/L หลังจากนั้นก็พบการลดลงของแอมโมเนียเช่นเดียวกัน แต่ในช่วงเวลาดังกล่าว (วันที่ 8-14) จะพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนไตรท์ในระบบ (ภาพที่ 4-2) ซึ่งแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้น ทำให้การลดลงของแอมโมเนียส่วนใหญ่เป็นผลจากแบคทีเรียที่เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ แบคทีเรียเหล่านี้มีทั้งที่อยู่ในน้ำ เกาะติดตามผนังตู้กระจก และที่ติดอยู่บริเวณผิวของสาหร่าย และการที่ปริมาณไนเตรทในระบบไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 4-3) แสดงว่าแอมโมเนียที่ลดลงส่วนหนึ่งถูกดูดซับโดยสาหร่ายเพื่อใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต

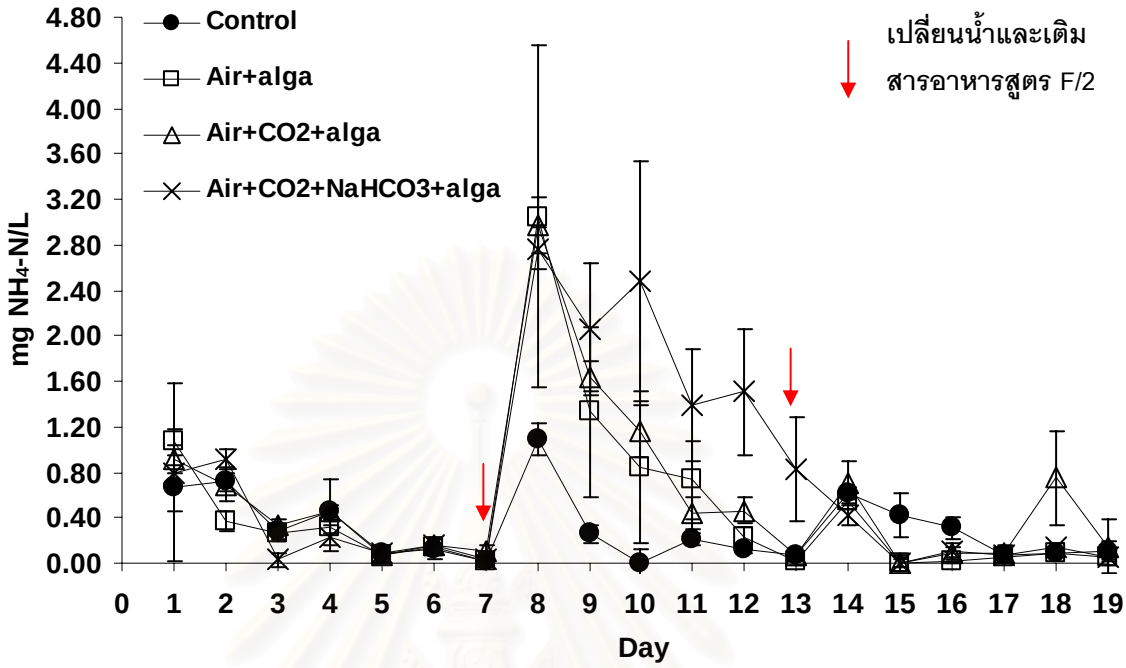
สำหรับการลดลงของปริมาณฟอสเฟตที่แสดงในภาพที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยในตู้ชุดทดลองสามารถลดปริมาณฟอสเฟตในน้ำได้มากกว่าและเร็วกว่าตู้ชุดควบคุมที่ไม่ได้ทำการเลี้ยงสาหร่าย แต่การที่ตู้ชุดควบคุมก็มีการลดลงของฟอสเฟตเช่นเดียวกันก็เป็นผลเนื่องมาจากการนำฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชโดยเฉพาะไดอะตอมที่พบว่ามีการเติบโตปนเปื้อนภายในตู้ทดลองทุกตู้

สำหรับในตู้ทดลองที่มีการเลี้ยงสาหร่ายเพียงอย่างเดียวนั้นพบว่าจะมีการปนเปื้อนของแพลงก์ตอนพืชโดยเฉพาะไดอะตอม และกิจกรรมส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในแต่ละตู้จะมีแบคทีเรียและแพลงก์ตอนพืชที่มีอยู่ในน้ำทะเลตามธรรมชาติเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจึงพบว่าปริมาณสารอาหารภายในตู้ทุกตู้ที่มีแนวโน้มลดลง ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของแบคทีเรียและแพลงก์ตอนพืชในน้ำทะเลที่ใช้ทดลอง

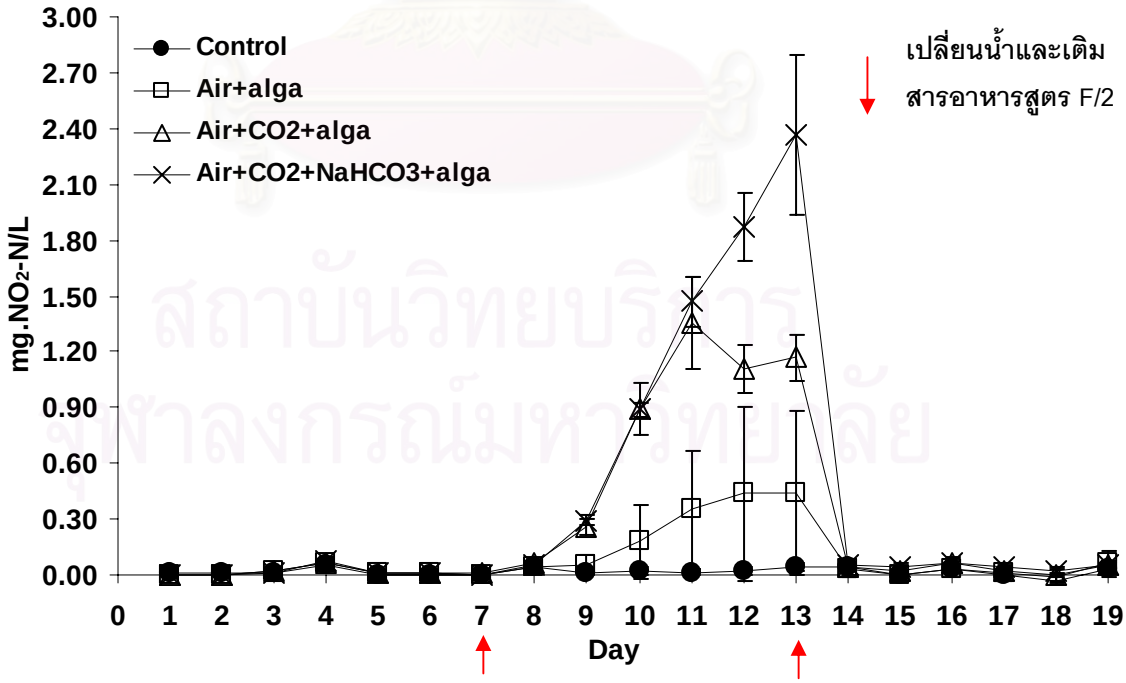
นอกจากนี้เมื่อนำสาหร่ายที่เลี้ยงภายในตู้ทดลองในวันที่ 19 ของการทดลอง มาวัดอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจ ได้ผลการทดลองดังที่แสดงในตารางที่ 4-1 ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่าสาหร่ายในชุดการทดลองที่ให้อากาศและโซเดียมไบคาร์บอเนต (ชุดการทดลองที่ 4) มีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนสูงกว่าชุดการทดลองที่ให้อากาศผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และชุดการทดลองที่ให้อากาศ (ชุดการทดลองที่ 2) ตามลำดับ นอกจากนี้ในชุดการทดลองที่ให้อากาศและโซเดียมไบคาร์บอเนต (ชุดการทดลองที่ 4) มีอัตราการการหายใจสูงกว่าสาหร่ายในอีกสองชุดการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์มีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนที่สูงกว่าชุดการทดลองที่ให้อากาศ (ชุดการทดลองที่ 2) แสดงว่าการเติมคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนแม้ว่าจะทำให้สาหร่ายมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นด้วยก็ตาม นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ในแต่ละตู้ทดลองมีค่าต่างกัน โดยตู้ที่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์จะมีค่า pH ที่ต่ำกว่าในชุดการทดลองอื่น ซึ่งพบว่าเมื่อทำการทดลองในช่วงแรกตู้ที่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในระบบจะมีการปนเปื้อนของไดอะตอมน้อยกว่าในตู้ที่ไม่ได้เติม แต่เมื่อทำการทดลองต่อไปกลับพบว่ามีการปนเปื้อนของสาหร่ายเซลล์เดียวชนิดอื่นซึ่งเป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวเกิดขึ้นแทนและมีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วทำให้น้ำในตู้มีสีเขียว สำหรับในตู้ทดลองที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้าไปพบว่าค่า pH มีค่าเป็นกลาง และมีการปนเปื้อนของไดอะตอมน้อยและยังคงพบการปนเปื้อนของสาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียวในน้ำเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ตู้ที่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์สาหร่ายมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้าไปอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนของสาหร่ายมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

จากผลการทดลองข้างต้น pH เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลมากต่อการปรับตัวทางสรีรวิทยาของสาหร่าย โดยการที่ pH สูงขึ้นมีส่วนทำให้อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนสูงขึ้น รวมไปถึงอัตราการหายใจของสาหร่ายด้วย แสดงว่าค่า pH ของน้ำมีส่วนในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆภายในเซลล์ของสาหร่าย ซึ่งอาจมีผลทำให้เซลล์สาหร่ายทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อค่า pH สูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการที่ค่า pH ของน้ำมีค่าลดต่ำลงก็มีผลทำให้กระบวนการต่างๆภายในเซลล์เปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกัน ในการทดลองครั้งนี้พบว่าชุดการทดลองที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้ค่า pH ของน้ำลดลงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมาก (ดังแสดงไว้ใน ภาคผนวก ง) นอกจากนี้ pH มีส่วนในการจำกัดการเติบโตของสาหร่ายบางชนิด กล่าวคือเมื่อ ค่า pH มีค่าต่ำลง จะไม่พบการปนเปื้อนของไดอะตอมเกิดขึ้นในระบบ แต่จะพบการปนเปื้อนของสาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียวเพิ่มขึ้นในระบบ นั่นแสดงให้เห็นว่า นอกจาก pH

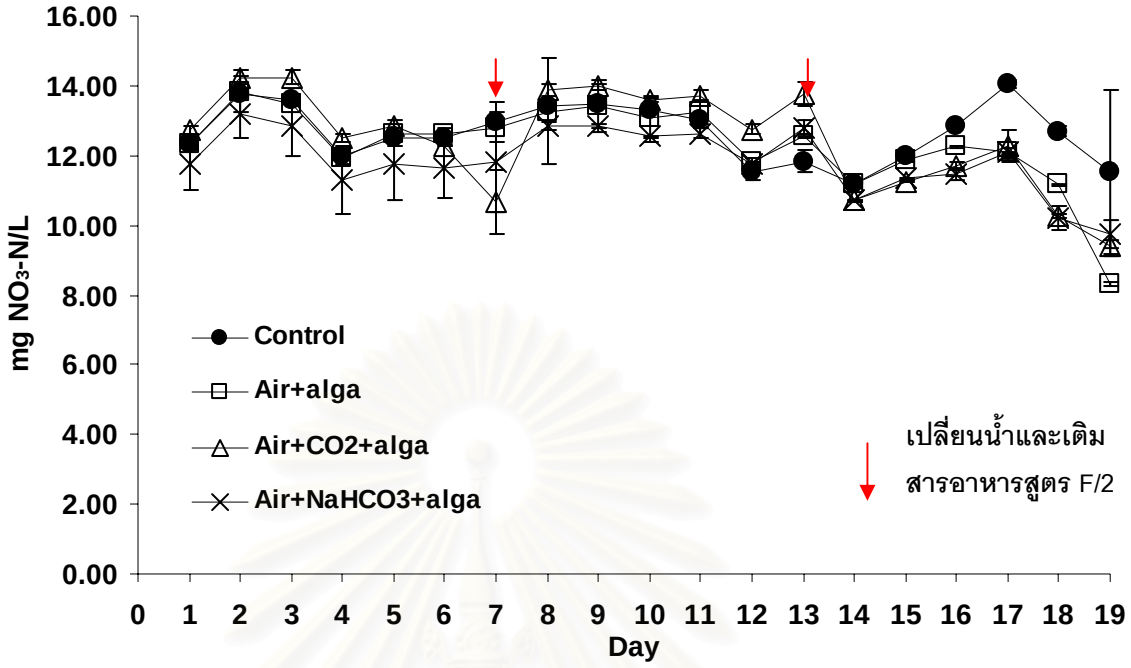
จะมีส่วนในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทยแล้ว ยังมีผลต่อการเติบโตของสาหร่ายชนิดอื่นที่อยู่ในน้ำอีกด้วย



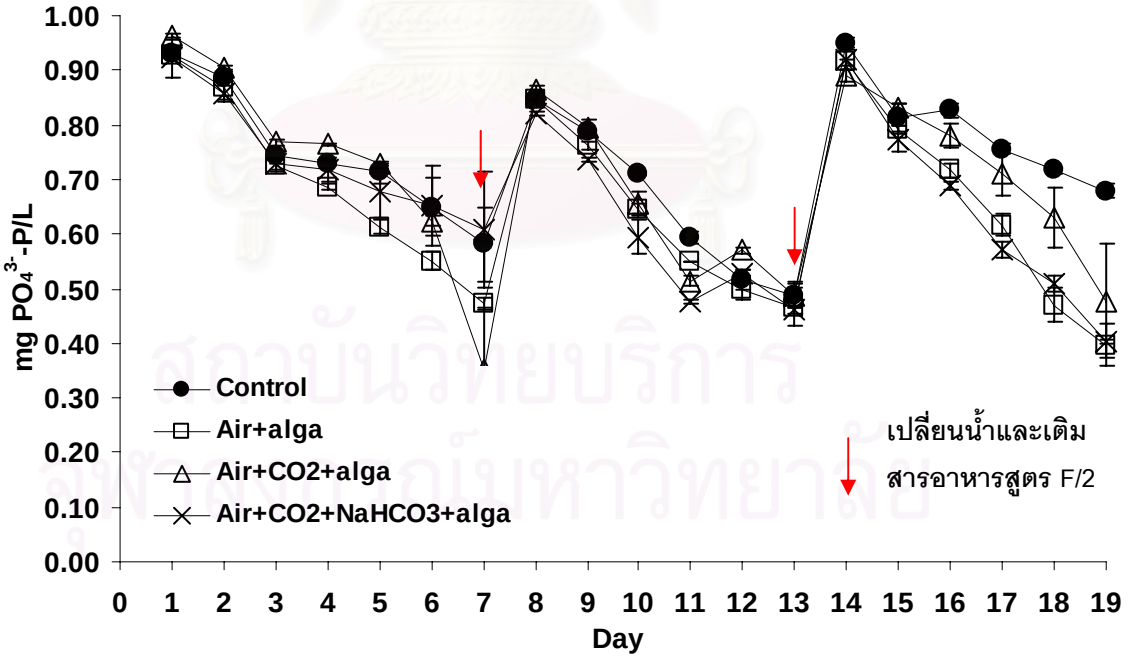
ภาพที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย



ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย



ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายซ่อพริกไทย



ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในชุดการทดลองผลการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายซ่อพริกไทย

ตารางที่ 4-1 อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนภายหลังจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และอัตราการหายใจของสาหร่ายช่อพริกไทยในแต่ละชุดการทดลอง

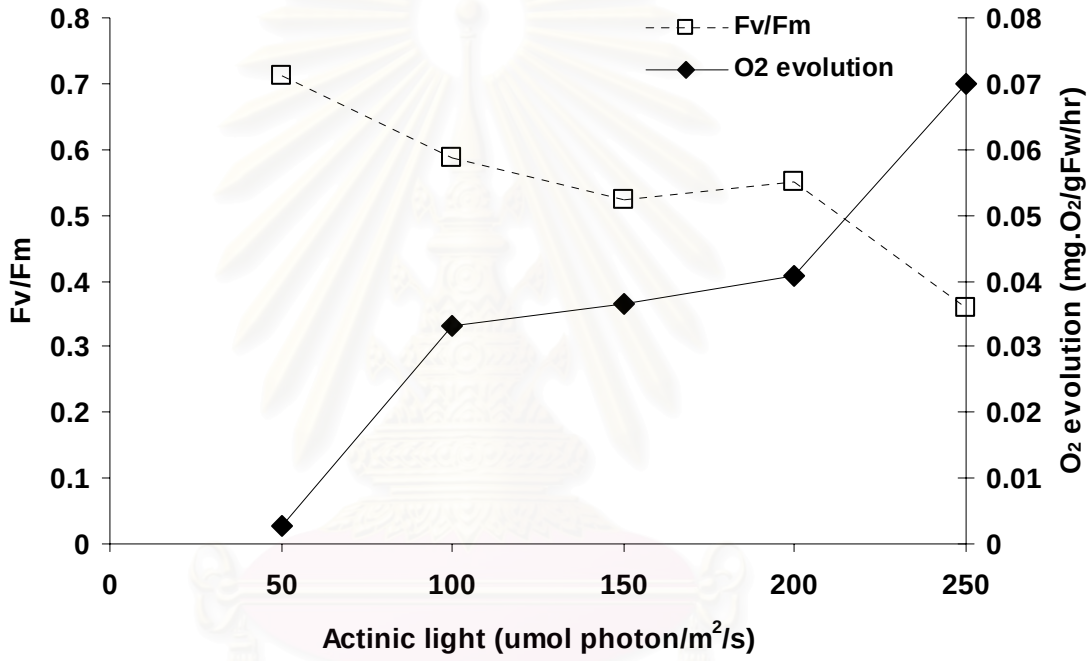
ชุดการทดลอง	ความเข้มแสง (lux)	อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณ O_2 (mgO_2/L/min)	อัตราการปลดปล่อยออกซิเจน / [อัตราการหายใจ](mgO_2/gFW/h)
ชุดการทดลองที่ 2 (ให้อากาศ +สาหร่าย)	0	- 0.042 (R^2=0.9603)	-0.089
	10,000	+ 0.032 (R^2=0.9328)	0.068
ชุดการทดลองที่ 3 (ให้อากาศ + CO_2+สาหร่าย)	0	-0.052 (R^2=0.9794)	-0.086
	10,000	+0.052 (R^2=0.9764)	0.074
ชุดการทดลองที่ 4 (ให้อากาศ + CO_2 + $NaHCO_3$+ สาหร่าย)	0	-0.047 (R^2=0.9936)	-0.127
	10,000	+0.037 (R^2=0.9962)	0.100

4.2 ผลการศึกษาผลของความเข้มแสงในห้องปฏิบัติการต่ออัตราการปลดปล่อยออกซิเจนและประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย

จากผลการศึกษาผลความเข้มแสงต่ออัตราการปลดปล่อยออกซิเจนและประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย ดังแสดงในภาพที่ 4-5 ชี้ให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มแสงจากระดับ 50 μmol-photon/m^2/s (ประมาณ 3,700 lux) ไปถึงระดับ 250 μmol-photon/m^2/s (ประมาณ 18,000 lux) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และลดลงต่ำกว่า 0.5 ที่ความเข้มแสงระดับ 250 μmol-photon/m^2/s ในขณะที่อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนเนื่องจากปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าการตอบสนองของสาหร่ายต่อความเข้มแสงที่

แสดงออกโดยการเปลี่ยนแปลงค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์สามารถใช้เป็นตัวชี้ที่มีความไวมากกว่าการตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยออกซิเจน ทั้งยังใช้ระยะเวลาการตรวจวัดน้อยกว่าการวัดออกซิเจน

การที่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายมีแนวโน้มลดลง เป็นผลจากปริมาณความเข้มแสงที่สูงมากเกินไปมีผลทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง (photoinhibition) โดยแสงจะไปทำลายรงควัตถุโดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ในส่วนศูนย์ปฏิกริยา (reaction centre) ในระบบสังเคราะห์แสงที่สอง (Photosystem II) เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการส่งถ่ายอิเลคตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง



ภาพที่ 4-5 อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทยเมื่อทำการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงจาก 50µmol-photon/m^2/s (3,700 lux) ไปเป็น 250 µmol-photon/m^2/s (18,000 lux)

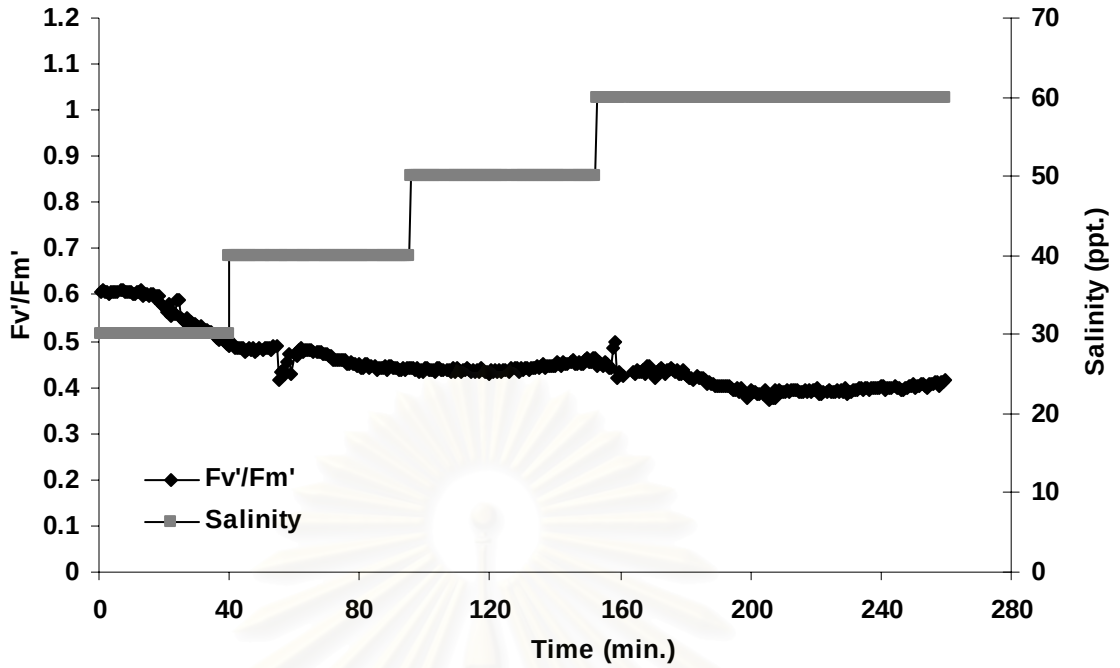
4.3 การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มโดยฉับพลันต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายซ่อพริกไทยในห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มโดยฉับพลันต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายซ่อพริกไทย แบ่งออกเป็นการทดลอง 2 ส่วน โดยในส่วนแรกทำการเพิ่มระดับความเค็มให้สูงขึ้นจากความเค็มปรกติ 30 ppt. ไปเป็น 40, 50 และ 60 ppt. ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มความเค็มมีผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลงอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าค่า Fv'/Fm' เริ่มต้นที่ความเค็ม 30 ppt อยู่ที่ประมาณ 0.6 มีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มความเค็มของน้ำเป็น 40 ppt ทำให้ค่า Fv'/Fm' อยู่ต่ำกว่า 0.5 และมีแนวโน้มลดต่ำลงอีกเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเค็มขึ้นเป็น 50 และ 60 ppt

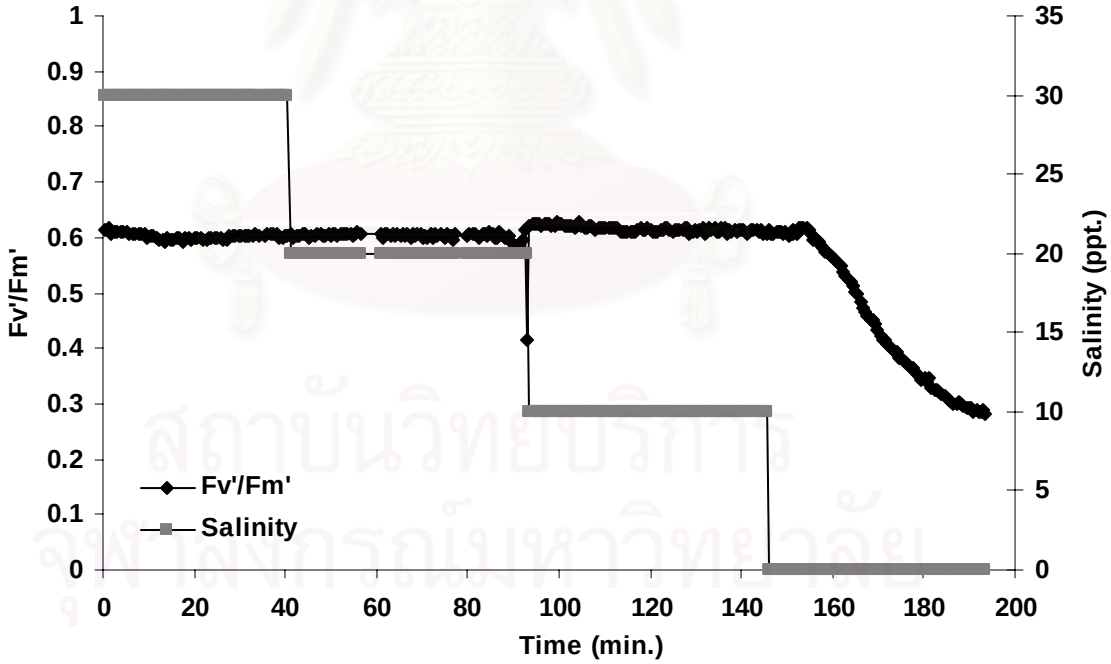
สำหรับผลการทดลองในส่วนที่สองเป็นการลดระดับความเค็มจาก 30 ppt. ไปเป็น 20, 10 และ 0 ppt. ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4-7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันจาก 30 จนถึง 10 ppt ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่จะตรวจวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่า Fv'/Fm' แต่การเปลี่ยนแปลงความเค็มจาก 10 เป็น 0 ppt มีผลกระทบอย่างมากต่อสาหร่ายซ่อพริกไทยในระยะเวลาอันสั้น โดยค่า Fv'/Fm' ลดลงจาก 0.6 เหลือ 0.3 ภายในระยะเวลาประมาณ 30 นาที

ผลจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายซ่อพริกไทยมีความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำอย่างฉับพลันได้ในช่วงที่แคบ และตอบสนองต่อการกล่าวคือสาหร่ายสามารถเติบโตได้ดีในน้ำที่มีระดับความเค็มระหว่าง 10-30 ppt ซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายสามารถมีการปรับตัวได้เป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-6 ผลของการเพิ่มความเค็มที่มีต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย

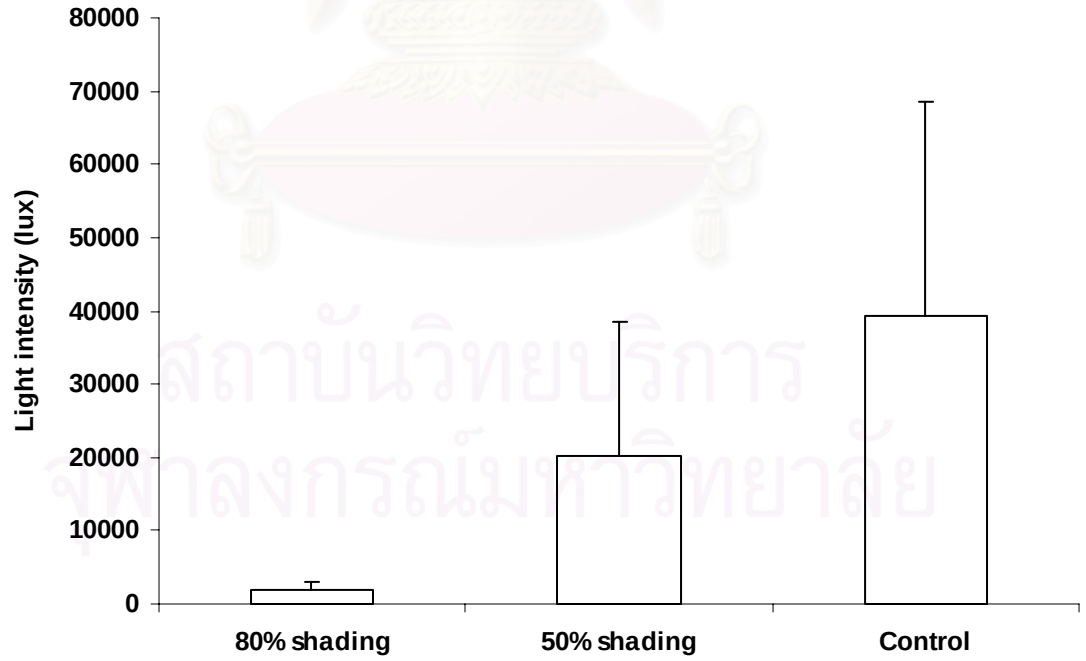


ภาพที่ 4-7 ผลของการลดความเค็มที่มีต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายช่อพริกไทย

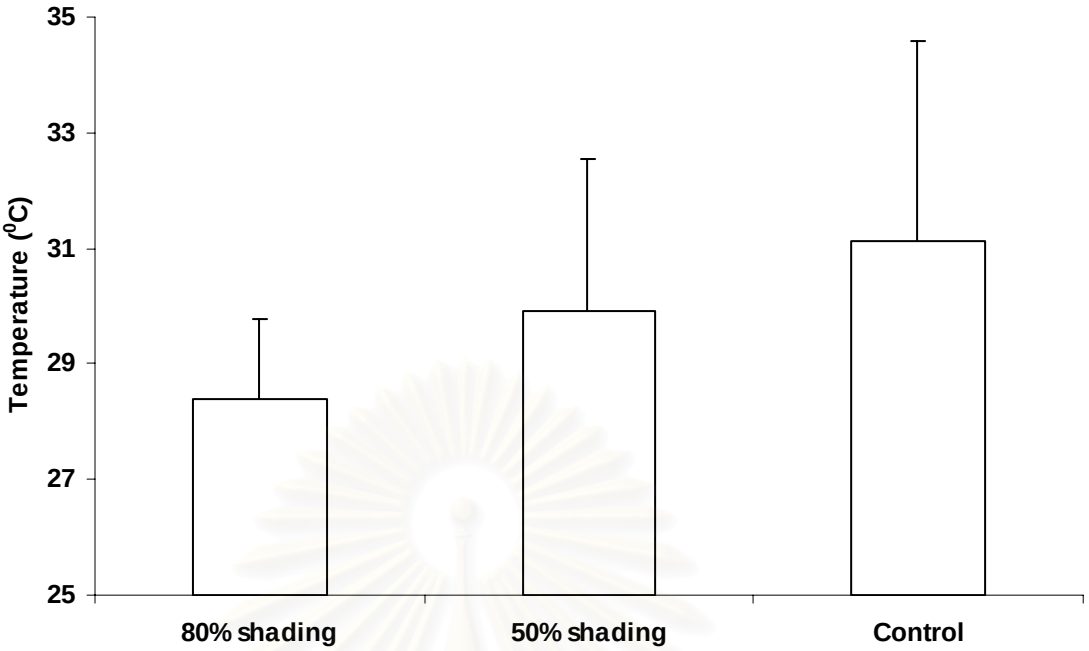
4.4 การศึกษาผลของความเข้มของแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายซ่อพริกไทยภายใต้ภาวะกลางแจ้ง

การศึกษาผลของความเข้มของแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายซ่อพริกไทย แบ่งการทดลองออกเป็น 2 รอบ มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

การทดลองในรอบที่ 1 ซึ่งเปรียบเทียบผลของการใช้ผ้าพลาสติกพรางแสงอาทิตย์ที่ระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับการไม่ใช้พลาสติกพรางแสงอาทิตย์นั้น พบว่าระดับความเข้มแสงอาทิตย์มีผลกระทบอย่างมากต่อสาหร่ายที่เลี้ยงในตู้ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง โดยพบว่าทัลลัสของสาหร่ายซ่อพริกไทยจะเปื่อยยุ่ยและตายในที่สุด ทำให้การศึกษาอัตราการลดของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทำไม่ได้ จากการตรวจวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิของน้ำในภาพที่ 4-8 และ 4-9 พบว่าน้ำในตู้เลี้ยงสาหร่ายที่มีการพรางแสง จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตู้ที่ได้รับแสงโดยตรง ดังนั้นผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสาหร่ายจากการได้รับแสงมากเกินไป จึงไม่ได้เป็นเพียงผลของแสงแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำที่สูงถึงประมาณ 36°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้สาหร่ายเกิดสภาพเครียดและส่งผลต่อสภาพเซลล์ของสาหร่ายอีกด้วย



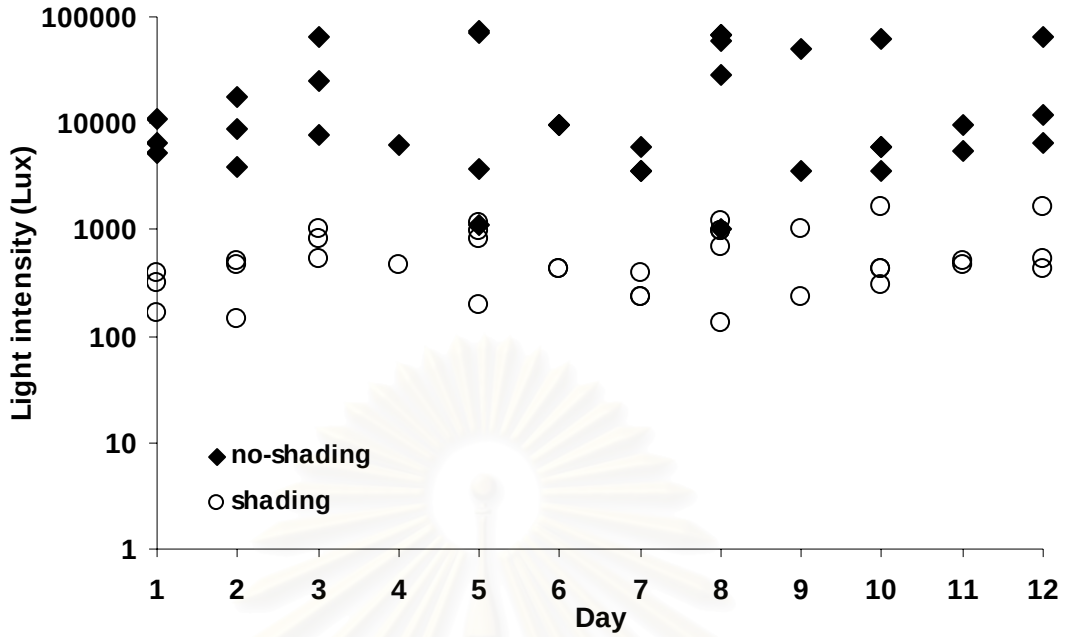
ภาพที่ 4-8 ปริมาณความเข้มแสงที่แตกต่างกันในแต่ละตู้การทดลอง เปรียบเทียบระหว่างชุดที่มีการพรางแสงอาทิตย์ลงด้วยพลาสติก 80 เปอร์เซ็นต์ พรางได้ 50 เปอร์เซ็นต์ และตู้ที่ไม่มีการพรางแสงอาทิตย์



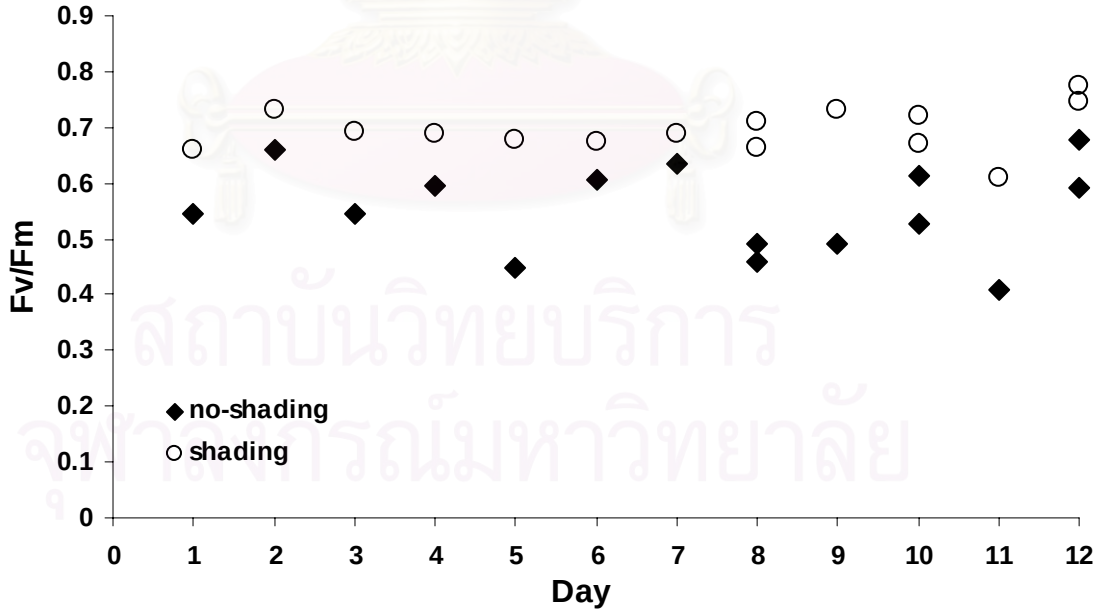
ภาพที่ 4-9 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ในระหว่างการทดลองในแต่ละตู้การทดลอง

จากผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงได้ปรับเปลี่ยนวิธีการทดลองในรอบที่สอง เพื่อตรวจสอบผลของแสงต่อสาหร่ายโดยการทำให้อุณหภูมิของน้ำเท่ากันทั้งในสาหร่ายที่ได้รับแสงโดยตรงและสาหร่ายที่ได้รับการพรางแสง โดยทำการทดลองในตู้กระจกที่มีการแบ่งสาหร่ายในตู้เป็นสองฝั่ง โดยข้างหนึ่งได้รับแสงโดยตรง และอีกข้างหนึ่งอยู่ภายใต้พลาสติกพรางแสง แต่สาหร่ายทั้งสองส่วนจะอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากันเพราะอยู่ภายในตู้เดียวกัน (ภาพที่ 3-7)

ผลการทดลองในรอบที่สอง พบว่าความเข้มแสงของตู้ฝั่งที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงจะอยู่ระหว่าง 1,100-72,000 lux ในขณะที่ตู้ฝั่งที่มีการพรางแสงจะได้รับแสงในระหว่าง 140-1,700 lux (ภาพที่ 4-10) ด้วยความแตกต่างของความเข้มแสงดังกล่าว ส่งผลให้สาหร่ายซ่อพริกไทยที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดต่ำลงกว่าสาหร่ายที่ได้รับการพรางแสงอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 4-11) โดยค่า Fv/Fm เปลี่ยนแปลงลดลงจนต่ำกว่า0.5 ซึ่งเป็นภาวะที่ระบบสังเคราะห์แสงถูกทำลาย ในขณะที่สาหร่ายที่ได้รับการพรางแสงมีค่า Fv/Fm สูงกว่า 0.7 ซึ่งแสดงว่าระบบการสังเคราะห์แสงอยู่ในสภาพที่ดีและสาหร่ายอยู่ในภาวะที่ไม่มีความเครียด (stress) เนื่องจากสภาพแวดล้อม



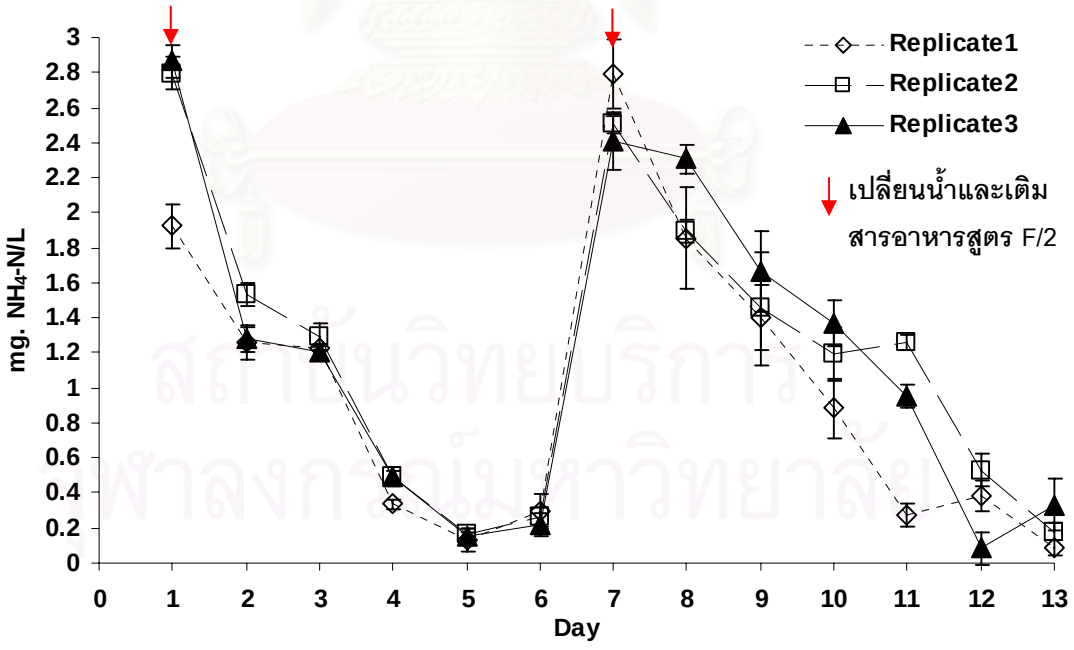
ภาพที่ 4-10 ความเข้มแสงที่ส่องลงในตู้เลี้ยงสาหร่าย ทั้งในตู้ฝั่งที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง (no-shading) และในตู้ฝั่งที่ได้รับการพรางแสง (shading) ตลอดระยะเวลาการทดลอง



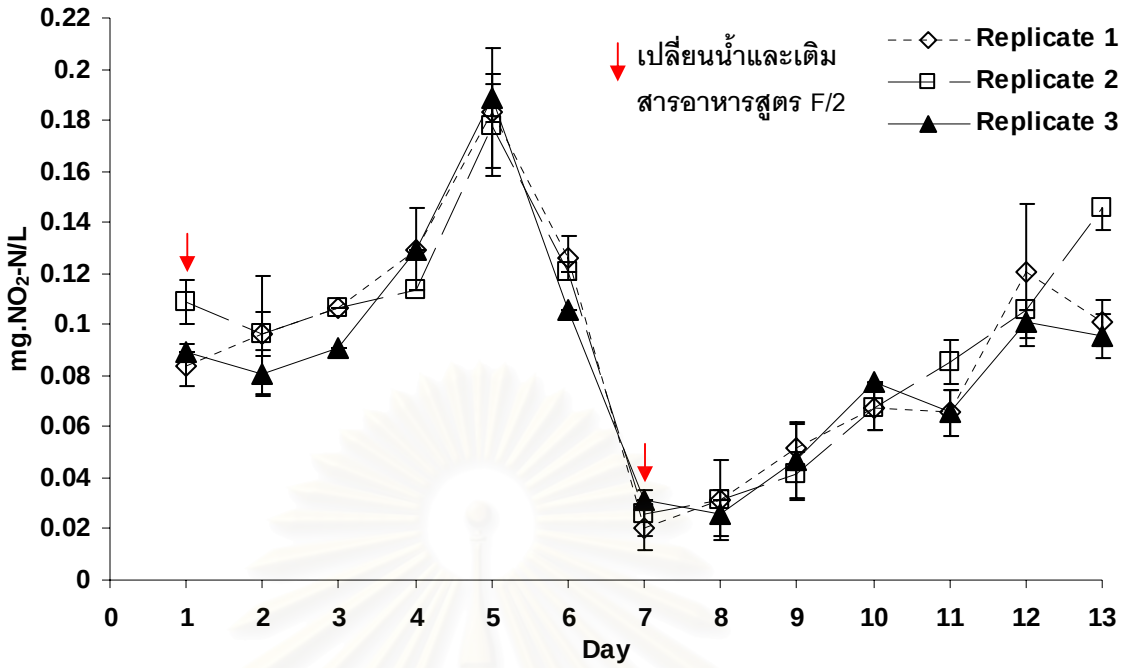
ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายซ่อพริกไทยในตู้ฝั่งที่ได้รับแสงโดยตรง (no-shading) และฝั่งที่ได้รับการพรางแสง (shading)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

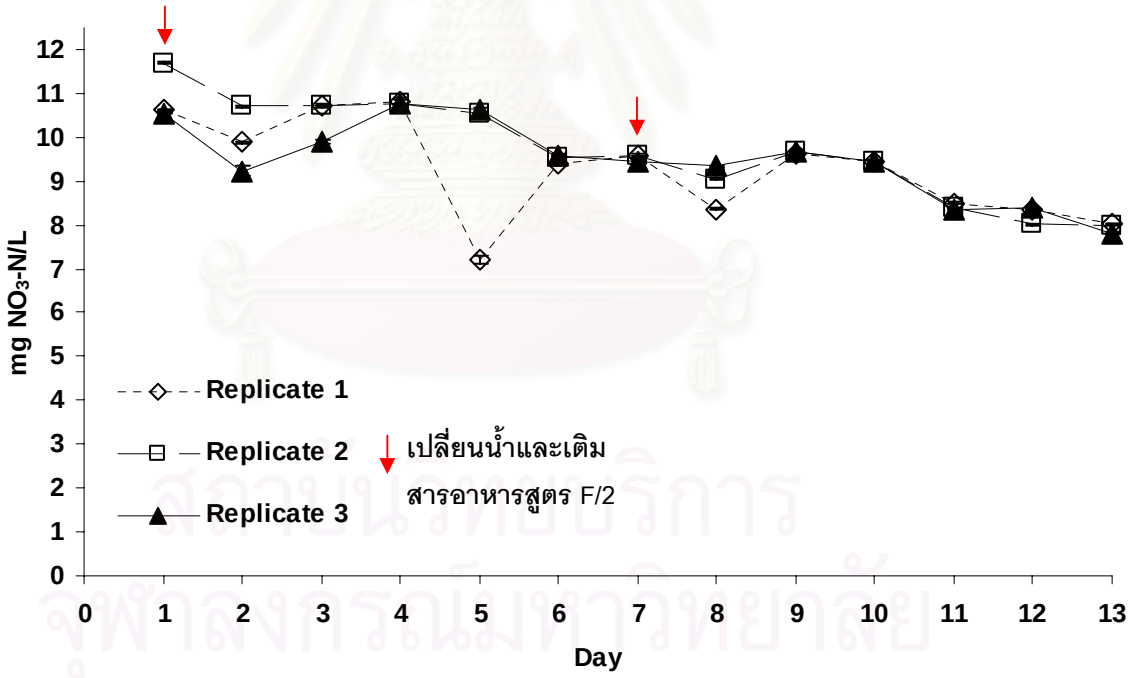
ในการทดลองนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณสารอาหารแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำ พบว่าปริมาณแอมโมเนียที่เติมลงไปมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดทั้งในช่วงแรกระหว่างวันที่ 1-6 และเมื่อมีการเติมแอมโมเนียเพิ่มในน้ำในวันที่ 7 ก็พบการลดลงของแอมโมเนียในช่วงที่สองระหว่างวันที่ 7-13 ในลักษณะเดียวกัน (ภาพที่ 4-12) เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของแอมโมเนียในน้ำกับปริมาณไนไตรท์ (ภาพที่ 4-13) และไนเตรท (ภาพที่ 4-14) จะเห็นได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนไตรท์ แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้นในระบบทดลอง แต่ปริมาณไนเตรท์รวมที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าปริมาณแอมโมเนียที่เติมลงในน้ำ ส่วนปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าสาหร่ายในน้ำมีการนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่ฟอสเฟตในน้ำก็มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเช่นกัน ทั้งนี้ปริมาณสาหร่ายที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำที่อยู่ในตู้ทดลอง จึงทำให้เห็นผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก และที่จะต้องกล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ก็คือผลการตรวจวัดปริมาณสารอาหารในน้ำของการทดลองนี้เป็นเพียงการแสดงว่าสาหร่ายมีการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ โดยเป็นผลที่เกิดมาจากสาหร่ายทั้งที่อยู่ในตู้ฝั่งที่ได้รับแสงโดยตรงรวมกับสาหร่ายในตู้ฝั่งที่ได้รับการพรางแสง กล่าวคือวัตถุประสงค์หลักต้องการจะศึกษาถึงผลของแสงต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายเป็นสำคัญ



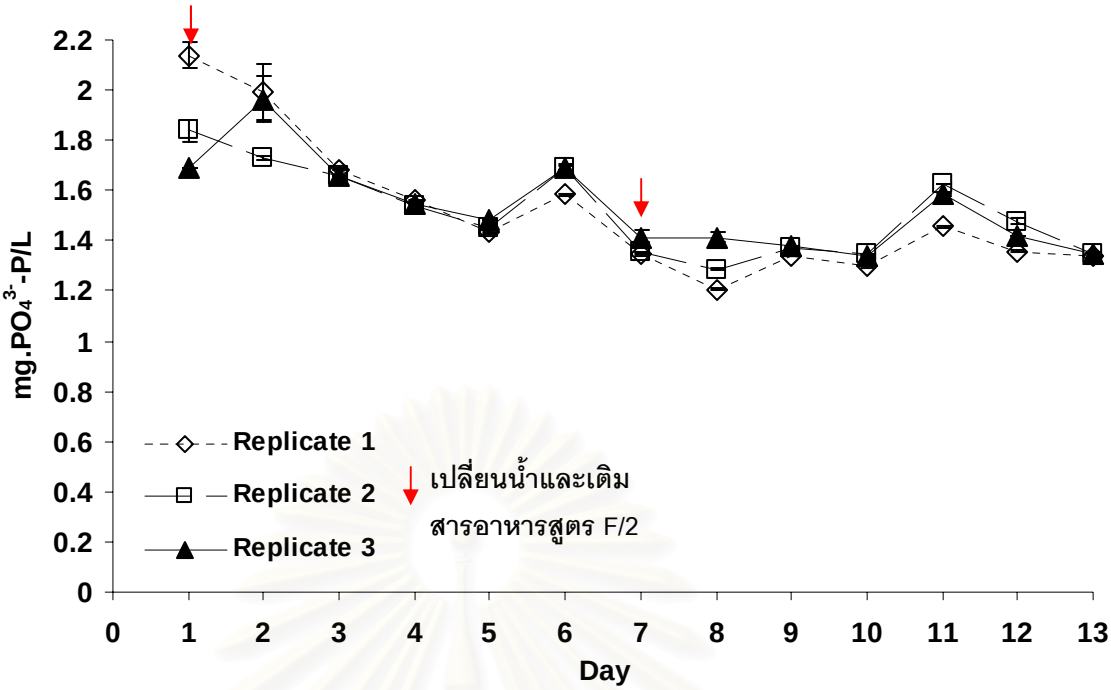
ภาพที่ 4-12 ปริมาณแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละตู้ทดลอง



ภาพที่ 4-13 ปริมาณไนไตรท์ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละตู้ทดลอง



ภาพที่ 4-14 ปริมาณไนเตรทที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละตู้ทดลอง



ภาพที่ 4-15 ปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละตู้ทดลอง

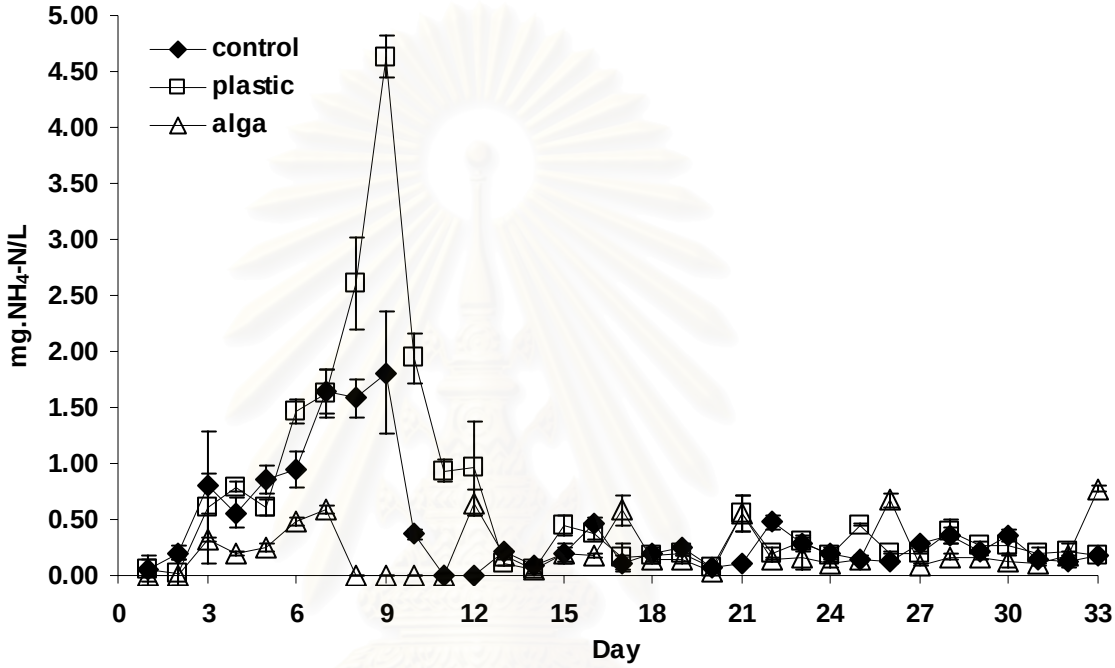
4.5 ผลการศึกษาการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิล

การศึกษาการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้เลือกใช้ปลานิลเป็นสัตว์ทดลองเนื่องจากเป็นสัตว์เศรษฐกิจสามารถหาได้ง่าย ราคาถูก เลี้ยงง่าย และยังมีความทนทานต่อความเค็มได้ดี โดยผลจากการทดลองทั้ง 3 ส่วนมีดังนี้

4.5.1 การทดสอบประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำ

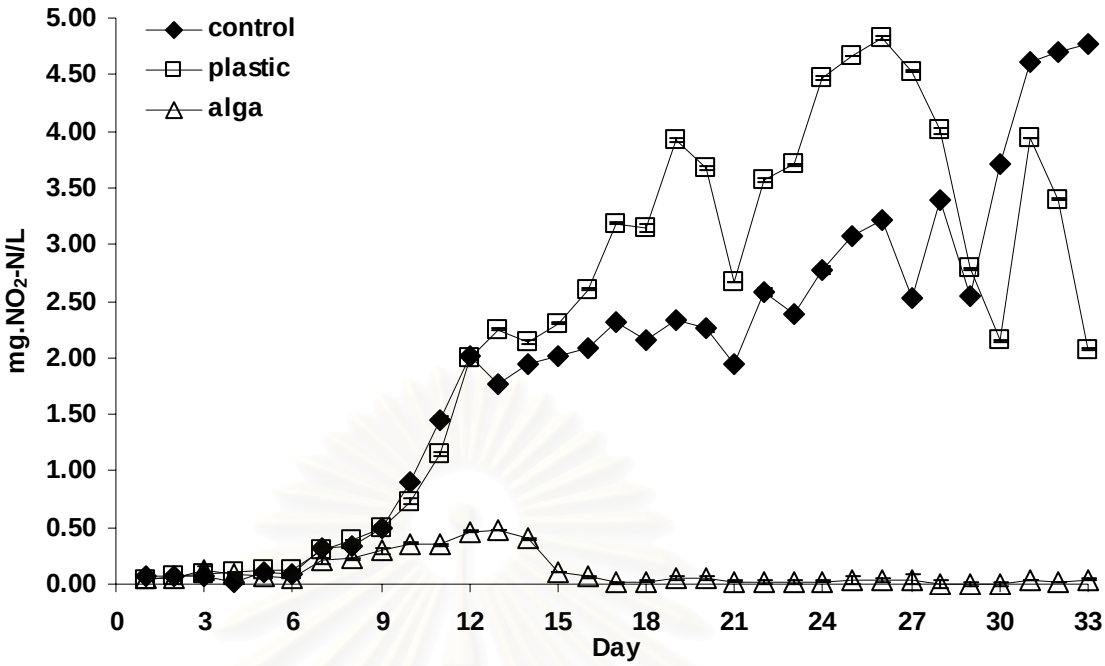
การทดลองส่วนนี้ทำในตู้กระจกที่มีการหมุนเวียนน้ำไปมาระหว่างตู้เลี้ยงปลาและตู้ส่วนบำบัดด้วยสาหร่าย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตู้ส่วนบำบัดที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก และชุดควบคุมที่เป็นตู้เปล่า ผลการทดลองดังภาพที่ 4-16 ถึง ภาพที่ 4-19 พบว่าตู้ปลาที่ต่อกับระบบบำบัดด้วยสาหร่ายมีปริมาณแอมโมเนียม ไนไตรท์ และไนเตรทในน้ำต่ำที่สุด ตลอดระยะเวลาการทดลอง ในขณะที่ตู้ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติกและชุดควบคุมที่ไม่มีตัวบำบัดมีปริมาณแอมโมเนียสูงขึ้นเรื่อยๆ ในระยะ 9 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นแอมโมเนียจะลดลงและพบการสะสมของไนไตรท์ขึ้นมาแทน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นรูปแบบของการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน แต่ปฏิกริยาดังกล่าวไม่สมบูรณ์ ทำให้การสะสมของไนไตรท์โดย

มีเพียงส่วนน้อยที่เปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเตรท ซึ่งหลังจากวันที่ 24 เป็นต้นไป ระบบชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติกเริ่มมีประสิทธิภาพการบำบัดดีขึ้นตามระยะเวลาการพักตัวของแบคทีเรีย จึงพบว่าปริมาณไนเตรทเพิ่มสูงขึ้นในช่วงท้ายของการทดลอง ผลการตรวจวัดอุณหภูมิและความเข้มแสงในระหว่างการทดลองนี้ พบว่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 24-30°C และมีความเข้มแสงในตู้สาหร่ายอยู่ระหว่าง 510-9,700 lux



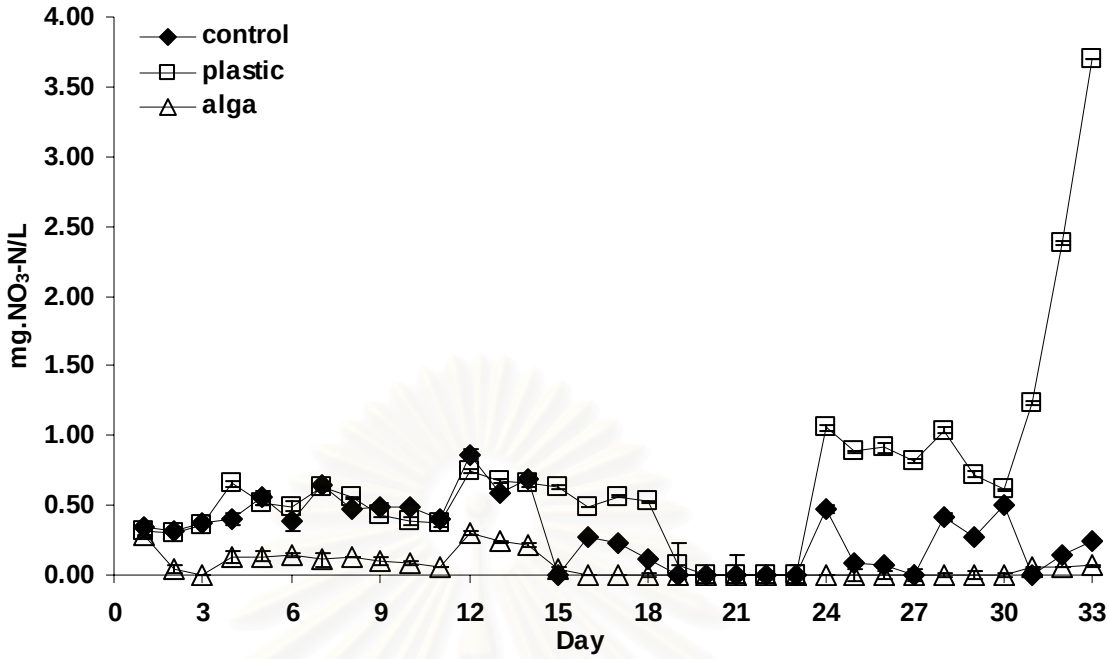
ภาพที่ 4-16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุมที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย (alga)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุมที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย (alga)

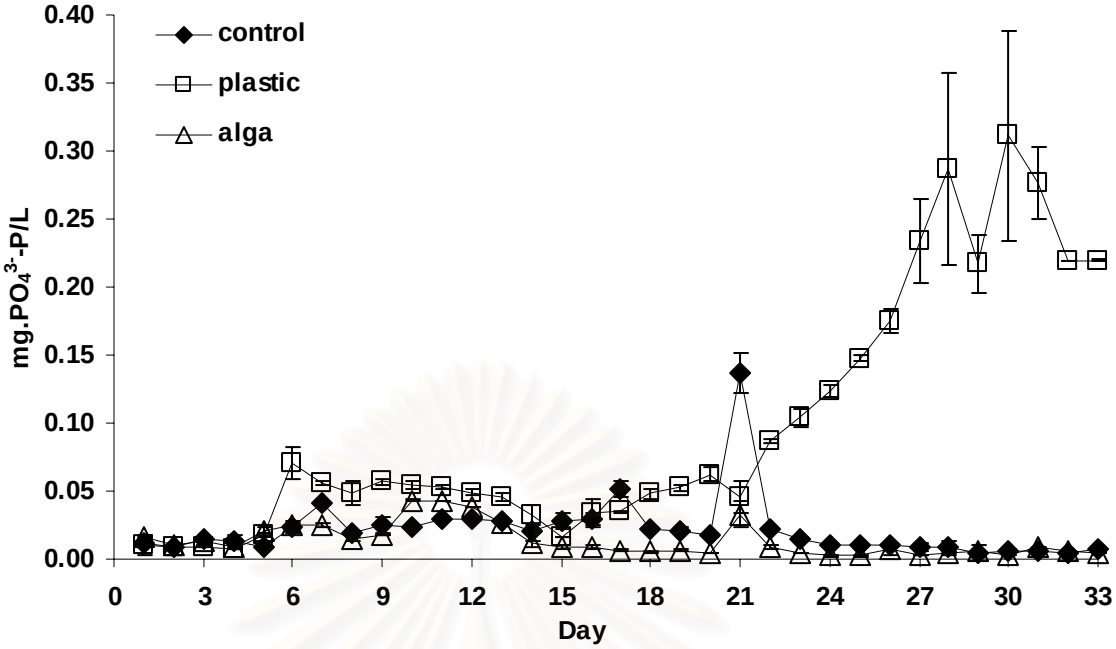
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุมที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย (alga)

ในส่วนของปริมาณฟอสเฟตในน้ำ ผลการทดลองในภาพที่ 4-19 พบว่าชุดการทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทยในถังบำบัด มีปริมาณฟอสเฟตในน้ำต่ำที่สุด ในขณะที่พบการสะสมของฟอสเฟตในชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก แต่ปริมาณของฟอสเฟตในน้ำของทุกชุดการทดลองก็มีความเข้มข้นไม่สูงนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตของการทดลองเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำจากตู้ปลาเข้าสู่ตู้บำบัด โดยตู้บำบัดประกอบด้วยชุดควบคุมที่เป็นตู้เปล่า (control) ชุดควบคุมที่มีตาข่ายพลาสติก (plastic) และชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย (alga)

ผลของการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า สาหร่ายช่อพริกไทยสามารถดูดซับสารอาหารไนโตรเจนที่เกิดจากการเลี้ยงปลาไว้ได้เกือบทั้งหมด ช่วยให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาอยู่ในสภาพดี เมื่อเปรียบเทียบผลของอัตรารอดของปลาและการเติบโตของปลาและสาหร่ายในตารางที่ 4-2 และ 4-3 จะเห็นได้ว่าสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถนำมาใช้ควบคุมคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การพบไนไตรท์ในตู้บำบัดที่มีสาหร่ายระหว่างวันที่ 6-15 แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันขึ้นในระบบบำบัดสาหร่ายด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นกิจกรรมของแบคทีเรียที่ติดมากับผิวทัลลัสของสาหร่ายและแบคทีเรียที่มีอยู่ตามผิวตู้กระจกและที่อยู่น้ำตามธรรมชาติ แต่การบำบัดที่เกิดจากปฏิกริยาไนตริฟิเคชันก็ยังมีส่วนน้อยเมื่อเทียบกับการบำบัดที่เกิดจากการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย

ตาราง 4-2 อัตราการเติบโตของปลาและสาหร่ายในชุดการทดลอง 3.6.1

ชุดการทดลอง	น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)	อัตราการรอด (%)	อาหารปลาที่ใช้ทั้งหมด (กรัม)	น้ำหนักสาหร่ายเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)
ชุดควบคุม (ไม่มีสาหร่าย)	16.2	21.9	20	21.05	-	-
ชุดควบคุม (มีตาข่ายพลาสติก)	16.2	17.0	20	23.14	-	-
ชุดทดลอง (มีสาหร่ายช่อพริกไทย)	18.3	46.7	60	30.33	150.43	716.95

ตารางที่ 4-3 อัตราการรอดของปลานิลในการชุดทดลอง 3.6.1

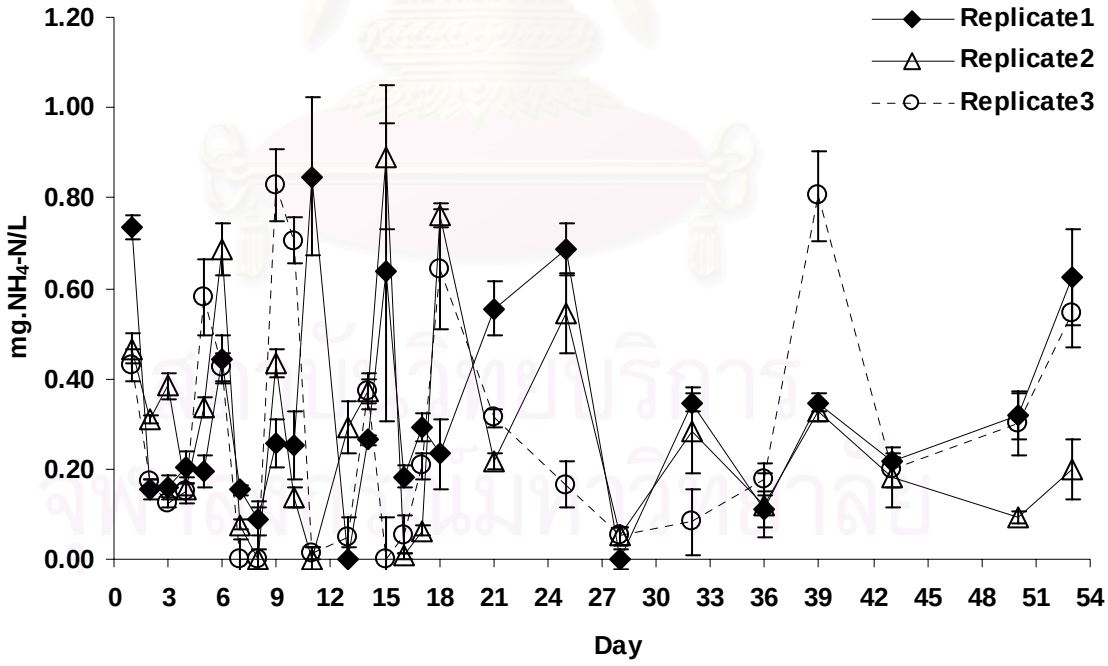
ชุดการทดลอง	จำนวนปลานิลเริ่มต้น (ตัว)	จำนวนปลานิลที่ตายระหว่างการทดลอง (ตัว)	จำนวนปลานิลที่เหลือ (ตัว)	อัตราการรอดของปลานิลภายหลังการทดลอง (%)
ชุดควบคุม (ไม่มีสาหร่าย)	5	4	1	20
ชุดควบคุม (มีตาข่ายพลาสติก)	5	4	1	20
ชุดทดลอง (มีสาหร่ายช่อพริกไทย)	5	2	3	60

4.5.2 การประเมินประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดน้ำจากตู้เลี้ยงปลานิล

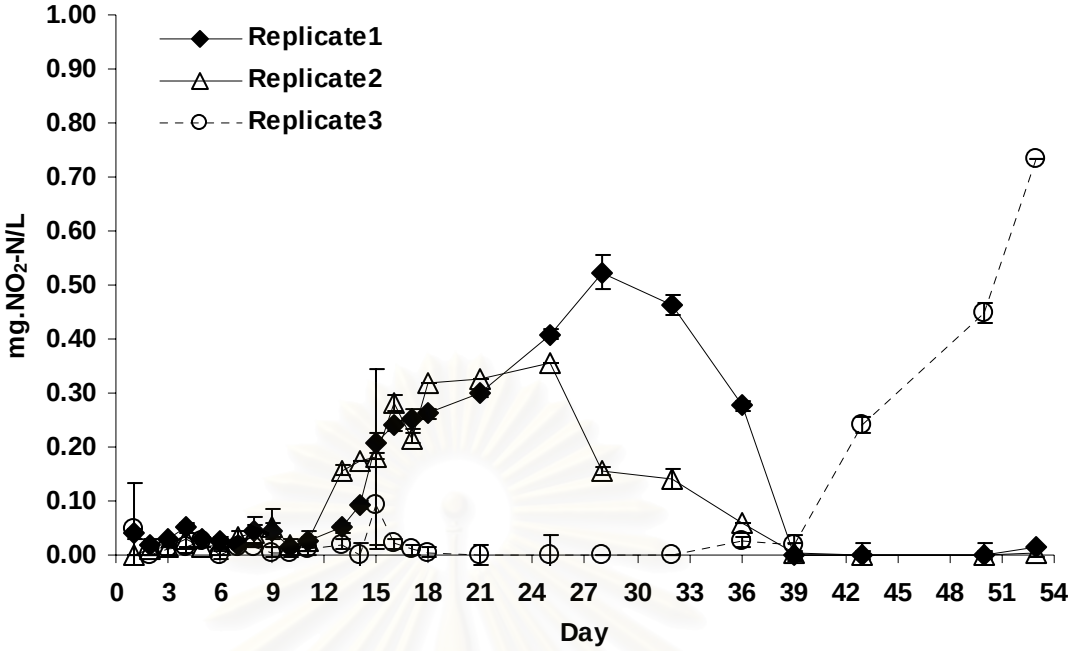
การทดลองนี้ดำเนินการคล้ายกับในข้อ 4.5.1 แต่จะใส่สาหร่ายช่อพริกไทยในตู้ส่วนบำบัดทั้งสามตู้ และศึกษาสมดุลไนโตรเจนในระบบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำ ผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 4-20 พบว่าปริมาณแอมโมเนียมในน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา แต่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก คือไม่เกิน 1 mg.NH_4-N/L ซึ่งเป็นระดับของแอมโมเนียที่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในขณะที่ปริมาณไนไตรท์ในแต่ละตู้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยในตู้ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีการสะสมของไนไตรท์มากกว่าในตู้ที่ 1 ทั้งนี้เนื่องมาจากในการทดลองนี้จะมีการให้อาหารแปรผันตามจำนวนและน้ำหนักของปลาในแต่ละตู้ ส่งผลให้คุณภาพน้ำมี

ความแตกต่างกันได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไนไตรท์ในทั้ง 3 ตู้ก็ยังอยู่ในระดับที่ไม่เกิน 0.5 mg-N/L

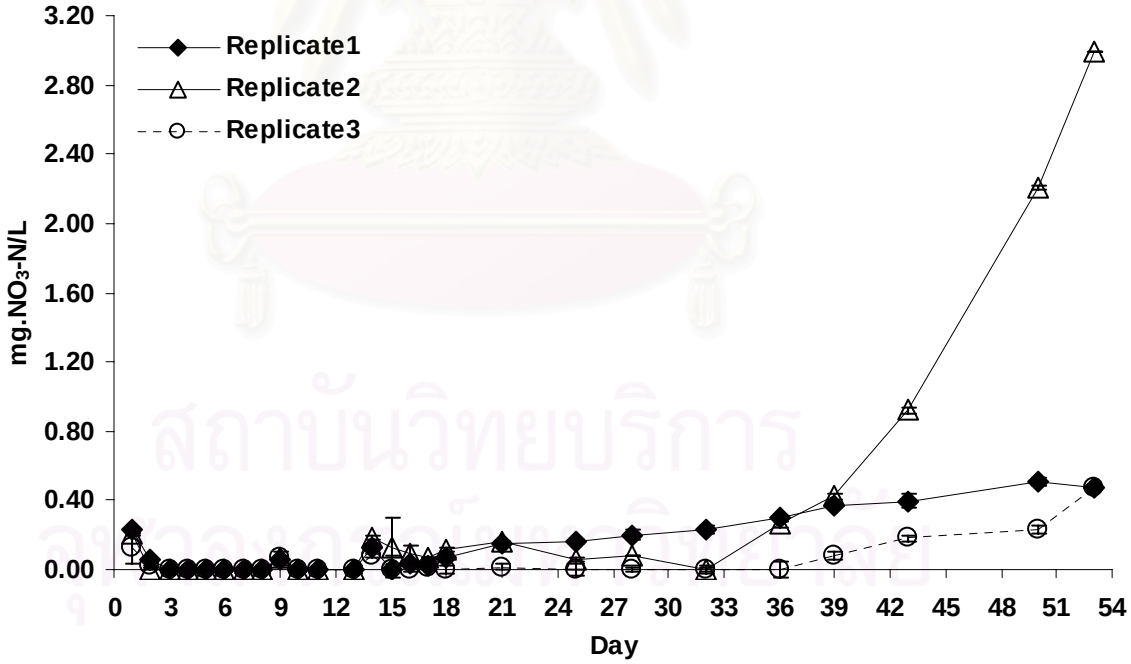
ในการทดลองนี้มีการสะสมของไนเตรทน้อย เป็นเพราะไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียส่วนใหญ่ถูกสาหร่ายนำเข้าสู่เซลล์เพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในตู้ทดลองที่ 2 จะพบการสะสมของไนเตรทในช่วงท้ายของการทดลอง ซึ่งการสะสมของไนเตรทชี้ให้เห็นว่าในตู้ที่ 2 มีกิจกรรมของแบคทีเรียในกลุ่ม nitrifying ที่ทำการเปลี่ยนสารอาหารไนโตรเจนในรูปของไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทมากกว่าตู้อื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสาหร่ายในตู้ที่ 2 มีประสิทธิภาพการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้น้อยกว่าตู้ที่ 1 และ 3 ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่น่าจะเป็นเหตุผลอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวก็คือลักษณะของตู้บำบัดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นตู้พลาสติกใสเพียงตู้เดียวแต่ติดตั้งผนังกั้นแบ่งออกเป็นสามช่อง ดังนั้นตู้ช่องที่ 2 ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างกลางของตู้ที่ 1 และ 3 จึงมีพื้นที่ในการรับแสงน้อยกว่า แม้จะมีพื้นที่ผิวด้านบนเท่ากัน แต่ตู้ที่ 1 และ 3 จะได้รับแสงจากด้านข้างด้วยทำให้มีประสิทธิภาพในการรับแสงดีกว่า จากผลดังกล่าวทำให้พบว่าปริมาณฟอสเฟตในตู้ที่ 2 ก็จะมีค่าสูงกว่าในตู้ที่ 1 และ 3 ด้วยเช่นกัน สำหรับผลการตรวจวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิในระหว่างการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-4



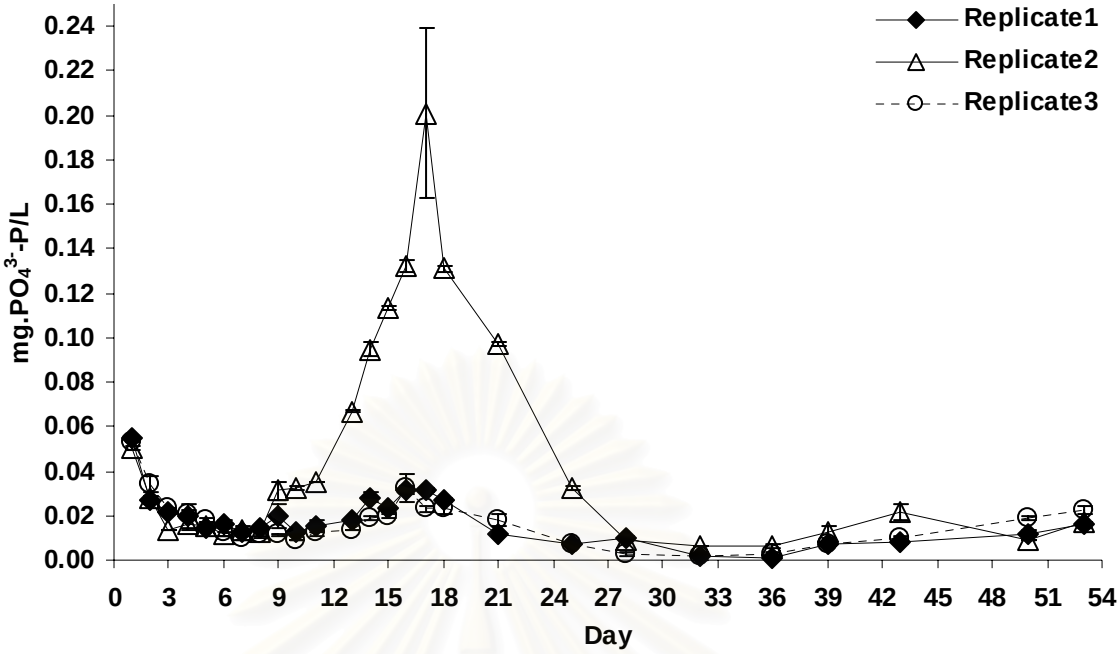
ภาพที่ 4-20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด



ภาพที่ 4-21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด



ภาพที่ 4-22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด



ภาพที่ 4-23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในชุดทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยใส่ในตู้ส่วนบำบัด

ตาราง 4-4 ความเข้มแสงและอุณหภูมิในระหว่างการทดลองในหัวข้อ 3.5.2

ชุดทดลอง	ความเข้มแสงเฉลี่ยที่วัดได้ในเวลากลางวัน (lux)	อุณหภูมิเฉลี่ย (^{o}C)
ตู้ที่ 1	230-11,300	28.3
ตู้ที่ 2	230-11,370	28.3
ตู้ที่ 3	210-11,070	28.2

ผลการศึกษาถึงสมดุลไนโตรเจนภายในระบบเลี้ยงปลาเพื่อการประเมินปริมาณไนโตรเจนที่สาหร่ายกำจัดออกจากน้ำ แสดงในตาราง 4-5 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของไนโตรเจนส่วนใหญ่ที่เข้าสู่ระบบทดลองมาจากอาหารปลาคิดเป็น 77-83% ของไนโตรเจนทั้งหมด แต่เมื่อคำนวณในวันสุดท้ายของการทดลองจะพบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่จะเข้ามาอยู่ในสาหร่าย คิดเป็น 33-39% ของไนโตรเจนทั้งหมดในระบบ ซึ่งเมื่อหักลบจากไนโตรเจนเริ่มต้นที่มีอยู่ในเซลล์สาหร่ายก่อนเริ่มทดลอง จะพบว่าสาหร่ายสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ประมาณ 25% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ และมีไนโตรเจนเพียง 1.8-5% ที่ยังคงอยู่ในน้ำในตู้ปลา แต่ก็มีไนโตรเจนที่ไม่สามารถตรวจสอบได้อยู่ประมาณ

29-35% ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยในน้ำ ไนโตรเจนอินทรีย์ในน้ำ น้ำที่หกออกจากถังทดลองโดยไม่ได้ตั้งใจ และมีบางส่วนที่ระเหยสูญหายออกจากระบบ

ตารางที่ 4-5 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของตู้ที่ 1

ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าในตู้ทดลองซ้ำที่ 1					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง ปราศจากความชื้น(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อตู้	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน เทียบกับทั้งระบบ
อาหารปลานิล	-	23.71	5.59	1.33	77.25
สาหร่าย	200	8.19	1.99	0.24	13.96
น้ำ	-	-	-	0.05	2.93
ปลานิล	6.06	1.25	8	0.100	5.81
ผลรวมไนโตรเจนขาเข้า				1.72	

ตารางที่ 4-6 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสิ้นสุดการทดลองของตู้ที่ 1

ปริมาณไนโตรเจนขาออกในตู้ทดลองซ้ำที่ 1					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง ปราศจากความชื้น(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อตู้	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน เทียบกับทั้งระบบ
สาหร่าย	827.28	34.41	1.99	0.68	39.79
น้ำ	-	-	-	0.06	3.26
ปลานิล	18.97	3.91	8.00	0.31	18.21
ปลานิลที่ตาย ระหว่างการทดลอง	4.2	0.87	8.00	0.07	4.03
อื่นๆ	-	-	-	0.60	34.72
ผลรวมไนโตรเจนขาออก				1.72	

ตารางที่ 4-7 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของตู้ที่ 2

ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าในตู้ทดลองซ้ำที่ 2					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง ปราศจากความชื้น(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อตู้	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน เทียบกับทั้งระบบ
อาหารปลานิล	-	26.33	5.59	1.47	83.18
สาหร่าย	199.18	8.11	1.99	0.16	9.09
น้ำ	-	-	-	0.03	1.89
ปลานิล	6.23	1.28	8.00	0.10	5.80
ผลรวมไนโตรเจนขาเข้า				1.77	

ตารางที่ 4-8 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสิ้นสุดการทดลองของตู้ที่ 2

ปริมาณไนโตรเจนขาออกในตู้ทดลองซ้ำที่ 2					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง ปราศจากความชื้น(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อตู้	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน เทียบกับทั้งระบบ
สาหร่าย	827.28	34.41	1.99	0.68	39.79
น้ำ	-	-	-	0.06	3.26
ปลานิล	18.97	3.91	8.00	0.31	18.21
ปลานิลที่ตาย ระหว่างการทดลอง	4.2	0.87	8.00	0.07	4.03
อื่นๆ	-	-	-	0.65	34.72
ผลรวมไนโตรเจนขาออก				1.77	

ตารางที่ 4-9 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของตู้ที่ 3

ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าในตู้ทดลองซ้ำที่ 3					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง ปราศจากความชื้น(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อตู้	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน เทียบกับทั้งระบบ
อาหารปลานิล	-	25.10	5.59	1.40	82.39
สาหร่าย	199.91	8.40	1.99	0.17	9.79
น้ำ	-	-	-	0.03	1.78
ปลานิล	6.23	1.28	8.00	0.10	6.03
ผลรวมไนโตรเจนขาเข้า				1.70	

ตารางที่ 4-10 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสิ้นสุดการทดลองของตู้ที่ 3

ปริมาณไนโตรเจนขาออกในตู้ทดลองซ้ำที่ 3					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง ปราศจากความชื้น(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อตู้	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน เทียบกับทั้งระบบ
สาหร่าย	673.33	28.30	1.99	0.56	32.96
น้ำ	-	-	-	0.09	5.13
ปลานิล	13	2.68	8.00	0.21	12.58
ปลานิลที่ตาย ระหว่างการทดลอง	14.37	2.96	8.00	0.24	13.89
อื่นๆ	-	-	-	0.60	35.44
ผลรวมไนโตรเจนขาออก				1.70	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3 การเลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทย

ผลการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในกระชังขนาด 34x34x34 เซนติเมตร วางในถังเลี้ยงปลาขนาด 82x152x50 เซนติเมตร โดยเลี้ยงปลานิลขนาดเฉลี่ย 0.90 กรัม จำนวน 20 ตัว เปรียบเทียบกับถังที่มีแต่กระชังเปล่าไม่มีสาหร่าย ผลการทดลองพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียในช่วงระหว่างวันที่ 0-20 ในถังทดลองทั้งสองถัง หลังจากวันที่ 20 พบว่าปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลงมาอยู่ในช่วง 0.2-0.7 mg-N/L โดยที่ปริมาณแอมโมเนียในถังชุดทดลองจะต่ำกว่าในถังชุดควบคุม (ภาพที่ 4-24) แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ไนไตรท์ในภาพที่ 4-25 พบว่าในถังชุดทดลองที่มีสาหร่ายมีการสะสมไนไตรท์ปริมาณสูงมาก โดยเฉพาะในวันที่ 42 พบว่าไนไตรท์มีค่าสูงถึงเกือบ 5 mg-N/L และไนไตรท์ที่เกิดขึ้นก็ถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นไนเตรท ทำให้พบไนเตรทสะสมอยู่ในน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังจากวันที่ 32 เป็นต้นไป (ภาพที่ 4-26) ในส่วนของฟอสเฟตก็มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักและถังที่มีสาหร่ายจะมีปริมาณฟอสเฟตสูงกว่าถังที่ไม่มีสาหร่ายอยู่เล็กน้อย (ภาพที่ 4-27)

ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า การบำบัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกริยาไนตริฟิเคชันมากกว่าการบำบัดที่เกิดจากสาหร่าย โดยที่ผิวทัลลัส ผิวของกระชังสาหร่าย รวมทั้งพื้นและขอบของถังเป็นที่อยู่อาศัยที่ดีของแบคทีเรียในกระบวนการไนตริฟิเคชัน อย่างไรก็ตาม การที่พบว่าชุดทดลองที่มีสาหร่าย มีการสะสมของไนไตรท์ และไนเตรทสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ก็เนื่องมาจากปลาในถังชุดทดลองมีอัตราการรอดที่ดีกว่าชุดควบคุม ทำให้ปริมาณอาหารที่ให้ปลาในชุดทดลองมากกว่า ส่งผลให้เกิดของเสียไนโตรเจนสะสมในถังมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าปลาในถังชุดควบคุมได้ตายลงเรื่อยๆ จนตายหมดในวันที่ 76 ทำให้การทดลองต้องยุติลง ในขณะที่ปลาในชุดทดลองที่มีสาหร่ายยังคงมีอัตรารอดร้อยละ 65 ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้ยังไม่สามารถสรุปหาสาเหตุการตายของปลาในชุดควบคุมได้ เพราะคุณภาพน้ำมีค่าใกล้เคียงกับชุดทดลอง การผ่าตรวจพยาธิสภาพของปลาในภาพที่ 4-28 ไม่พบความผิดปรกติที่สังเกตได้ แต่จะเห็นได้ว่าน้ำในบ่อชุดควบคุมมีสีคล้ำเข้มกว่าน้ำในถังชุดทดลองที่ใสและมีสีออกสีเขียวเล็กน้อย ดังภาพที่ 4-29และ 4-30 และสาหร่ายเซลล์เดียวที่ขึ้นปนเปื้อนในถังชุดทดลองจะมีน้อยกว่าที่ขึ้นในถังชุดควบคุม

ตารางที่ 4-11 จำนวนปลานิลที่ใช้ทดลองและอัตรารอดของปลาภายหลังการทดลองในการทดลองข้อ 4.5.3

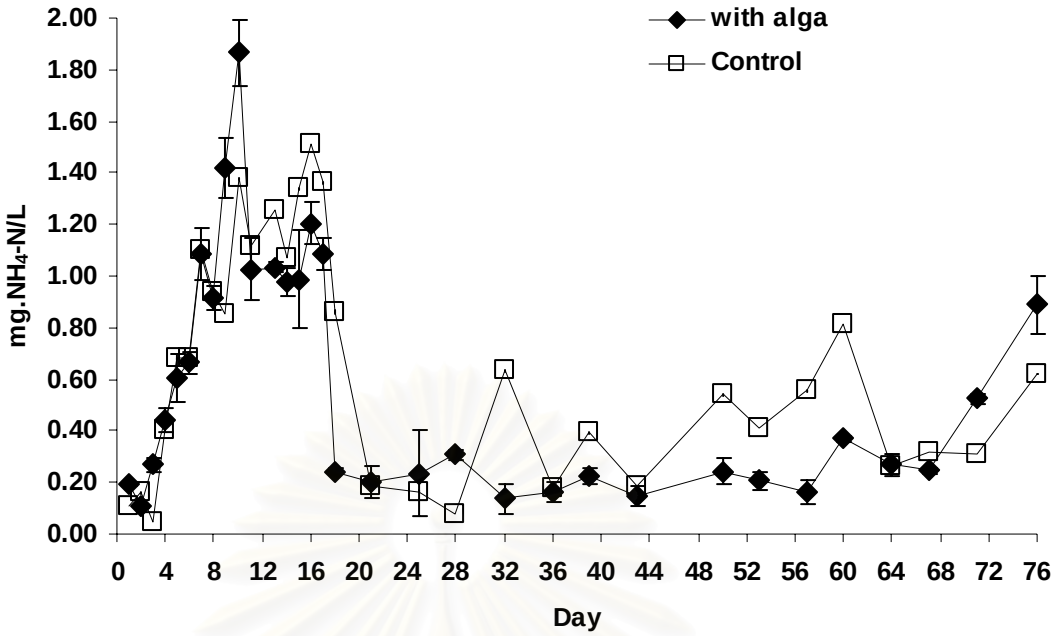
ชุดการทดลอง	จำนวนปลานิลเริ่มต้น (ตัว)	จำนวนปลานิลที่ตายระหว่างการทดลอง (ตัว)	จำนวนปลานิลที่เหลือ (ตัว)	อัตราการรอดของปลานิลภายหลังการทดลอง (%)
ชุดควบคุม (ไม่มีสาหร่าย)	20	7	0	0
ชุดทดลอง (มีสาหร่ายช่อพริกไทย)	20	20	13	65

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิในระหว่างการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-12 จะเป็นได้ว่าสาหร่ายที่อยู่ในถังเลี้ยงปลาของการทดลองนี้ได้รับแสงความเข้มค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ทำก่อนหน้านี้ เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่วางถังทดลองทั้งสองถังที่จะต้องวางให้อยู่ใต้หลังคาพลาสติกกึ่งโปร่งแสง ทำให้ปริมาณแสงที่ได้รับมีจำกัด สิ่งนี้ทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดคุณภาพน้ำด้วยสาหร่ายไม่มีประสิทธิภาพ

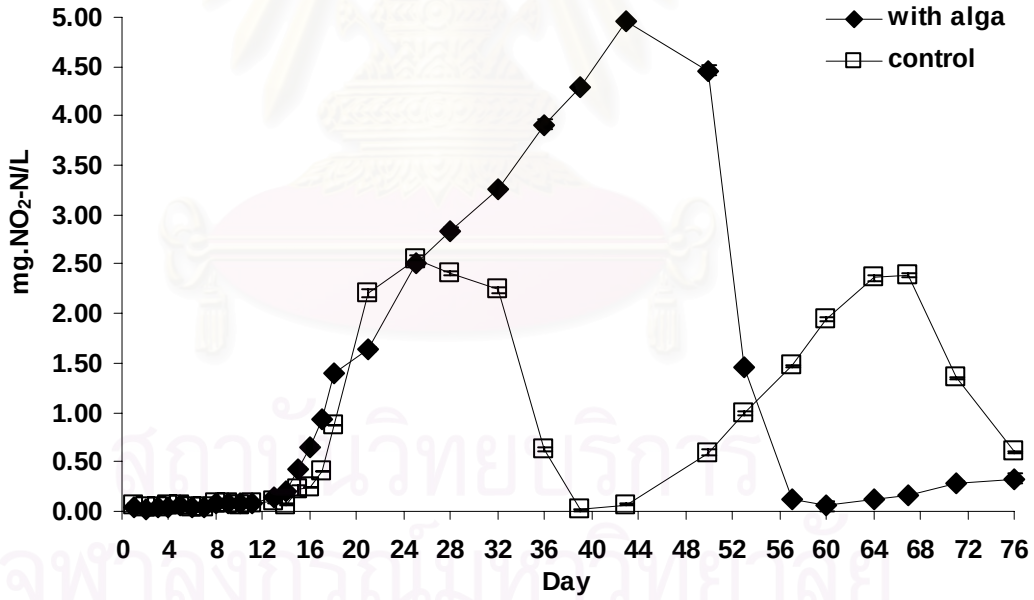
ตารางที่4-12 ความเข้มแสงและอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ในการทดลองข้อ 4.5.3

ชุดทดลอง	ความเข้มแสงเฉลี่ยที่วัดได้ในตอนกลางวัน (lux)	อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}$C)
ถังทดลองชุดควบคุม	355-9,600	24.92
ถังทดลองชุดที่เลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทย	355-8,000	24.96

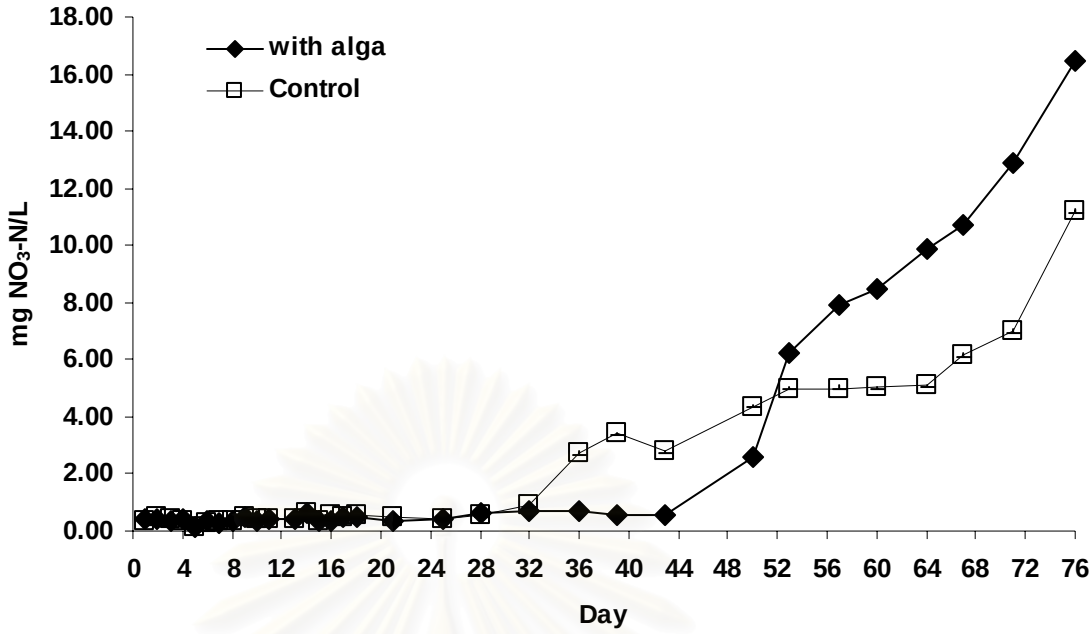
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



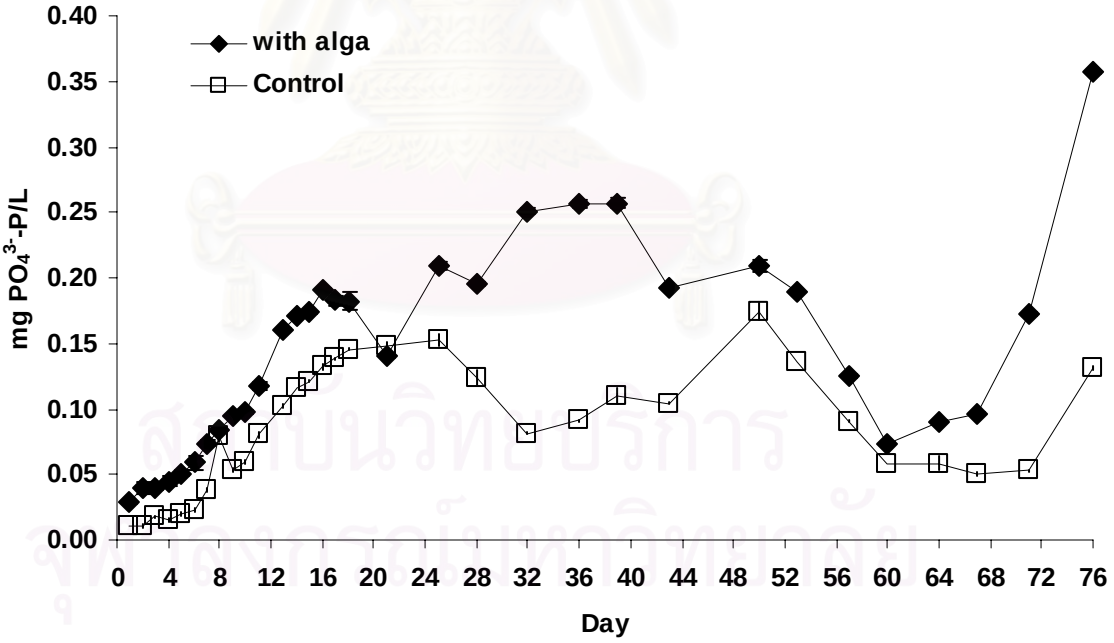
ภาพที่ 4-24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในถังเลี้ยงปลานิลที่มีสาหร่าย (with alga) และไม่มีสาหร่าย (control)



ภาพที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของชุดการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในกระชังร่วมกับปลานิล



ภาพที่ 4-26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของชุดการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในกระชังร่วมกับปลานิล



ภาพที่ 4-27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของชุดการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในกระชังร่วมกับปลานิล

ภาพที่ 4-28 การผ่าปลาแสดงพยาธิสภาพของปลานิลในถังชุดควบคุม

ภาพที่ 4-29 สีน้ำในถังทดลองชุดควบคุมซึ่งมีสีเข้มเนื่องจากสาหร่ายเซลล์เดียวบางชนิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4-30 สีน้ำในถังชุดทดลองที่มีการเลี้ยงสาหร่ายไว้ในกระชัง

เมื่อพิจารณาถึงสมดุลไนโตรเจนในระบบ (ดังตารางที่ 4-13) พบว่าไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองเกือบทั้งหมด (ร้อยละ 95) มาจากอาหารปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ของชุดทดลองที่มีสาหร่ายจะอยู่ในปลา (ร้อยละ 32) และในน้ำ (ร้อยละ 31) ดังตารางที่ 4-14ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนที่ไปสะสมในสาหร่ายคิดเป็นเพียงร้อยละ4.8 ของไนโตรเจนทั้งหมด แม้ว่าน้ำหนักสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นจาก 303 กรัมตอนเริ่มทดลองเป็น 831 กรัมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แต่เมื่อคำนวณเป็นปริมาณไนโตรเจน จะพบว่าไนโตรเจนในสาหร่ายตอนเริ่มการทดลองมีเพียง 0.24 กรัม และเพิ่มขึ้นเป็น 0.66 กรัม เนื่องจากน้ำหนักเปียกของสาหร่ายช่อพริกไทยส่วนใหญ่ก็คือน้ำหนักของน้ำถึงประมาณร้อยละ 96-97 และมีปริมาณไนโตรเจนเพียงร้อยละ 1.98 ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ปริมาณอาหารรวมตลอดการทดลองมีมากกว่าสองร้อยกรัม คิดเป็นปริมาณไนโตรเจน 10-12 กรัม และปริมาณการให้อาหารรวมทั้งปริมาณอาหารสะสมในชุดทดลองมีมากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 4-31 และ 4-32) เนื่องจากปลาในชุดทดลองมีอัตราการเติบโตและอัตรารอดที่ดีกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า ในถังชุดควบคุมมีไนโตรเจนที่มาจากแหล่งอื่นๆถึงร้อยละ 52.8 ในขณะที่ถังชุดทดลองมีเพียงร้อยละ 27 แสดงว่าอาจจะมีกระบวนการอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องที่ทำให้ไนโตรเจนในถังชุดควบคุมสูญหายไปจากระบบ

ตารางที่ 4-13 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของถังเลี้ยงปลาชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย

ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าในถังชุดทดลอง					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อถัง	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเทียบกับทั้งระบบ
อาหารปลานิล	-	228.89	5.59	12.80	94.87
สาหร่าย	303.2	12.08	1.99	0.24	1.78
น้ำ	-	-	-	0.16	1.19
ปลานิล	18.01	3.71	8.00	0.30	2.20
ผลรวมไนโตรเจนขาเข้า				13.50	

ตารางที่ 4-14 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลองในถังเลี้ยงปลาชุดทดลองที่มีสาหร่ายช่อพริกไทย

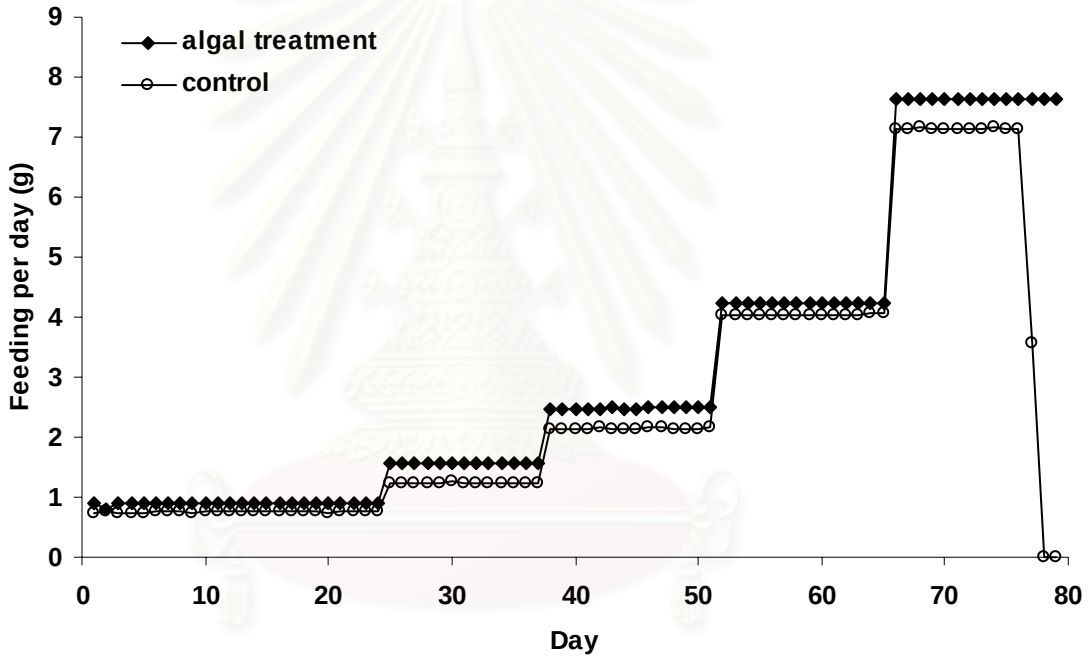
ปริมาณไนโตรเจนขาออกในถังชุดทดลอง					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อถัง	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเทียบกับทั้งระบบ
มูลปลานิล	224.58	24.46	1.61	0.39	2.92
สาหร่าย	831.84	33.13	1.99	0.66	4.87
น้ำ	-	-	-	4.30	31.87
ปลานิล	268.05	55.22	8.00	4.42	32.73
ปลานิลที่ตายระหว่างการทดลอง	3.03	0.62	8.00	0.05	0.37
อื่นๆ	-	-	-	3.68	27.27
ผลรวมไนโตรเจนขาออก				13.50	

ตารางที่ 4-15 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบทดลองของถังเลี้ยงปลาชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายช่อพริกไทย

ปริมาณไนโตรเจนขาเข้าในถังชุดควบคุม					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อถัง	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเทียบกับทั้งระบบ
อาหารปลานิล	-	192.27	5.59	10.76	96.68
น้ำ	-	-	-	0.12	1.11
ปลานิล	14.94	3.08	8.00	0.25	2.21
ผลรวมไนโตรเจนขาเข้า				11.13	

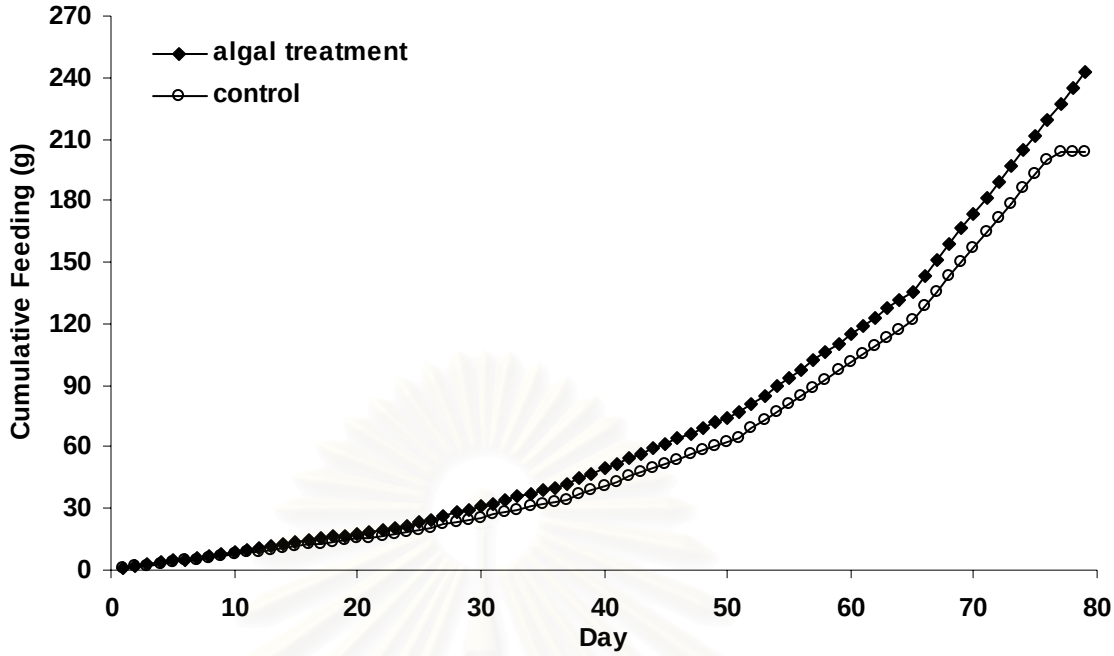
ตารางที่ 4-16 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลองในถังเลี้ยงปลาชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายช่อพริกไทย

ปริมาณไนโตรเจนขาออกในถังชุดควบคุม					
ชนิดของตัวอย่าง	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง(g)	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	กรัม-ไนโตรเจนต่อถัง	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเทียบกับทั้งระบบ
มูลปลานิล	202.27	21.51	2.05	0.44	3.97
น้ำ	-	-	-	3.02	27.10
ปลานิล	-	-	8.00	-	-
ปลานิลที่ตายระหว่างการทดลอง	108.79	22.41	8.00	1.79	16.11
อื่นๆ	-	-	-	5.88	52.83
ผลรวมไนโตรเจนขาออก				11.13	



ภาพที่ 4-31 ปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวันของทั้ง 2 ชุดการทดลองเปรียบเทียบกันตลอดระยะเวลาการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4-32 ปริมาณอาหารสะสมของทั้ง 2 ชุดการทดลองเปรียบเทียบกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดคุณภาพน้ำ โดยเน้นการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำ ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่าสาหร่ายและพืชน้ำอื่นๆ สามารถนำมาใช้บำบัดคุณภาพน้ำได้ โดยได้มีการทดลองและการนำมาใช้จริงกับน้ำทิ้งของชุมชน (ธัญลักษณ์ พันธ์ฤทธิ์ดำ, 2539) น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (พิรุณ วิสุทธิแพทย์ และจีระพรรณ สุขศรีงาม, 2539) รวมทั้งน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์ และฐิติมา ทองศรีพงษ์, 2543)

การใช้สาหร่ายเพื่อบำบัดน้ำเสียในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงสาหร่ายลงในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำโดยตรง หรือจะเลี้ยงไว้ในบ่อบำบัดและมีการหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเข้าไปบำบัดในบ่อสาหร่าย แต่การศึกษาส่วนใหญ่ไม่ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่าย ทำให้ระบบบำบัดด้วยสาหร่ายไม่มีประสิทธิภาพดีพอ และบางครั้งพบว่าคุณภาพน้ำจะด้อยกว่าการไม่มีการใช้สาหร่ายด้วยเลยเสียอีก การศึกษาของอลิสา โชควิวัฒนวนิช (2543) ได้ชี้ให้เห็นว่าการที่ใส่สาหร่ายลงในน้ำแล้วตรวจพบการลดลงของแอมโมเนียในน้ำ เป็นผลมาจากการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายเพียงหนึ่งในสาม แต่ส่วนใหญ่การบำบัดจะเกิดจากแบคทีเรียที่เกาะอยู่ที่ผิวทัลลัสของสาหร่ายเสียมากกว่า ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ก็ได้ชี้ให้เห็นในลักษณะเดียวกัน โดยจะพบว่าชุดควบคุมซึ่งเป็นถังเปล่าที่ไม่มีสาหร่าย และชุดควบคุมที่มีการใช้ตาข่ายพลาสติก ก็สามารถบำบัดให้แอมโมเนียในน้ำลดลงได้เช่นกัน แต่อัตราการลดลงจะต่ำกว่าชุดทดลองที่มีสาหร่าย แต่หากสาหร่ายอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เช่นมีแสงที่เหมาะสม (ความเข้มแสงไม่เกิน 250 μmol photon/m^2/s) จะทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดดีขึ้นมาก ดังที่พบในผลการทดลองหัวข้อ 3.6.3

ในการจะจัดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเติบโตและการนำอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายจำเป็นต้องอาศัยผลจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสรีรวิทยาของสาหร่าย ซึ่งมีวิธีการตรวจวัดได้หลายอย่าง เช่น ตรวจวัดผลต่ออัตราการเติบโต ผลต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ และผลต่อการสังเคราะห์แสง ซึ่งในวิธีต่างๆ นั้น การตรวจวัดการสังเคราะห์แสงทำได้ง่ายและเร็วที่สุด แต่ต้องอาศัยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเป็นพิเศษ ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์อุปกรณ์การตรวจวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ของใบพืชมาใช้กับสาหร่าย ช่วยให้สามารถตรวจวัดภาวะความเครียดทางสรีรวิทยา (physiological stress) เพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสภาวะแวดล้อม ซึ่งเทคนิคการวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ หรือการวัดค่าผลผลิตของกระบวนการ

สังเคราะห์แสงในระบบสังเคราะห์แสงที่สอง (potential yield of the photochemical reaction of photosystem II) ซึ่งแสดงผลออกมาในค่า Fv/Fm เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน แต่เครื่องมือก็ยังคงมีราคาแพงอยู่ทำให้ยังไม่มีใช้กันอย่างแพร่หลายนัก การวัดอัตราการสังเคราะห์แสงโดยการวัดการปลดปล่อยออกซิเจน (oxygen evolution) ก็สามารถใช้บ่งชี้สภาวะของสาหร่ายได้ดีเช่นกัน แต่ต้องใช้เวลานานกว่าในการตรวจวัดและมีความไวต่ำกว่าการวัด Fv/Fm

การเติมคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อช่วยเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับสาหร่าย และช่วยให้สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงขึ้นนั้น มีการใช้กันมากในระบบบ่อเลี้ยงสาหร่ายและพรรณไม้น้ำทั่วไป (Francisco *et al*., 2001) แต่ผลจากการทดลองนี้พบว่าทำได้ยากในทางปฏิบัติ เนื่องจากจะต้องมีระบบควบคุมที่ดีพอจึงจะทำให้ปริมาณคาร์บอนมีพอดีกับความต้องการของสาหร่าย ในการทดลองหัวข้อ 3.2 พบว่าการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 1 ผสมเข้ากับอากาศ มีผลให้ pH ของน้ำลดต่ำลงมาก และการเติม $NaHCO_3$ แม้ว่าจะช่วยปรับสภาพบัฟเฟอร์ของน้ำช่วยให้ pH คงที่แต่ก็ทำให้ระบบมีความยุ่งยาก นอกจากนี้การเติมแหล่งคาร์บอนยังกระตุ้นให้เกิดการเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายเซลล์เดียวในน้ำ และพบว่าในตู้ที่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์น้ำจะเปลี่ยนสีเป็นสีค่อนข้างเขียว กล่าวคือมีการปนเปื้อนของสาหร่ายเซลล์เดียวในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบไม่คงที่ และยังมีผลต่อเซลล์ของสาหร่ายอีกด้วย (ภาพที่ 3-2) นอกจากนี้ในช่วงใกล้สิ้นสุดการทดลองสภาพเซลล์ของสาหร่ายไม่ดี บางส่วนมีลักษณะเปื่อยยุ่ยซึ่งทำให้ของเหลวภายในเซลล์ละลายปนออกมาในน้ำ มีผลต่อปริมาณสารอาหารที่ละลายในน้ำ ทำให้ผลการทดลองมีค่าไม่คงที่ รวมถึงปริมาณแสงที่แต่ละตู้ทดลองได้รับมีปริมาณไม่เท่ากัน กล่าวคือตู้ทดลองในส่วนที่อยู่บริเวณกลางของหลอดไฟจะได้รับปริมาณแสงที่สูงกว่าในตู้ทดลองในส่วนที่อยู่ใกล้กับขั้วหลอด ซึ่งอาจมีผลทำให้ตู้ทดลองที่อยู่ใกล้บริเวณกลางหลอดมีการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายเซลล์เดียวได้เร็วกว่าในตู้ทดลองที่ตั้งอยู่บริเวณขั้วหลอด เนื่องจากได้รับแสงในปริมาณที่สูงกว่านอกจากนี้ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของแบคทีเรียและแพลงก์ตอนพืชที่มีอยู่ในน้ำทะเลตามธรรมชาติ จึงมีส่วนทำให้พบแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารอาหารในทุกชุดการทดลอง จึงทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็น อีกประการหนึ่งในระหว่างการทดลองเซลล์ของสาหร่ายเริ่มเปลี่ยนสภาพไป คือเริ่มมีลักษณะเปื่อยยุ่ย สภาพดังกล่าวทำให้สารต่างๆภายในเซลล์ของสาหร่ายละลายปนออกมาในน้ำได้เช่นเดียวกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่เมื่อทำการเปลี่ยนน้ำและเติมสารอาหารในครั้งที่สองประสิทธิภาพในการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์มีปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายเกิดสภาพเครียดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพเซลล์จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ลดลงไปด้วย

การศึกษาสภาวะในห้องปฏิบัติการพบว่าแสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งต่อการเติบโตและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย ในการจัดให้บ่อเลี้ยงสาหร่ายได้รับแสงตามธรรมชาติ จึงต้องคำนึงถึงความเข้มแสงที่เหมาะสม โดยทั่วไปความเข้มแสงในระดับเพียง 15,000 lux ก็เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายช่อพริกไทย (อลิสา โชควิวัฒนวนิช, 2543) ในการทดลองที่ 3.3 ซึ่งมีความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 3,700-18,000 lux ก็พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยสามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหากความเข้มแสงสูงกว่า 15,000 lux สาหร่ายก็ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้เพิ่มขึ้นอีก และหากใช้แสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงกลับยิ่งมีผลตรงกันข้าม เพราะความเข้มแสงที่มากเกินไปจะยับยั้งการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย (ภาพที่ 4-8) และทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น (ภาพที่ 4-9) วิธีการควบคุมแสงที่ง่ายที่สุดก็คือการใช้แผ่นผ้าพลาสติกกรองแสง ซึ่งมีขายกันอยู่ทั่วไป

การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันพบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ในช่วงที่กว้างโดยจะตอบสนองต่อการลดลงของระดับความเค็มได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อสาหร่ายอยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำมากเกินไปจนเป็นน้ำจืด สาหร่ายจะเกิดสภาวะเครียดซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากค่า Fv'/Fm' ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของความเค็มในน้ำทำให้สาหร่ายเกิดสภาวะเครียดได้เช่นเดียวกันแต่มีผลน้อยกว่า (ภาพที่ 4-6 และ4-7)

การศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยร่วมกับปลานิลในถังพลาสติกพบว่า สาหร่ายมีอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ในปริมาณน้อย จึงทำให้เกิดการสะสมของสารอาหารในน้ำสูง เหตุผลสำคัญประการหนึ่งก็คือ ปริมาณแสงที่สาหร่ายได้รับมีปริมาณน้อยเนื่องมาจากการเลี้ยงสาหร่ายในถังพลาสติกพื้นที่ในการรับแสงของสาหร่ายจะเหลือเพียงด้านบนเนื่องจากด้านข้างถังแสงไม่สามารถส่องผ่านเข้ามาได้ ประกอบกับการที่ทัลลัสของสาหร่ายมีการบดบังแสงกันเองทำให้สาหร่ายได้รับแสงในปริมาณที่น้อยเกินไปส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายที่ลดลง มีผลทำให้อัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเติบโตของสาหร่ายมีอัตราที่ต่ำตามไปด้วย จึงพบการสะสมของปริมาณสารอาหารในน้ำเกิดขึ้น ดังนั้นหากสามารถออกแบบให้สาหร่ายได้รับแสงในปริมาณที่เพียงพอ สาหร่ายช่อพริกไทยก็น่าจะมีอัตราการบำบัดสารอาหารในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเช่นการทดลองเลี้ยงสาหร่ายในตู้อะคริลิคจะพบว่าสาหร่ายได้รับแสงอย่างเพียงพอ เนื่องจากตู้อะคริลิคเป็นตู้ใส ทำให้พื้นที่ในการรับแสงของสาหร่ายมีมาก ดังนั้นสาหร่ายจึงสามารถใช้แสงในการสังเคราะห์อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การบำบัดสารอาหารในน้ำของสาหร่ายมีประสิทธิภาพดี มีปริมาณการสะสมของสารอาหารในน้ำค่อนข้างต่ำ

วิธีการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของสาหร่ายช่อพริกไทยในการศึกษาครั้งนี้ ทำโดยการศึกษาสมดุลไนโตรเจน (nitrogen balance) ระหว่างไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ (input)

และไนโตรเจนขาออก (output) ซึ่งก็คือไนโตรเจน ณ วันสิ้นสุดการทดลอง วิธีนี้จะช่วยให้สามารถประเมินได้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่สาหร่ายสามารถบำบัดได้มีอยู่คิดเป็นสัดส่วนเท่าไรของไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบการเลี้ยง การศึกษานี้เรียกว่า nitrogen budget ซึ่งมีการทำการในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น ปลา (Gross *et al*., 2000) และกุ้ง (Coddington, 1995) เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้กับข้อมูลที่มีผู้ที่เคยศึกษาไว้ในสัตว์น้ำอื่นๆ แสดงผลได้ดังตาราง 5-1

ตาราง 5-1 เปรียบเทียบผลของการศึกษา nitrogen budget จากเอกสารที่ได้มีรายงานไว้กับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

ชนิดของสัตว์น้ำ	N จากอาหารสัตว์น้ำ(ร้อยละของ N ทั้งหมด)	N ที่เข้าไปอยู่ในตัวสัตว์น้ำ (ร้อยละของ N ทั้งหมด)	N ที่พบในน้ำ (ร้อยละของ N ทั้งหมด)	เอกสารอ้างอิง
กุ้ง	92	21	22	Briggs and Smith (1994)
กุ้ง	40	16	72	Coddington (1995)
กุ้ง	78	18	30	Briggs and Smith (1998)
กุ้ง	76.4-92.4	22.8-30.7	14.1-28.4	Thakur and Lin (2003)
ปลา *Sciaenops ocellatus*	52.57-56.61	28-34	31-34	Thoman *et al*. (2001)
ปลานิล	5.5-35.1	21-22	59-72	Siddiqui and Harbi (1999)
ปลาดุก	87.89	31.53	68.47	Gross *et al*., (2000)
ปลานิล	77-83	22-25	3.25-9.03	ผลจากการศึกษานี้ (4.5.2)
ปลานิล	95	33	32	ผลจากการศึกษานี้ (4.5.3)

จากตาราง 5-1 แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีเพียงร้อยละ 16-33 เท่านั้นที่เข้าไปอยู่ในตัวสัตว์น้ำ ในขณะที่ไนโตรเจนส่วนใหญ่จะพบในน้ำและดินตะกอนก้นบ่อ แต่ระบบการเลี้ยงที่ไม่มีพื้นดินเช่นการเลี้ยงในถังและในบ่อซีเมนต์ จะทำให้สัดส่วนของไนโตรเจนในน้ำมีมากขึ้น การใช้สาหร่ายจะเป็นตัวบำบัดไนโตรเจนในน้ำได้ทำให้น้ำในบ่อมีคุณภาพดีและสามารถใช้เลี้ยงสัตว์น้ำได้เป็นระยะเวลานาน ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าหากระบบบำบัดด้วยสาหร่ายมีประสิทธิภาพดี (ผลจากหัวข้อ 4.5.2) จะทำให้มีไนโตรเจนเหลือ

ในน้ำน้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพไม่ดี (ผลจากหัวข้อ 4.5.3) ซึ่งจะมีไนโตรเจนอยู่ในน้ำถึงร้อยละ32

เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดคุณภาพน้ำด้วยสาหร่ายกับระบบบำบัดคุณภาพน้ำด้วยแบคทีเรีย จะพบว่าระบบทั้งสองมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน โดยระบบบำบัดคุณภาพน้ำด้วยสาหร่ายจะมีข้อดีตรงที่สามารถบำบัดแอมโมเนียและบำบัดปริมาณฟอสเฟตได้ดี เป็นการควบคุมไม่ให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อ เนื่องจากสาหร่ายสามารถใช้ฟอสเฟตในการเติบโตได้ นอกจากนี้ระบบบำบัดน้ำด้วยสาหร่ายยังเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนและใช้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า สำหรับข้อเสียคือ ประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ กล่าวคือ ถ้าปัจจัยแวดล้อมไม่เหมาะสมก็จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดต่ำลงด้วย นอกจากนี้เมื่อมีการเจริญของสาหร่ายเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องเก็บเกี่ยวสาหร่ายออกบ้าง เพื่อไม่ให้เกิดการขาดออกซิเจนในช่วงกลางคืน ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อสัตว์น้ำได้หากมีสาหร่ายมากเกินไป เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนสาหร่ายจะใช้ออกซิเจนในการหายใจเช่นเดียวกับสัตว์น้ำ

ในขณะที่ระบบบำบัดคุณภาพน้ำด้วยแบคทีเรียจะมีข้อดีที่สามารถบำบัดปริมาณไนโตรเจนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะแบคทีเรียในกลุ่ม denitrifying bacteria จะสามารถบำบัดปริมาณไนเตรทที่ตกค้างในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้ลดลงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีการสะสมของปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในระบบ สำหรับข้อเสียของระบบบำบัดนี้ก็คือ ระบบบำบัดคุณภาพน้ำด้วยแบคทีเรียไม่สามารถบำบัดปริมาณฟอสเฟตที่มีอยู่ในน้ำได้ ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณฟอสเฟตในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนของปริมาณแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็วได้ ซึ่งทำให้คุณภาพน้ำแย่ลงได้เนื่องจากปริมาณแพลงก์ตอนที่มีมากเกินไป ทำให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อลดลงซึ่งจะเป็นผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งไม่มีการสังเคราะห์อาหาร อาจทำให้บ่อเพาะเลี้ยงมีการขาดออกซิเจนอย่างรุนแรง ทำให้สัตว์น้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจนในการหายใจ นอกจากนี้ระบบบำบัดดังกล่าวต้องควบคุมระบบให้ดี จึงต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการดูแลระบบเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพอยู่เสมอ ดังนั้นหากสามารถนำทั้งสองระบบมาใช้ร่วมกันได้จะมีส่วนทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพน้ำมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1.การเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงในตู้เลี้ยงสาหร่ายไม่ได้ช่วยทำให้สาหร่ายมีอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลทำให้พีเอชในระบบเปลี่ยนแปลงซึ่งเอื้อต่อการเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็กที่ติดมากับผิวด้านนอกของสาหร่าย และที่ปนมากับน้ำทะเลที่ใช้ทดลอง สำหรับปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมลงไปแม้ว่าจะมีส่วนช่วยในการปรับค่าความเป็นกรดด่างในน้ำแต่ก็ยังคงมีการปนเปื้อนของสาหร่ายชนิดอื่นขึ้นมาในระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายช่อพริกไทยที่เลี้ยงในตู้ที่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์จะมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงสูงกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในตู้ที่ให้อากาศ

2. การเพิ่มระดับความเข้มแสงจากระดับ 50 μmol-photon/m^2/s ไปเป็น 250 μmol-photon/m^2/s สาหร่ายช่อพริกไทยที่เลี้ยงในสภาวะห้องปฏิบัติการจะมีอัตราการปลดปล่อยออกซิเจนเนื่องจากปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่วัดโดยวิธีวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์มีการเปลี่ยนแปลงลดลง

3. การเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันจากความเค็ม 30 ppt ขึ้นเป็น 40, 50 และ 60 ppt ทำให้สาหร่ายมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลงเล็กน้อย ในขณะที่การเปลี่ยนความเค็มของน้ำจาก 30 ลดลงเป็น 20 และ 10 แทบจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ส่วนการลดความเค็มจาก 10 เหลือ 0 ppt จะทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลาเพียง 30 นาที

4. การเลี้ยงสาหร่ายช่อพริกไทยในตู้กระจกที่ได้รับแสงโดยตรง จะทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับผลกระทบจากแสงที่มากเกินไป ทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง (photoinhibition) และยังทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงมาก การใช้พลาสติกช่วยพรางแสงลงจะช่วยให้สาหร่ายมีสภาพที่ดี โดยการพรางแสง 80% สาหร่ายจะยังคงสภาพของเซลล์ที่ดีโดยมีค่า Fv/Fm ประมาณ 0.7 ในขณะที่สาหร่ายที่ได้รับแสงแดดโดยตรงจะมีค่า Fv/Fm ต่ำกว่า 0.5 แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงเป็นความเครียดทางสรีรวิทยาที่มีผลมากต่อการดำรงชีวิตของสาหร่าย

5. การทดลองใช้สาหร่ายช่อพริกไทยในการควบคุมคุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงปลานิล พบว่าสาหร่ายสามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหากมีสภาพแสงที่เหมาะสม (ไม่เกินระดับ 250 μmol-photon/m^2/s) สาหร่ายสามารถดึงไนโตรเจนประมาณร้อยละ

25 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบบ่อเข้ามาไว้ในเซลล์ของสาหร่าย ทำให้น้ำที่เลี้ยงปลามีคุณภาพดี มีปริมาณแอมโมเนียต่ำ และไม่มีการสะสมของไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต

ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการนำข้อมูลจากการทดลองนี้ไปทดลองกับระบบบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำขนาดใหญ่ เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการควบคุมคุณภาพน้ำในสภาวะจริง นอกจากนี้ควรมีการศึกษาหาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการบำบัดน้ำ เช่น ดินตะกอนในบ่อ เพราะดินตะกอนในบ่อมีส่วนสำคัญ ทั้งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสาหร่าย และยังเป็นที่สำหรับให้สาหร่ายยึดเกาะได้ดี อาจช่วยทำให้สาหร่ายเติบโตได้ดีและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น

2)นำระบบที่ใช้สาหร่ายในการบำบัดไปใช้ร่วมกับระบบบำบัดอื่น เช่น ระบบบำบัดที่ใช้แบคทีเรียในการควบคุมคุณภาพน้ำ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดมากขึ้น

3) ควรมีการศึกษาหาปริมาณสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการบำบัด เพื่อจะได้ทราบว่าจะต้องใช้ปริมาณสาหร่ายเท่าใดจึงจะสามารถบำบัดคุณภาพน้ำได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, สุจินต์ ดีแท้, อุดม สิทธิภู่ประเสริฐ, ปิยะพงศ์ โชติพันธ์, ลิขิต ชูจิต และประเสริฐ พลอยประดับ. 2536. รายงานการวิจัยเรื่องการคัดเลือกชนิดของสาหร่ายวุ้นเพื่อการเพาะเลี้ยง. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ. 135 หน้า.

เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต. 2537. การใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia ช่วยลดปริมาณแอมโมเนียม ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธัญญา พันธ์ฤทธิ์ดำ. 2541. ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่มีระบบดีไนตริฟิเคชัน สำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล. 2539. ประสิทธิภาพของดีปลีน้ำ *Potamogeton malaianus* และสาหร่ายหางกระรอก *Hydrilla verticillata* ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์. 2544. การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* J. Agardh. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิรุณ วิสุทธิแพทย์ และจีระพรรณ สุขศรีงาม. 2539. รายงานการวิจัยการใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม. 93 หน้า.

พรทิภา ตั้งใจตรง. 2533. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, พรรณศรี จริโมภาส, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัณยวุฒิ, วีระ วัชรกรโยธิน และกมล จันทรโรทัย. 2536. การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิล. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. กรมประมง.133 หน้า.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ.โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 319 หน้า.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพ. 214 หน้า.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2540. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 177 หน้า.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์ และฐิติมา ทองศรีพงษ์. 2543. การเลี้ยงสาหร่ายผมนาง *Gracilaria fisheri* (Xia&Abbott) Abbott, Zhang & Xia,.ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* (Fabricius). ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี. จันทบุรี. 10 หน้า.

ศิริวัฒน์ คูเจริญไพบูลย์. 2544. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดระบบปิดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ. 2538. การใช้สาหร่ายทะเลช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจน ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมภพ รุ่งสุภา. 2530. คุณภาพน้ำในระบบการเพาะพันธุ์กุ้งทะเล ชนิดหมุนเวียนน้ำแบบปิด. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อลิสา โชควิวัฒนวนิช. 2543. ประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทย *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายหนาม *Acanthophora spicifera* ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Ahn, O., Petrell, R. J. and Harrison, P. J. 1998. Ammonium and nitrate uptake by *Laminarina saccharina* and *Nereocystis luetkeana* originating from a salmon sea cage farm. Journal of Applied phycology. 10: 333-340.

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

Briggs, M. R. P. and Smith, S. J. F. 1998. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds implications for sustainability. Aquacultural Engineering 164: 117-133.

Chaoyuan, W., Li, R., Lin, G. *et al*. 1993. Some aspects of the growth of *Gracilaria tenuistipitata* in pond culture. Hydrobiologia. 260/261: 339-343.

Coddington, D. T. 1995. Characterization of shrimp farm effluents in Honduras and chemical budget of selected nutrients. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program. Oregon state University, Corvalis, Oregon.

Francisco, J. L., Gordillo, F., Xavier, N., Félix, L. F. 2001. Non-photosynthesis enhancement of growth by high CO_2 level in the nitrophilic seaweed *Ulva rigida* C. Agardh (Chlorophyta). Planta (2001) 213: 64-70.

Geider, R. J. and Osborne, B. A. 1992. Algal Photosynthesis. First published. Chapman and Hall. NewYork.

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

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

Lewin, R. A. 1962. Physiology and Biochemistry of Algae. Academic press. London.

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

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

Qubit systems Inc. 2001. Chlorophyll Fluorescence Package Student's Manual. Published. Canada. 42 p.

Siddiqui, A. Q., Harbi, A. H. A. 1999. Nutrient budgets in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia. Aquaculture 170: 245-252.

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

Thakur, D. P. and Lin, C. K. 2003. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) cultures systems. Aquacultural Engineering 27: 159-176.

Thoman, E. S., Ingall, E. D., Davis, A. D., Arnold, C. R. 2001. A nitrogen budget for a closed, recirculating mariculture system. Aquacultural engineering 24: 195-211.

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

Zweig, D. R., Morton, J. D. and Stewart, M. M. 1999. Source Water Quality for Aquaculture: A Guide for Assessment. Environmenttally and Socially Sustainable Development, The World Bank, Washington, D.C. 533 p.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม -ไนโตรเจน (NH_4-N) (Strickland and Parsons, 1972)

สารเคมีที่ใช้

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ปราศจากไอออน และไม่มีแอมโมเนียม (De-ionized water)
2. Sodium nitroprusside ;$Na_2[Fe(CN)_5NO].2H_2O$
3. Phenol
4. Sodium citrate
5. Sodium hydroxide ;NaOH
6. Sodium hypochlorite
7. Ammonium sulphate ;$(NH_4)_2SO_4$

การเตรียมสารละลาย

1. Phenol solution

   ละลาย phenol 20 กรัมใน 95%v/v ethyl alcohol 200 มิลลิลิตร

2. Sodium nitroprusside solution

   ละลาย $Na_2[Fe(CN)_5NO].2H_2O$ 1.0 กรัม ด้วยน้ำกลั่น(de-ionized water) 200 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา สารละลายดังกล่าวสามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 1เดือน

3. Alkaline reagent

   ละลาย Sodium citrate 100 กรัม และ NaOH 5 กรัม แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 500 มิลลิลิตร

4. Oxidizing reagent

ผสม Alkaline reagent และ Sodium hypochlorite ในอัตราส่วน 4 ส่วนต่อ 1 ส่วน กล่าวคือถ้าใช้ Alkaline reagent 100 มิลลิลิตร จะต้องใช้ Sodium hypochlorite 25 มิลลิลิตร

การเตรียม Ammonium stock solution (ความเข้มข้น 200 mg NH_4-N/L)

ชั่ง $(NH_4)_2SO_4$ 0.9433 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น (de-ionized water) เจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บรักษาด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร หยดรีเอเจนต์ที่เตรียมไว้เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

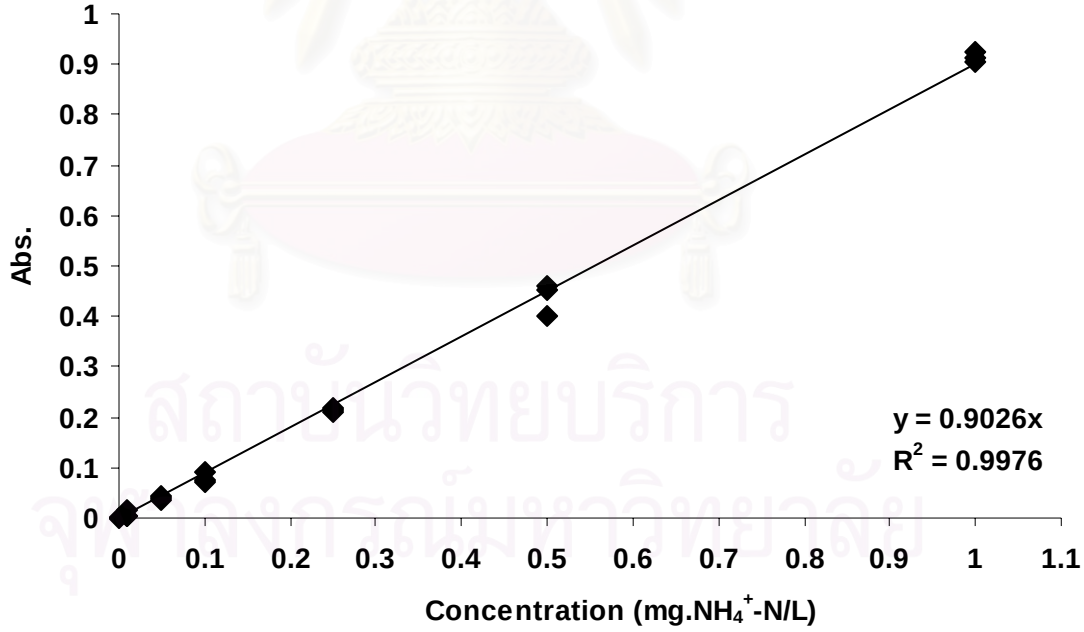
1.เติม phenol solution 0.2 มิลลิลิตร

2.เติม sodium nitroprusside solution 0.2 มิลลิลิตร

3.เติม Oxidizing reagent 0.5 มิลลิลิตร

นำน้ำตัวอย่างที่หยดรีเอเจนต์ไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อหาความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนียมต่อไป

หากความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนียมที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำกราฟมาตรฐานจำเป็นต้องทำการเจือจางปริมาตรน้ำเพื่อให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่สามารถหาค่าได้จากกราฟมาตรฐาน การเจือจางปริมาตรน้ำตัวอย่างจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนียมที่ละลายอยู่ในน้ำตัวอย่างนั้น



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียม-ไนโตรเจน

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ –ไนโตรเจน (NO_2-N)

(Strickland and Parsons, 1972)

สารเคมีที่ใช้

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Distilled water)
2. Sulfanilamide
3. N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride

การเตรียมสารละลาย

1. Sulfanilamide solution

ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร แล้วละลาย sulfanilamide 5 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้สามารถเก็บได้นานหลายเดือน

2. N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NNED)

ละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 0.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา ควรเตรียมใหม่เดือนละครั้ง หรือเมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

การเตรียม Nitrite stock solution (ความเข้มข้น 140 mg NO_2-N/L)

ชั่ง $NaNO_2$ 0.690 กรัม (ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ๐c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง) ละลายด้วยน้ำกลั่น เจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บรักษาด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 ml หยดรีเอเจนต์ที่เตรียมไว้เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

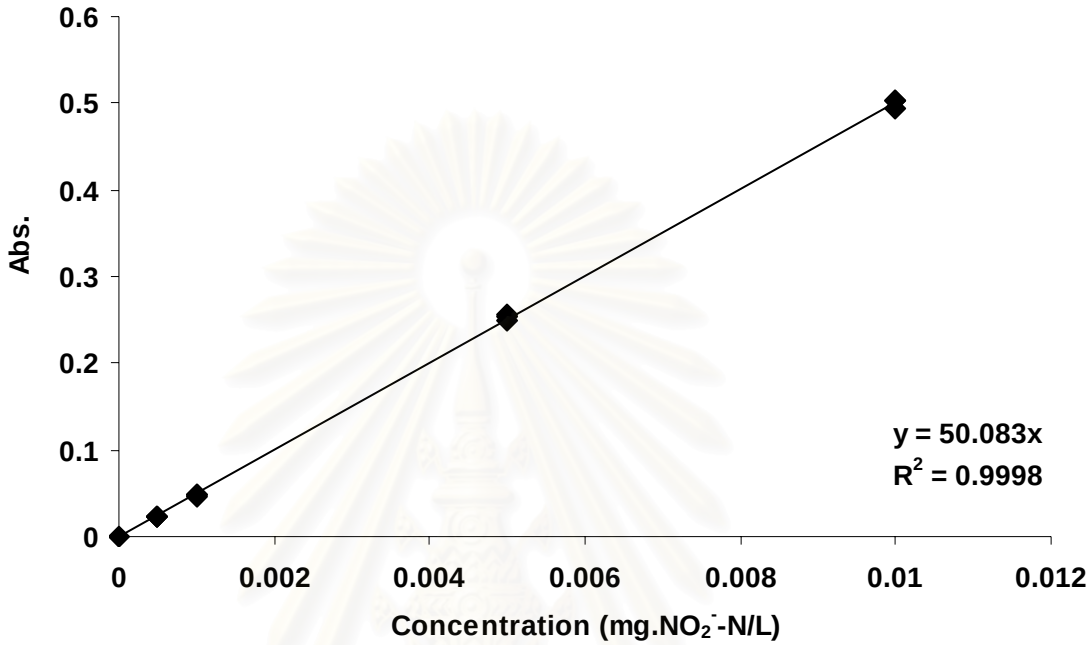
1.เติม sulphanilamide ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 2-10นาที

2.เติม NNED ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าทันที ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง

3.นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

นำค่าที่ได้จากการวัดค่าดังกล่าวไปสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อหาความเข้มข้นของปริมาณ

ไนไตรท์ต่อไป (เช่นเดียวกับแอมโมเนียมถ้าค่าที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำกราฟมาตรฐานก็จำเป็นต้องทำการเจือจางปริมาตรน้ำเพื่อให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่สามารถหาค่าได้จากกราฟมาตรฐาน)



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานไนไตรท์-ไนโตรเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(NO_3-N)
(ดัดแปลงจาก Strickland and Parson, 1972)

สารเคมีที่ใช้

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Distilled water)
2. Sulfanilamide
3. N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride
4. Ammonium chloride ;NH_4Cl
5. เม็ดแคดเมียมเคลือบทองแดง (Copper-Cadmium Granules)

การเตรียมสารละลาย

1. Concentrated ammonium chloride solution

ละลาย Ammonium chloride 125 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

2. Dilute ammonium chloride solution

นำสารละลาย Concentrated ammonium chloride solution 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเจือจางเป็น 2000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

3. Synthethic seawater

ละลาย 310 กรัม NaCl + 100 กรัม $MgSO_4.7H_2O$ + 0.4 กรัม $NaHCO_3$ ละลายในน้ำกลั่น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 10 ลิตร

4. Sulfanilamide solution

เติมกรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร แล้วละลาย sulfanilamide 5 กรัม ด้วยสารละลายข้างต้น เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร สามารถเก็บสารละลายได้นานหลายเดือน

5. N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride solution

ละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา ควรเตรียมใหม่ทุกเดือนหรือเมื่อสารละลายเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล

6. 2% w/v $CuSO_4.5H_2O$

ละลาย $CuSO_4.5H_2O$ 20 กรัมด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร

การเตรียม Nitrate stock solution (ความเข้มข้น 100 mg NO_3-N/L)

ชั่ง KNO_3 0.7218 กรัม (ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ๐c นาน 24 ชั่วโมง) ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บรักษาด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร

การเตรียมคอลัมน์แคดเมียม (Cadmium Column)

1.เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางลงในคอลัมน์เปล่าที่เตรียมไว้

2.บรรจุเม็ดแคดเมียมลงในคอลัมน์ให้ได้ความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร รักษาระดับสารละลายในข้อ 1.ให้ท่วมเม็ดแคดเมียมเสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดแคดเมียมสัมผัสกับอากาศ

3.เชื่อมตัวคอลัมน์กับสายยางขนาดเล็กโดยใช้กาวซิลิโคนใส ทำการล้างเม็ดแคดเมียมโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางผ่านคอลัมน์ โดยอาศัยเครื่อง peristatic pump รุ่น MasterFlex C/L™ Model 77120-60 เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของสารละลายดังกล่าว ปรับอัตราการไหลของสารละลายดังกล่าวให้ได้ 6-8 มิลลิลิตรต่อนาที. เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์

ภาพที่ 3 ตัวอย่างชุดแคดเมียมคอลัมน์ที่ดัดแปลงจาก Strickland and Parsons, 1972 และตัวอย่างเครื่องควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย (peristatic pump รุ่น MasterFlex C/L™ Model 77120-60)

การเตรียมตัวอย่างน้ำ

1. เจือจางน้ำตัวอย่างด้วยน้ำทะเลสังเคราะห์ และใช้น้ำทะเลสังเคราะห์เป็น Blank

2.เติม Conc.NH_4Cl 1 มิลลิลิตร ลงในน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ปรับอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างให้ได้ 6 – 8 มิลลิลิตรต่อนาที

2. ก่อนทำการเก็บน้ำตัวอย่างทำการล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางประมาณ 15 มิลลิลิตร ล้างคอลัมน์ด้วยน้ำตัวอย่างก่อนทำการเก็บด้วยน้ำตัวอย่างประมาณ 15 มิลลิลิตร เก็บน้ำตัวอย่างประมาณ 20 มิลลิลิตร ไว้สำหรับวิเคราะห์

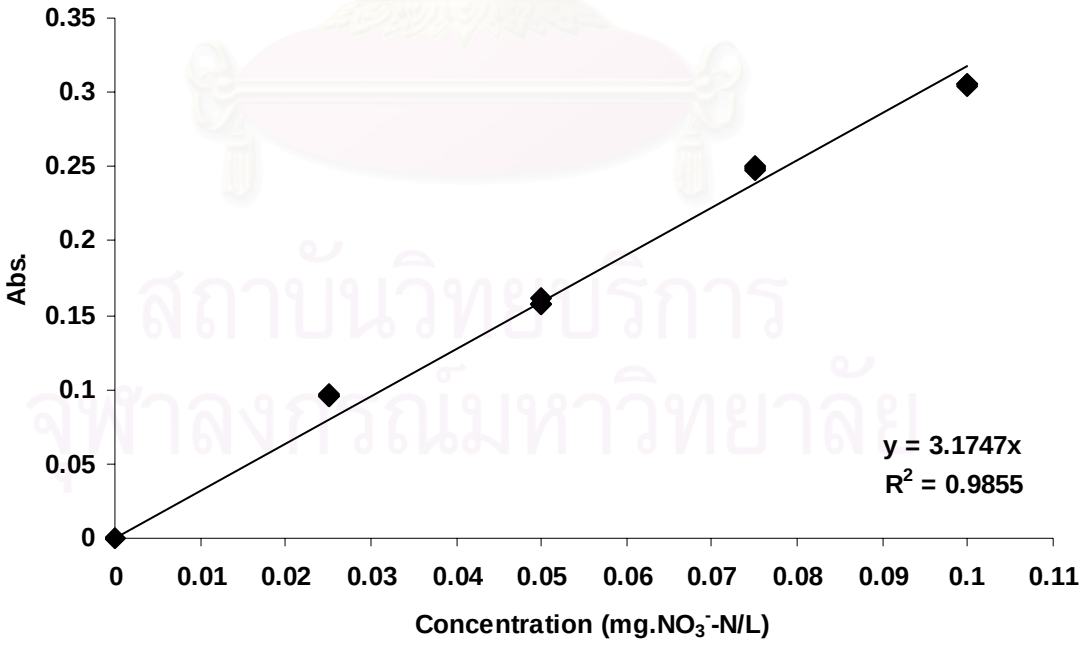
3. หลังจากผ่านน้ำตัวอย่างลงในคอลัมน์ ก่อนจะทำการผ่านน้ำตัวอย่างชุดต่อไป จำเป็นต้องล้างคอลัมน์โดยใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางปริมาตร 20 มิลลิลิตรทุกครั้ง ก่อนที่จะทำการผ่านน้ำตัวอย่างชุดต่อไป

4. ปิเปตน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์มา 5 มิลลิลิตร

5. เติม sulphanilamide solution ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 2-10นาที

6.เติม NNED ปริมาตร 0.1 ml. เขย่าทันที ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

หมายเหตุ: ถ้าหยุดใช้คอลัมน์เป็นเวลานาน ให้เทสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางผ่านคอลัมน์เพื่อรักษาคอลัมน์แคดเมียมไม่ให้แห้ง ทำกราฟมาตรฐานใหม่ทุกครั้งที่มีการเตรียมคอลัมน์ใหม่



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจน

การวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P)
(Strickland and Parsons, 1972)

สารเคมีที่ใช้

1. Ammonium molybdate; $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$
2. Sulfuric Acid; H_2SO_4
3. Ascorbic Acid
4. Potassium antimonyl tartrate; $K(SbO)C_4H_4O_6.1/2H_2O$

การเตรียมสารละลาย

1. Ammonium molybdate solution

ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 15 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร (เก็บไว้ในขวดพลาสติกห่างจากแสง สามารถเก็บไว้ได้ไม่มีกำหนด)

2. Sulfuric Acid solution

เติม sulfuric acid concentrated ปริมาตร 140 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 900 มิลลิลิตร (ควรเก็บไว้ในที่เย็นและเก็บไว้ในขวดแก้ว)

3. Ascorbic Acid solution

ละลาย Ascorbic Acid (AR grade) 27 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดพลาสติก นำไปแช่ไว้ในช่องเย็น (อุ่นบ้างเป็นบางครั้งเมื่อจะใช้ สารละลายจะเก็บได้นานหลายเดือน แต่ไม่ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเกิน 1 สัปดาห์)

4. Potassium Antimonyl tartrate solution

ละลาย Potassium Antimonyl tartrate 0.34 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร (อุ่นบ้างเป็นบางครั้งเมื่อจะใช้ เก็บไว้ในขวดแก้วหรือพลาสติก สารละลายดังกล่าวจะเก็บไว้ได้นานหลายเดือน

5. Mixed reagent

ผสมสารละลาย Ammonium molybdate solution ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ,Sulfuric acid solution ปริมาตร 250 มิลลิลิตร, Ascorbic acid solution ปริมาตร 100 มิลลิลิตรและ Potassium antimonyl-tartrate solution ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้ ไม่สามารถเก็บสารได้นานเกิน 6 ชั่วโมง ปริมาตรดังกล่าวนี้สามารถใช้ได้กับตัวอย่างน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง)

การเตรียม Phosphate stock solution (ความเข้มข้น 186 mgPO_4^{3-}-P/L)

ชั่ง KH_2PO_4 (anhydrous potassium dihydrogen phosphate) 0.816 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา เก็บรักษาด้วยคลอโรฟอร์มปริมาตร 1 มิลลิลิตร

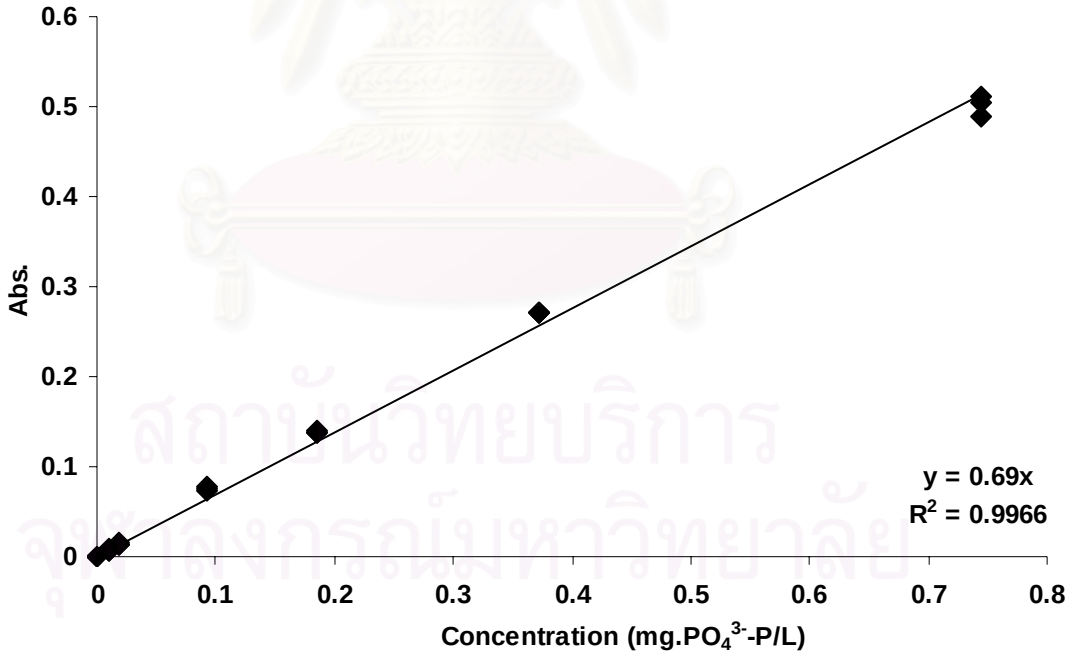
ขั้นตอนการวิเคราะห์

ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร หยดรีเอเจนต์ที่เตรียมไว้เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

1.เติม Mixed reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง

2.นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร

นำค่าที่ได้จากการวัดค่าดังกล่าวไปสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อหาความเข้มข้นของปริมาณฟอสเฟตต่อไป (เช่นเดียวกับแอมโมเนียมถ้าค่าที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำกราฟมาตรฐานก็จำเป็นต้องทำการเจือจางปริมาตรน้ำเพื่อให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่สามารถหาค่าได้จากกราฟมาตรฐาน)



ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส

ภาคผนวก ข

สูตรอาหารของกิลลาร์ด (Guillard Medium หรือ F/2)

ก.สารละลาย ส่วนที่ 1

โซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$)	42.074 กรัม
ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์ธอฟอสเฟต ($Na_2HPO_4.H_2O$)	3.0 กรัม
เฟอริคคลอไรด์ ($FeCl_3$)	1.45 กรัม
โซเดียมอีดีทีเอ (Na_2EDTA)	5.0 กรัม
วิตามิน บี 1	0.2 กรัม
วิตามิน บี 12	0.001 กรัม
ไบโอติน (Biotin)	0.05 กรัม

เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

ข. สารละลาย ส่วนที่ 2

คอปเปอร์ซัลเฟต 5-ไฮเดรต ($CuSO_4.5H_2O$)	1.96 กรัม
ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$)	4.40 กรัม
โซเดียมโมลิบเดท 2-ไฮเดรต ($Na_2MoO_4.2H_2O$)	1.26 กรัม

[ถ้าใช้แอมโมเนียมโมลิบเดท 4-ไฮเดรต $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ แทน ให้ใช้น้ำหนัก 6.43 กรัม]

แมงกานีสคลอไรด์ 4-ไฮเดรต ($MnCl_2.4H_2O$)	36.0 กรัม
โคบอลท์คลอไรด์ 6-ไฮเดรต ($CoCl_2.6H_2O$)	2.0 กรัม

เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

ค. สารละลาย ส่วนที่ 3

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

เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

วิธีเตรียมอาหาร

นำสารละลายส่วนที่ 1 และส่วนที่ 3 มาอย่างละ 2 มิลลิลิตร และสารละลายส่วนที่ 2 มา 1 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำทะเลที่กรองแล้ว 1 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างวิธีการคำนวณสมดุลไนโตรเจนในระบบเลี้ยงปลา

หมายเหตุ : (1) ปริมาณสารอาหารไนโตรเจนในน้ำหาได้ดังนี้

NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	mg.N/L	Water volume(L)	g-N/chamber
0.735	0.232	0.039	1.006	50	0.0503

นำปริมาณสารอาหารไนโตรเจนในรูปต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์มารวมกันแล้วหารด้วยปริมาตรน้ำในตู้ทดลอง เช่น ในตู้ที่ 1 ปริมาณสารอาหารไนโตรเจนในน้ำรวมเท่ากับ

0.735+0.232+0.039= 1.006 mg.N/L

แต่ต้องการทราบปริมาณสารอาหารในตู้ที่ทดลองซึ่งมีปริมาตร 50 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณสารอาหารในน้ำสำหรับตู้ทดลองปริมาตร 50 ลิตรเท่ากับ

$1.006 \times 10^{-3} \times 50 = 0.0503$ g-N/chamber

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชุดการทดลองผลของการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทย

		ชุดการทดลองที่1							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD
1	6-Jan-45	0.67	0.20	12.34	0.17	0.01	0.01	0.93	0.00
2	7-Jan-45	0.72	0.08	13.77	0.49	0.01	0.01	0.89	0.01
3	8-Jan-45	0.27	0.06	13.60	0.18	0.02	0.01	0.74	0.00
4	9-Jan-45	0.45	0.29	11.98	0.21	0.06	0.04	0.73	0.00
5	10-Jan-45	0.08	0.06	12.52	0.26	0.00	0.01	0.71	0.02
6	11-Jan-45	0.12	0.09	12.51	0.25	0.00	0.01	0.65	0.05
7	12-Jan-45	0.03	0.06	12.97	0.56	0.00	0.00	0.58	0.07
8	13-Jan-45	1.09	0.15	13.41	0.09	0.05	0.02	0.85	0.00
9	14-Jan-45	0.26	0.08	13.47	0.09	0.01	0.01	0.79	0.00
10	15-Jan-45	0.00	0.12	13.29	0.06	0.02	0.02	0.71	0.00
11	16-Jan-45	0.21	0.06	13.00	0.19	0.02	0.01	0.59	0.01
12	17-Jan-45	0.12	0.04	11.50	0.18	0.02	0.02	0.52	0.02
13	18-Jan-45	0.06	0.05	11.84	0.30	0.04	0.02	0.49	0.02
14	19-Jan-45	0.61	0.06	11.18	0.03	0.04	0.05	0.95	0.01
15	20-Jan-45	0.42	0.19	11.97	0.04	0.00	0.02	0.81	0.02
16	21-Jan-45	0.31	0.10	12.85	0.03	0.03	0.01	0.83	0.01
17	22-Jan-45	0.08	0.08	14.03	0.13	0.00	0.01	0.76	0.01
18	23-Jan-45	0.09	0.03	12.69	0.13	0.00	0.02	0.72	0.01
19	24-Jan-45	0.11	0.08	11.51	2.38	0.04	0.02	0.68	0.01

ตารางที่ 1 (ต่อ)

		ชุดการทดลองที่2							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD
1	6-Jan-45	1.06	0.11	12.31	0.11	0.00	0.00	0.93	0.01
2	7-Jan-45	0.37	0.09	13.82	0.09	0.00	0.00	0.87	0.03
3	8-Jan-45	0.25	0.07	13.48	0.07	0.02	0.01	0.72	0.00
4	9-Jan-45	0.31	0.05	11.94	0.05	0.07	0.03	0.69	0.00
5	10-Jan-45	0.07	0.05	12.60	0.05	0.01	0.01	0.61	0.01
6	11-Jan-45	0.13	0.03	12.59	0.03	0.01	0.02	0.55	0.02
7	12-Jan-45	0.01	0.04	12.80	0.04	0.00	0.00	0.47	0.01
8	13-Jan-45	3.05	1.51	13.27	1.51	0.04	0.02	0.84	0.01
9	14-Jan-45	1.33	0.75	13.40	0.75	0.05	0.06	0.76	0.01
10	15-Jan-45	0.84	0.67	13.05	0.67	0.18	0.20	0.65	0.01
11	16-Jan-45	0.73	0.35	13.23	0.35	0.35	0.32	0.55	0.00
12	17-Jan-45	0.22	0.10	11.84	0.10	0.44	0.47	0.50	0.02
13	18-Jan-45	0.01	0.03	12.55	0.03	0.44	0.44	0.47	0.03
14	19-Jan-45	0.55	0.08	11.17	0.08	0.03	0.03	0.91	0.01
15	20-Jan-45	0.01	0.05	11.87	0.05	0.00	0.01	0.79	0.01
16	21-Jan-45	0.02	0.02	12.26	0.02	0.03	0.02	0.72	0.01
17	22-Jan-45	0.05	0.02	12.08	0.02	0.01	0.01	0.62	0.02
18	23-Jan-45	0.08	0.03	11.16	0.03	0.00	0.03	0.47	0.03
19	24-Jan-45	0.06	0.08	8.32	0.08	0.06	0.07	0.40	0.04

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

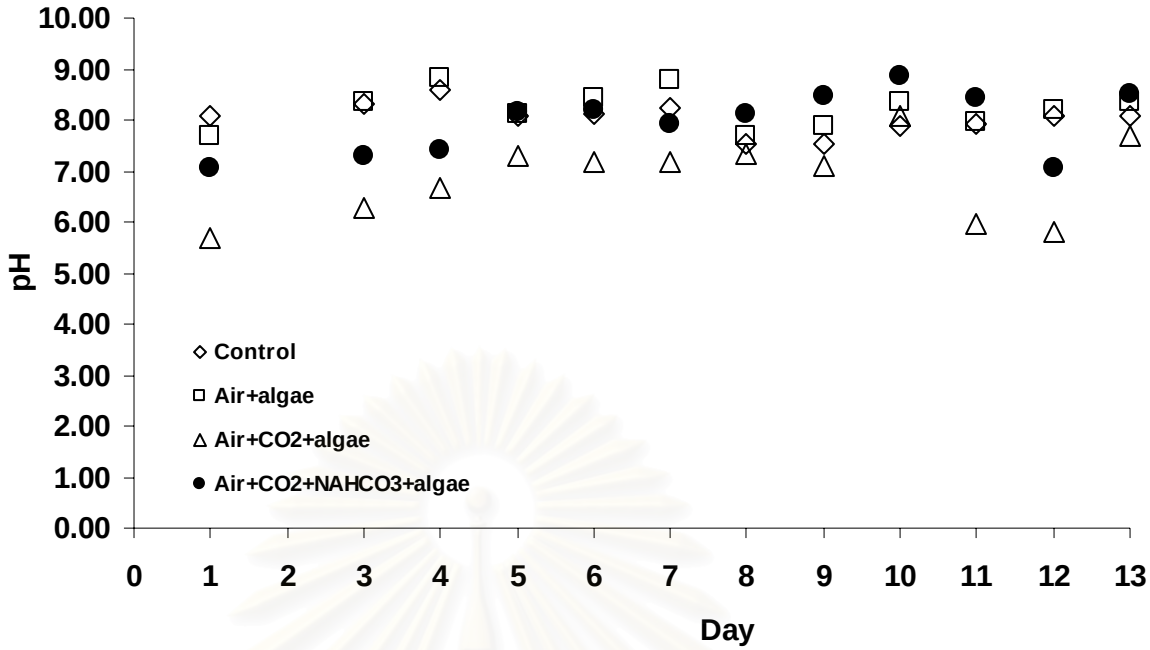
		ชุดการทดลองที่3							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD
1	6-Jan-45	0.92	0.12	12.73	0.12	0.00	0.01	0.96	0.01
2	7-Jan-45	0.69	0.15	14.24	0.19	0.00	0.00	0.90	0.00
3	8-Jan-45	0.33	0.06	14.24	0.21	0.02	0.01	0.77	0.00
4	9-Jan-45	0.45	0.06	12.48	0.11	0.06	0.03	0.76	0.00
5	10-Jan-45	0.08	0.08	12.83	0.17	0.01	0.01	0.73	0.00
6	11-Jan-45	0.16	0.05	12.29	0.03	0.01	0.01	0.62	0.01
7	12-Jan-45	0.11	0.06	10.66	0.90	0.01	0.01	0.35	0.11
8	13-Jan-45	2.97	0.25	13.88	0.16	0.06	0.02	0.86	0.01
9	14-Jan-45	1.64	0.12	13.98	0.10	0.26	0.04	0.80	0.01
10	15-Jan-45	1.17	0.23	13.61	0.06	0.89	0.14	0.66	0.02
11	16-Jan-45	0.44	0.14	13.70	0.18	1.35	0.25	0.51	0.01
12	17-Jan-45	0.46	0.12	12.76	0.13	1.11	0.13	0.57	0.01
13	18-Jan-45	0.07	0.03	13.77	0.33	1.17	0.12	0.49	0.02
14	19-Jan-45	0.71	0.19	10.70	0.03	0.04	0.01	0.89	0.01
15	20-Jan-45	0.00	0.08	11.27	0.05	0.02	0.02	0.83	0.01
16	21-Jan-45	0.10	0.04	11.71	0.10	0.06	0.01	0.78	0.02
17	22-Jan-45	0.09	0.02	12.26	0.46	0.02	0.02	0.71	0.04
18	23-Jan-45	0.75	0.41	10.25	0.05	0.00	0.03	0.63	0.05
19	24-Jan-45	0.15	0.24	9.38	0.19	0.05	0.02	0.48	0.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

		ชุดการทดลองที่4							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD	avg.	SD
1	6-Jan-45	0.79	0.78	11.78	0.76	0.00	0.01	0.92	0.04
2	7-Jan-45	0.91	0.08	13.19	0.70	0.00	0.00	0.86	0.01
3	8-Jan-45	0.03	0.07	12.83	0.85	0.01	0.00	0.73	0.01
4	9-Jan-45	0.22	0.12	11.28	0.98	0.08	0.01	0.72	0.02
5	10-Jan-45	0.08	0.04	11.73	1.03	0.01	0.01	0.68	0.05
6	11-Jan-45	0.15	0.07	11.62	0.86	0.02	0.02	0.65	0.07
7	12-Jan-45	0.03	0.03	11.81	1.45	0.00	0.00	0.61	0.11
8	13-Jan-45	2.76	0.19	12.85	0.09	0.05	0.01	0.82	0.00
9	14-Jan-45	2.06	0.58	12.86	0.06	0.30	0.02	0.74	0.00
10	15-Jan-45	2.48	1.06	12.54	0.04	0.89	0.04	0.59	0.03
11	16-Jan-45	1.39	0.49	12.63	0.15	1.47	0.14	0.48	0.00
12	17-Jan-45	1.51	0.55	11.78	0.06	1.87	0.19	0.53	0.01
13	18-Jan-45	0.82	0.46	12.81	0.20	2.37	0.43	0.46	0.01
14	19-Jan-45	0.42	0.09	10.70	0.02	0.06	0.02	0.92	0.02
15	20-Jan-45	0.00	0.04	11.35	0.03	0.04	0.03	0.77	0.02
16	21-Jan-45	0.10	0.08	11.47	0.19	0.07	0.03	0.69	0.01
17	22-Jan-45	0.06	0.02	12.08	0.13	0.04	0.01	0.57	0.01
18	23-Jan-45	0.14	0.05	10.21	0.36	0.02	0.02	0.51	0.01
19	24-Jan-45	0.06	0.04	9.74	0.38	0.05	0.02	0.40	0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในชุดการทดลองการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายซ่อพริกไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตารางที่ 2 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบในชุดการศึกษาผลของความเข้มของแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายช่อพริกไทยภายใต้ภาวะกลางแจ้ง

		mg NH_4^+-N/L		mg PO_4^{3-}-P/L		mg NO_3^--N/L		mg NO_2^--N/L	
วันที่ทดลอง	วันที่ทดลอง	NH_4	s.d.	PO_4^{3-}	s.d.	NO_3^-	s.d.	NO_2^-	s.d.
24-Apr-45	1	2.65	0.46	1.89	0.20	11.03	0.55	0.09	0.01
25-Apr-45	2	1.38	0.15	1.88	0.15	10.24	0.69	0.09	0.02
26-Apr-45	3	1.25	0.06	1.66	0.01	10.39	0.42	0.10	0.01
27-Apr-45	4	0.47	0.07	1.55	0.01	10.78	0.06	0.12	0.01
28-Apr-45	5	0.15	0.03	1.46	0.02	9.90	1.40	0.19	0.02
29-Apr-45	6	0.25	0.07	1.67	0.06	9.52	0.08	0.11	0.01
2-May-45	7	2.49	0.17	1.38	0.03	9.52	0.06	0.03	0.01
3-May-45	8	2.07	0.24	1.32	0.09	9.02	0.37	0.03	0.01
4-May-45	9	1.54	0.25	1.37	0.02	9.66	0.03	0.04	0.01
5-May-45	10	1.24	0.21	1.33	0.02	9.45	0.02	0.07	0.01
6-May-45	11	1.01	0.33	1.58	0.08	8.39	0.06	0.07	0.01
7-May-45	12	0.32	0.23	1.43	0.05	8.24	0.19	0.10	0.02
8-May-45	13	0.24	0.13	1.35	0.01	7.93	0.10	0.11	0.03

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำในชุดการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดคุณภาพน้ำ การทดลองรอบแรก

		ตู้ที่1							
วันเดือนปี	วันที่ทดลอง	mg.NH_4^+-N/L	SD	mg.NO_3^--N/L	SD	mg.NO_2^--N/L	SD	mg.PO_4^{3-}-P/L	SD
10-Aug-45	1	0.05	0.10	0.35	0.01	0.06	0.02	0.01	0.00
11-Aug-45	2	0.20	0.06	0.32	0.02	0.07	0.01	0.01	0.00
12-Aug-45	3	0.81	0.48	0.37	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00
13-Aug-45	4	0.56	0.14	0.40	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00
14-Aug-45	5	0.85	0.12	0.55	0.05	0.11	0.02	0.01	0.00
15-Aug-45	6	0.95	0.17	0.39	0.07	0.08	0.02	0.02	0.00
16-Aug-45	7	1.64	0.19	0.64	0.03	0.31	0.02	0.04	0.00
17-Aug-45	8	1.59	0.17	0.48	0.02	0.33	0.02	0.02	0.00
18-Aug-45	9	1.81	0.54	0.49	0.02	0.49	0.02	0.02	0.01
19-Aug-45	10	0.37	0.05	0.48	0.02	0.91	0.02	0.02	0.00
20-Aug-45	11	0.00	0.00	0.40	0.02	1.45	0.02	0.03	0.00
21-Aug-45	12	0.00	0.00	0.86	0.03	2.02	0.01	0.03	0.00
22-Aug-45	13	0.22	0.02	0.59	0.01	1.76	0.01	0.03	0.00
23-Aug-45	14	0.09	0.00	0.69	0.03	1.94	0.01	0.02	0.00
24-Aug-45	15	0.19	0.06	0.00	0.00	2.01	0.01	0.03	0.01
25-Aug-45	16	0.47	0.04	0.27	0.00	2.08	0.01	0.03	0.00
26-Aug-45	17	0.11	0.06	0.23	0.01	2.31	0.01	0.05	0.01
27-Aug-45	18	0.19	0.03	0.11	0.02	2.15	0.01	0.02	0.00
28-Aug-45	19	0.25	0.02	0.00	0.07	2.34	0.02	0.02	0.00
29-Aug-45	20	0.06	0.01	0.00	0.03	2.26	0.02	0.02	0.00
30-Aug-45	21	0.10	0.00	0.00	0.14	1.95	0.02	0.14	0.02
31-Aug-45	22	0.48	0.06	0.00	0.03	2.58	0.03	0.02	0.00
1-Sep-45	23	0.28	0.06	0.00	0.08	2.38	0.02	0.01	0.00
2-Sep-45	24	0.20	0.05	0.47	0.03	2.78	0.03	0.01	0.00
3-Sep-45	25	0.15	0.02	0.08	0.02	3.08	0.01	0.01	0.00
4-Sep-45	26	0.12	0.01	0.08	0.01	3.21	0.00	0.01	0.00
5-Sep-45	27	0.28	0.03	0.00	0.01	2.53	0.01	0.01	0.00
6-Sep-45	28	0.35	0.07	0.42	0.03	3.39	0.01	0.01	0.00
7-Sep-45	29	0.22	0.02	0.27	0.02	2.54	0.01	0.00	0.00
8-Sep-45	30	0.36	0.05	0.50	0.02	3.71	0.01	0.01	0.00
9-Sep-45	31	0.14	0.03	0.00	0.01	4.61	0.00	0.01	0.00
10-Sep-45	32	0.13	0.06	0.14	0.00	4.71	0.00	0.00	0.00
11-Sep-45	33	0.19	0.02	0.24	0.01	4.78	0.01	0.01	0.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

		ตู้ที่ 2							
วันเดือนปี	วันที่ทดลอง	mg.NH_4^+-N/L	SD	mg.NO_3^--N/L	SD	mg.NO_2^--N/L	SD	mg.PO_4^{3-}-P/L	SD
10-Aug-45	1	0.05	0.13	0.32	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01
11-Aug-45	2	0.02	0.12	0.30	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00
12-Aug-45	3	0.61	0.31	0.36	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00
13-Aug-45	4	0.79	0.05	0.65	0.03	0.10	0.01	0.01	0.00
14-Aug-45	5	0.61	0.07	0.52	0.01	0.12	0.01	0.02	0.00
15-Aug-45	6	1.46	0.11	0.48	0.04	0.12	0.00	0.07	0.01
16-Aug-45	7	1.62	0.21	0.63	0.03	0.31	0.01	0.06	0.00
17-Aug-45	8	2.61	0.41	0.55	0.01	0.38	0.00	0.05	0.01
18-Aug-45	9	4.63	0.18	0.44	0.02	0.50	0.01	0.06	0.00
19-Aug-45	10	1.94	0.22	0.39	0.03	0.73	0.02	0.05	0.00
20-Aug-45	11	0.94	0.10	0.37	0.02	1.15	0.02	0.05	0.00
21-Aug-45	12	0.96	0.42	0.75	0.01	1.99	0.01	0.05	0.00
22-Aug-45	13	0.12	0.02	0.68	0.02	2.25	0.01	0.05	0.00
23-Aug-45	14	0.05	0.02	0.66	0.03	2.14	0.02	0.03	0.01
24-Aug-45	15	0.44	0.09	0.63	0.02	2.30	0.01	0.02	0.00
25-Aug-45	16	0.38	0.06	0.48	0.00	2.60	0.01	0.03	0.01
26-Aug-45	17	0.16	0.13	0.56	0.01	3.19	0.01	0.03	0.00
27-Aug-45	18	0.18	0.08	0.52	0.01	3.15	0.03	0.05	0.00
28-Aug-45	19	0.19	0.01	0.07	0.15	3.92	0.02	0.05	0.00
29-Aug-45	20	0.06	0.02	0.00	0.02	3.68	0.02	0.06	0.00
30-Aug-45	21	0.55	0.16	0.00	0.01	2.67	0.00	0.05	0.01
31-Aug-45	22	0.19	0.07	0.00	0.03	3.57	0.02	0.09	0.00
1-Sep-45	23	0.30	0.05	0.00	0.02	3.70	0.01	0.10	0.01
2-Sep-45	24	0.17	0.01	1.06	0.03	4.47	0.02	0.12	0.00
3-Sep-45	25	0.45	0.00	0.88	0.01	4.66	0.00	0.15	0.00
4-Sep-45	26	0.20	0.01	0.91	0.03	4.82	0.02	0.17	0.01
5-Sep-45	27	0.20	0.01	0.81	0.02	4.53	0.01	0.23	0.03
6-Sep-45	28	0.40	0.11	1.04	0.02	4.00	0.02	0.29	0.07
7-Sep-45	29	0.26	0.05	0.72	0.02	2.79	0.01	0.22	0.02
8-Sep-45	30	0.27	0.07	0.61	0.01	2.15	0.01	0.31	0.08
9-Sep-45	31	0.20	0.05	1.23	0.01	3.94	0.00	0.28	0.03
10-Sep-45	32	0.21	0.07	2.38	0.02	3.40	0.02	0.22	0.00
11-Sep-45	33	0.17	0.02	3.70	0.00	2.07	0.01	0.22	0.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

		ตู้ที่ 3							
วันเดือนปี	วันที่ทดลอง	mg.NH_4^+-N/L	SD	mg.NO_3^--N/L	SD	mg.NO_2^--N/L	SD	mg.PO_4^{3-}-P/L	SD
10-Aug-45	1	0.00	0.00	0.28	0.01	0.05	0.01	0.02	0.00
11-Aug-45	2	0.01	0.17	0.05	0.02	0.06	0.02	0.01	0.00
12-Aug-45	3	0.33	0.22	0.00	0.00	0.12	0.03	0.01	0.00
13-Aug-45	4	0.20	0.02	0.13	0.04	0.10	0.02	0.01	0.00
14-Aug-45	5	0.25	0.04	0.13	0.03	0.07	0.02	0.02	0.00
15-Aug-45	6	0.48	0.04	0.14	0.01	0.06	0.00	0.02	0.00
16-Aug-45	7	0.59	0.04	0.11	0.05	0.21	0.02	0.03	0.00
17-Aug-45	8	0.00	0.00	0.13	0.00	0.23	0.01	0.01	0.00
18-Aug-45	9	0.00	0.00	0.10	0.03	0.30	0.02	0.02	0.00
19-Aug-45	10	0.00	0.00	0.09	0.02	0.36	0.01	0.04	0.00
20-Aug-45	11	0.00	0.00	0.05	0.00	0.35	0.01	0.04	0.00
21-Aug-45	12	0.65	0.12	0.30	0.02	0.47	0.01	0.04	0.00
22-Aug-45	13	0.18	0.02	0.24	0.01	0.48	0.01	0.03	0.00
23-Aug-45	14	0.05	0.03	0.21	0.02	0.41	0.01	0.01	0.00
24-Aug-45	15	0.19	0.09	0.04	0.01	0.10	0.00	0.01	0.00
25-Aug-45	16	0.18	0.02	0.00	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00
26-Aug-45	17	0.58	0.13	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
27-Aug-45	18	0.15	0.03	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
28-Aug-45	19	0.14	0.04	0.00	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00
29-Aug-45	20	0.04	0.00	0.00	0.03	0.05	0.02	0.00	0.00
30-Aug-45	21	0.55	0.16	0.00	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
31-Aug-45	22	0.15	0.01	0.00	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00
1-Sep-45	23	0.16	0.10	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00
2-Sep-45	24	0.10	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
3-Sep-45	25	0.15	0.02	0.00	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00
4-Sep-45	26	0.67	0.06	0.00	0.02	0.04	0.02	0.01	0.00
5-Sep-45	27	0.10	0.01	0.00	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00
6-Sep-45	28	0.17	0.03	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00
7-Sep-45	29	0.16	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00
8-Sep-45	30	0.13	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00
9-Sep-45	31	0.11	0.03	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00
10-Sep-45	32	0.18	0.04	0.06	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
11-Sep-45	33	0.77	0.03	0.07	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00

ตารางที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำในชุดการทดสอบประสิทธิภาพของสาหร่ายช่อพริกไทยในการบำบัดคุณภาพน้ำ การทดลองรอบที่สอง

		ตู้ที่ 1							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่	mg.NH_4^+-N/L	SD	mg.NO_3^--N/L	SD	mg.NO_2^--N/L	SD	mg.PO_4^{3-}-N/L	SD
17-Nov-45	1	0.73	0.03	0.23	0.01	0.04	0.01	0.05	0.00
18-Nov-45	2	0.15	0.02	0.06	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00
19-Nov-45	3	0.16	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00
20-Nov-45	4	0.20	0.04	0.00	0.00	0.05	0.01	0.02	0.01
21-Nov-45	5	0.19	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00
22-Nov-45	6	0.44	0.05	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00
23-Nov-45	7	0.15	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
24-Nov-45	8	0.09	0.04	0.00	0.02	0.04	0.03	0.01	0.00
25-Nov-45	9	0.26	0.05	0.05	0.01	0.05	0.02	0.02	0.01
26-Nov-45	10	0.25	0.08	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
27-Nov-45	11	0.85	0.18	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00
28-Nov-45	13	0.00	0.03	0.00	0.01	0.05	0.01	0.02	0.00
29-Nov-45	14	0.27	0.01	0.13	0.01	0.09	0.01	0.03	0.00
30-Nov-45	15	0.64	0.33	0.00	0.01	0.21	0.02	0.02	0.00
1-Dec-45	16	0.18	0.02	0.04	0.01	0.24	0.01	0.03	0.00
2-Dec-45	17	0.29	0.03	0.03	0.02	0.25	0.02	0.03	0.00
3-Dec-45	18	0.23	0.08	0.07	0.01	0.26	0.01	0.03	0.00
4-Dec-45	21	0.56	0.06	0.15	0.01	0.30	0.01	0.01	0.00
5-Dec-45	25	0.69	0.06	0.16	0.01	0.41	0.01	0.01	0.00
6-Dec-45	28	0.00	0.02	0.20	0.03	0.52	0.03	0.01	0.00
7-Dec-45	32	0.35	0.02	0.23	0.02	0.46	0.02	0.00	0.00
8-Dec-45	36	0.11	0.04	0.30	0.01	0.28	0.01	0.00	0.00
9-Dec-45	39	0.35	0.02	0.37	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
10-Dec-45	43	0.22	0.01	0.39	0.04	0.00	0.02	0.01	0.00
11-Dec-45	50	0.32	0.05	0.50	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00
12-Dec-45	53	0.62	0.11	0.48	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 (ต่อ)

		ตู้ที่ 2							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่	mg.NH_4^+-N/L	SD	mg.NO_3^--N/L	SD	mg.NO_2^--N/L	SD	mg.PO_4^{3-}-N/L	SD
17-Nov-45	1	0.47	0.03	0.20	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00
18-Nov-45	2	0.31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00
19-Nov-45	3	0.38	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
20-Nov-45	4	0.15	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00
21-Nov-45	5	0.34	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
22-Nov-45	6	0.69	0.06	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
23-Nov-45	7	0.08	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00
24-Nov-45	8	0.00	0.12	0.00	0.03	0.04	0.02	0.01	0.00
25-Nov-45	9	0.43	0.03	0.07	0.04	0.05	0.04	0.03	0.00
26-Nov-45	10	0.14	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00
27-Nov-45	11	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04	0.00
28-Nov-45	13	0.29	0.06	0.00	0.01	0.16	0.01	0.07	0.00
29-Nov-45	14	0.37	0.03	0.19	0.01	0.17	0.00	0.09	0.00
30-Nov-45	15	0.89	0.16	0.13	0.17	0.18	0.16	0.11	0.00
1-Dec-45	16	0.01	0.01	0.09	0.05	0.28	0.02	0.13	0.00
2-Dec-45	17	0.06	0.01	0.07	0.00	0.22	0.01	0.20	0.04
3-Dec-45	18	0.76	0.03	0.12	0.01	0.32	0.00	0.13	0.00
4-Dec-45	21	0.22	0.02	0.16	0.00	0.33	0.00	0.10	0.00
5-Dec-45	25	0.55	0.09	0.06	0.01	0.36	0.00	0.03	0.00
6-Dec-45	28	0.05	0.02	0.08	0.00	0.16	0.01	0.01	0.00
7-Dec-45	32	0.28	0.10	0.00	0.02	0.14	0.02	0.01	0.00
8-Dec-45	36	0.12	0.07	0.26	0.02	0.06	0.00	0.01	0.00
9-Dec-45	39	0.33	0.02	0.42	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00
10-Dec-45	43	0.18	0.07	0.92	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00
11-Dec-45	50	0.09	0.01	2.21	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
12-Dec-45	53	0.20	0.07	2.99	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 (ต่อ)

		ตู้ที่ 3							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่	mg.NH_4^+-N/L	SD	mg.NO_3^--N/L	SD	mg.NO_2^--N/L	SD	mg.PO_4^{3-}-N/L	SD
17-Nov-45	1	0.43	0.04	0.13	0.09	0.05	0.08	0.05	0.00
18-Nov-45	2	0.17	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00
19-Nov-45	3	0.13	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
20-Nov-45	4	0.15	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
21-Nov-45	5	0.58	0.08	0.00	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00
22-Nov-45	6	0.42	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
23-Nov-45	7	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
24-Nov-45	8	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
25-Nov-45	9	0.83	0.08	0.07	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
26-Nov-45	10	0.71	0.05	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
27-Nov-45	11	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
28-Nov-45	13	0.05	0.04	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
29-Nov-45	14	0.37	0.04	0.08	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00
30-Nov-45	15	0.00	0.09	0.00	0.08	0.09	0.08	0.02	0.00
1-Dec-45	16	0.06	0.04	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01
2-Dec-45	17	0.21	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
3-Dec-45	18	0.64	0.13	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00
4-Dec-45	21	0.31	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00
5-Dec-45	25	0.17	0.05	0.00	0.04	0.00	0.04	0.01	0.00
6-Dec-45	28	0.05	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Dec-45	32	0.08	0.07	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Dec-45	36	0.18	0.04	0.00	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00
9-Dec-45	39	0.80	0.10	0.08	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00
10-Dec-45	43	0.20	0.04	0.18	0.02	0.24	0.02	0.01	0.00
11-Dec-45	50	0.30	0.07	0.23	0.02	0.45	0.02	0.02	0.00
12-Dec-45	53	0.55	0.08	0.47	0.01	0.73	0.00	0.02	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในชุดการทดลองการเลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่ายช่อพริกไทย

		ถังที่ 1 algae							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่	$mg.NH_4^+$-N/L	SD	$mg.NO_3^-$-N/L	SD	$mg.NO_2^-$-N/L	SD	$mg.PO_4^{3-}$-N/L	SD
17-Nov-45	1	0.19	0.01	0.43	0.01	0.04	0.01	0.03	0.00
18-Nov-45	2	0.11	0.00	0.41	0.01	0.03	0.00	0.04	0.01
19-Nov-45	3	0.27	0.02	0.37	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00
20-Nov-45	4	0.44	0.05	0.41	0.01	0.05	0.01	0.04	0.00
21-Nov-45	5	0.60	0.09	0.16	0.01	0.06	0.00	0.05	0.00
22-Nov-45	6	0.66	0.04	0.32	0.02	0.04	0.01	0.06	0.01
23-Nov-45	7	1.08	0.10	0.30	0.02	0.05	0.01	0.07	0.00
24-Nov-45	8	0.91	0.05	0.34	0.02	0.07	0.01	0.08	0.00
25-Nov-45	9	1.42	0.12	0.51	0.04	0.09	0.03	0.09	0.00
26-Nov-45	10	1.87	0.13	0.35	0.00	0.08	0.00	0.10	0.00
27-Nov-45	11	1.03	0.12	0.39	0.01	0.09	0.02	0.12	0.00
29-Nov-45	13	1.03	0.02	0.39	0.02	0.15	0.02	0.16	0.00
30-Nov-45	14	0.97	0.05	0.60	0.04	0.19	0.01	0.17	0.00
1-Dec-45	15	0.99	0.19	0.33	0.01	0.43	0.01	0.17	0.00
2-Dec-45	16	1.20	0.08	0.37	0.03	0.66	0.02	0.19	0.00
3-Dec-45	17	1.09	0.06	0.51	0.03	0.94	0.01	0.18	0.00
4-Dec-45	18	0.24	0.01	0.51	0.01	1.39	0.00	0.18	0.01
7-Dec-45	21	0.20	0.06	0.33	0.02	1.64	0.02	0.14	0.00
11-Dec-45	25	0.23	0.17	0.39	0.01	2.51	0.01	0.21	0.00
14-Dec-45	28	0.31	0.02	0.63	0.05	2.84	0.04	0.19	0.00
18-Dec-45	32	0.14	0.06	0.70	0.05	3.27	0.02	0.25	0.00
22-Dec-45	36	0.16	0.04	0.69	0.05	3.91	0.05	0.26	0.00
25-Dec-45	39	0.23	0.03	0.53	0.02	4.29	0.01	0.26	0.00
29-Dec-45	43	0.15	0.04	0.57	0.02	4.95	0.01	0.19	0.00
5-Jan-46	50	0.24	0.05	2.61	0.03	4.46	0.05	0.21	0.00
8-Jan-46	53	0.21	0.03	6.23	0.03	1.45	0.01	0.19	0.00
12-Jan-46	57	0.16	0.05	7.88	0.02	0.12	0.00	0.13	0.00
15-Jan-46	60	0.37	0.01	8.45	0.08	0.06	0.05	0.07	0.00
19-Jan-46	64	0.27	0.04	9.85	0.07	0.11	0.01	0.09	0.00
22-Jan-46	67	0.25	0.01	10.69	0.02	0.16	0.00	0.10	0.00
26-Jan-46	71	0.52	0.02	12.88	0.08	0.29	0.01	0.17	0.00
31-Jan-46	76	0.89	0.12	16.47	0.05	0.33	0.05	0.36	0.00

ตารางที่ 5(ต่อ)

		ถังที่ 2 control							
		NH_4^+		NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}	
วันที่ทดลอง	วันที่	mg.NH_4^+-N/L	SD	mg.NO_3^--N/L	SD	mg.NO_2^--N/L	SD	mg.PO_4^{3-}-N/L	SD
17-Nov-45	1	0.11	0.01	0.35	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00
18-Nov-45	2	0.16	0.01	0.46	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00
19-Nov-45	3	0.04	0.00	0.40	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00
20-Nov-45	4	0.41	0.02	0.36	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00
21-Nov-45	5	0.68	0.06	0.17	0.01	0.07	0.01	0.02	0.00
22-Nov-45	6	0.68	0.05	0.27	0.01	0.04	0.00	0.02	0.00
23-Nov-45	7	1.10	0.12	0.32	0.01	0.05	0.01	0.04	0.00
24-Nov-45	8	0.93	0.04	0.32	0.03	0.07	0.01	0.08	0.00
25-Nov-45	9	0.86	0.13	0.51	0.00	0.08	0.01	0.05	0.00
26-Nov-45	10	1.38	0.10	0.40	0.01	0.06	0.00	0.06	0.00
27-Nov-45	11	1.11	0.15	0.41	0.02	0.09	0.01	0.08	0.00
29-Nov-45	13	1.26	0.08	0.40	0.02	0.10	0.02	0.10	0.00
30-Nov-45	14	1.07	0.12	0.61	0.00	0.07	0.02	0.12	0.00
1-Dec-45	15	1.34	0.11	0.35	0.06	0.21	0.05	0.12	0.00
2-Dec-45	16	1.51	0.11	0.56	0.02	0.23	0.00	0.13	0.00
3-Dec-45	17	1.36	0.06	0.52	0.01	0.41	0.00	0.14	0.00
4-Dec-45	18	0.86	0.01	0.54	0.01	0.88	0.00	0.15	0.00
7-Dec-45	21	0.18	0.03	0.53	0.04	2.21	0.03	0.15	0.00
11-Dec-45	25	0.16	0.03	0.43	0.03	2.55	0.04	0.15	0.00
14-Dec-45	28	0.08	0.05	0.53	0.02	2.41	0.02	0.12	0.01
18-Dec-45	32	0.63	0.09	0.88	0.05	2.24	0.03	0.08	0.00
22-Dec-45	36	0.18	0.04	2.74	0.02	0.63	0.02	0.09	0.00
25-Dec-45	39	0.39	0.02	3.42	0.02	0.02	0.02	0.11	0.01
29-Dec-45	43	0.18	0.04	2.77	0.01	0.07	0.01	0.10	0.00
5-Jan-46	50	0.54	0.05	4.36	0.03	0.59	0.03	0.17	0.01
8-Jan-46	53	0.41	0.05	4.98	0.07	1.00	0.01	0.14	0.00
12-Jan-46	57	0.55	0.11	4.97	0.02	1.47	0.02	0.09	0.00
15-Jan-46	60	0.82	0.04	5.02	0.05	1.94	0.02	0.06	0.00
19-Jan-46	64	0.26	0.03	5.08	0.03	2.36	0.03	0.06	0.01
22-Jan-46	67	0.32	0.06	6.14	0.08	2.38	0.02	0.05	0.00
26-Jan-46	71	0.31	0.07	7.02	0.05	1.35	0.01	0.05	0.00
31-Jan-46	76	0.62	0.11	11.18	0.03	0.60	0.01	0.13	0.00

ประวัติผู้เขียน

นายธีรพงษ์ จรัญญากรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2520 ตำบลวารินชำราบอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี เป็นบุตรคนที่ 2 ของนายพงศ์ศักดิ์ จรัญญากรณ์ และนางสุรีรัตน์ จรัญญากรณ์ สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนฮั้วเฉียวกงฮัก อุบลราชธานี และสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช อุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาขั้นปริญญาตรีสาขา วิทยาศาสตร์ทั่วไป จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน เมื่อปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2542 และสำเร็จการศึกษาเมื่อ พ.ศ. 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย